



ALEXANDRE LADEIRA DE SOUSA

**IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO,
INSTRUMENTAÇÃO E SUPERVISÃO DE GRANDES
MOTORES ELÉTRICOS EM INDÚSTRIA DE CIMENTO**

LAVRAS – MG

2020

ALEXANDRE LADEIRA DE SOUSA

**IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO,
INSTRUMENTAÇÃO E SUPERVISÃO DE GRANDES MOTORES
ELÉTRICOS EM INDÚSTRIA DE CIMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva

Orientador

LAVRAS – MG

2020

ALEXANDRE LADEIRA DE SOUSA

**IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO,
INSTRUMENTAÇÃO E SUPERVISÃO DE GRANDES MOTORES
ELÉTRICOS EM INDÚSTRIA DE CIMENTO**

**IMPLEMENTATION OF MAINTENANCE, INSTRUMENTATION AND
SUPERVISION POLICY FOR LARGE ELECTRIC MOTORS IN THE
CEMENT INDUSTRY**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia de Controle e
Automação, para a obtenção do título de
Bacharel.

**APROVADA em 1º de junho de 2020.
Dra Silvia Costa Ferreira UFLA
Dr Vinicius Miranda Pacheco UFLA**

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as conquistas que permitiram alcançar essa etapa do curso.

A toda minha família pelo apoio incondicional em todos os aspectos, a minha namorada Maria Alice pelo incentivo e especialmente aos meus pais pela oportunidade de cursar a Engenharia de Controle e Automação em Lavras com todo suporte necessário para pleno decurso da graduação. Por todo ensinamento, lições, toda a força e ajuda que me tornaram quem eu sou.

Ao professor e Orientador Leonardo Silveira Paiva, pela orientação impecável desde o início do desenvolvimento do trabalho, contribuindo de forma inenarrável para o resultado obtido.

Também a professora Silvia Costa Ferreira pela orientação e suporte no estágio do qual origina-se esse trabalho, contribuindo de maneira expressiva no meu desenvolvimento pessoal e profissional durante esse período.

Ao professor Vinicius Pacheco, coordenador da Engenharia de Controle e automação, pelo qual agradeço todos os demais professores do curso, pelas dúvidas sanadas e pelo apoio em todos os trâmites necessários para chegar até aqui.

Por fim, cabe registrar um grande agradecimento a Ronaldo José Costa, pela oportunidade do estágio realizado, bem como pela confiança de colocar sob minha responsabilidade o trabalho aqui descrito. Pela sua liderança pude desenvolver minhas competências profissionais e pessoais e, com toda certeza, grande parte do profissional que me tornei devo à sua orientação.

Muito Obrigado!

“Sem objetivos bem definidos, somente por um acaso chegaremos a algum lugar” (Pai)

RESUMO

Atualmente, não é possível imaginar o funcionamento da indústria sem utilizar os motores elétricos. Ao aliar versatilidade, facilidade de instalação, manutenção, dentre tantas outras qualidades, estes representam imensa maioria na geração dos movimentos necessários para os mais diversos processos, podendo representar 90% da carga elétrica instalada em uma única unidade fabril. Por essa razão, torna-se necessário monitorar cada vez mais as variáveis inerentes à essas máquinas e controlar seus valores em malha fechada. Para isso, sensores aquisitam dados principalmente de corrente, temperatura e vibrações, a fim de assegurar pleno funcionamento dos equipamentos acionados. Tais dados são processados de maneira que um controlador atue no sistema para corrigir anomalias e evitar danos, bem como fornecem indicadores por meio de sistemas supervisórios. Assim, o presente trabalho descreve a implantação da política de manutenção de grandes motores elétricos em uma indústria cimenteira, englobando o desenvolvimento de ferramentas para leitura, aquisição processamento e supervisão das variáveis de máquinas elétricas a fim de assegurar pleno funcionamento e confiabilidade. Tal política engloba o monitoramento em tempo real de grandezas, fornecendo evidências que norteiem a atuação da equipe de manutenção nos motores supervisionados.

Palavras-Chave: Manutenção, motores elétricos, supervisório, malha fechada.

ABSTRACT

Currently, it is not possible to imagine how the industry works without using electric motors. By combining versatility, ease of installation, maintenance, among many other qualities, these represent an immense majority in the generation of the necessary movements for the most diverse processes, being able to represent 90% of the electric charge installed in a single factory unit. For this reason, it becomes necessary to monitor more and more the variables inherent to these machines and to control their values in closed loop. For this, sensors acquire data mainly of current, temperature and vibrations, in order to ensure full operation of the driven equipment. Such data is processed in a way that a controller acts on the system to fix anomalies and prevent damage, as well as providing indicators through supervisory systems. Thus, the present work describes the implementation of the maintenance policy for large electric motors in a cement industry, encompassing the development of tools for reading, acquisition, processing and supervision of electrical machine variables in order to ensure full operation and reliability. This policy includes the real-time monitoring of quantities, providing evidences to guide the performance of the maintenance team in the supervised engines.

Keywords: Maintenance, electric motors, supervisory, closed loop.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produção de Cimento.....	5
Figura 2 - Componentes do Motor Trifásico	9
Figura 3 - Rotor Gaiola de Esquilo.....	11
Figura 4 - Comparação da Corrente de Partida	12
Figura 5 - Redes de Comunicação Industrial	17
Figura 6 – Britador de Calcário da Mina 2	26
Figura 7 - Localização dos Britadores na Fábrica	28
Figura 8 - Localização dos Demais Motores e do Comando Central	29
Figura 9 - Localização das Salas Elétricas	30
Figura 10 - Ferramentas do PI System no Excel	33
Figura 11 - Fluxograma da Verificação da Operação das Resistências	37
Figura 12 - Arquivo de Registro de Ensaios Estáticos em Motores de Média Tensão ..	39
Figura 13 - Datas dos Últimos Ensaios Estáticos	40
Figura 14 - Verificação da Realização dos Ensaios Estáticos	40
Figura 15 - Datas dos Últimos Ensaios Dinâmicos	41
Figura 16 - Verificação da Realização dos Ensaios Dinâmicos	42
Figura 17 - Monitoramento das Medições.....	43
Figura 18 - Tela de Resumo de Alertas	43
Figura 19 - Menu do Monitoramento dos Motores	44
Figura 20 - Interface Gráfica do Motor 531SR01M01	45
Figura 21 - Interface Gráfica dos Motores 321FN02M01 e 321RM01M01	46
Figura 22 - Levantamento do Histórico de Dados.....	47
Figura 23 - Menu Inicial da Ferramenta.....	48
Figura 24 - Habilidade Individual dos Alertas	50
Figura 25 - Resumo do Motor 532FN02M01.....	51
Figura 26 - Resumo do Motor 113HC01M01	52
Figura 27 - Seção de Alarmes do Motor 113HC01M01	56
Figura 28 - Código da Planilha do Motor 113HC01M01.....	56
Figura 29 - E-mail de Alarme do Bobinado 431MD01M01	57
Figura 30 - E-mail de Parada do Bobinado 213HC01M01	58
Figura 31 - E-mail de Alarme Casquilho 441FN52M01	59
Figura 32 - E-mail de Parada de Casquilho 531SR01M01	60

Figura 33 - E-mail de Resistência 321RM01M01	60
Figura 34 - Sinalização de Temperaturas Diferentes em Bobinados.....	62
Figura 35 - Falha Encontrada 213HC01E01	63
Figura 36 - Operação 213HC01E01	63
Figura 37 - E-mail Recebido 531BM01M01	64
Figura 38 - E-mail Recebido 441FN01M01	64
Figura 39 - 113HC01M01	74
Figura 40 - 113HC01M02	75
Figura 41 - 213HC01M01	77
Figura 42 - 321FN02M01	78
Figura 43 - 321RM01M01.....	79
Figura 44 - 331FN01M01.....	81
Figura 45 - 331FN02M01.....	82
Figura 46 - 331FN03M01.....	84
Figura 47 - 431MD01M01	85
Figura 48 - 441FN01M01.....	88
Figura 49 - 441FN41M01.....	89
Figura 50 - 441FN52M01.....	91
Figura 51 - 461FN02M01.....	92
Figura 52 - 461RM01M01.....	93
Figura 53 - 531BM01M01.....	95
Figura 54 - 531FN02M01.....	96
Figura 55 - 531SR01M01	98
Figura 56 - 532BM01M01.....	99
Figura 57 - 532FN02M01.....	101
Figura 58 - 532SR01M01.....	102

SUMÁRIO

1.	Introdução	1
2.	Objetivos	3
2.1.	Objetivo Geral	3
2.2.	Objetivos Específicos	3
3.	Referencial Teórico	5
3.2.	Manutenção	7
3.3.	Motores Elétricos	8
3.4.	Parâmetros de Análise de MIT	13
3.5.	Controle Industrial	15
3.6.	Redes de Comunicação Industrial	17
3.7.	<i>PI System</i>	19
3.8.	Instrumentação Industrial	19
3.9.	Sistema Supervisório	21
4.	Materiais e Métodos	23
4.1.	TAGs dos motores e sinais	24
4.2.	Descrição dos Motores Envolvidos	25
4.2.1.	Britador de Calcário da Mina 2	26
4.3.	Fluxo dos Dados	28
4.4.	Armazenamentos dos Dados pelo <i>PI System</i>	32
4.5.	Definição das Variáveis a serem monitoradas	33
4.6.	Monitoramento dos Ensaios Realizados	34
4.7.	Definição das Funções e Desenvolvimento da Ferramenta	35
4.7.1.	Motores Envolvidos	35
4.7.2.	Resistências de Aquecimento	36
4.7.3.	Monitoramento dos Ensaios Estáticos	38
4.7.4.	Monitoramento dos Ensaios Dinâmicos	41

4.7.5.	Motores Reserva.....	42
4.7.6.	Instrumentação.....	42
4.7.7.	Resumo dos Alertas.....	43
4.7.8.	Interface Gráfica.....	44
4.7.9.	Levantamento de Histórico de Variável.....	46
4.7.10.	Menu Inicial da Ferramenta.....	47
4.8.	Ferramenta para Alerta de Anomalias.....	48
4.8.1.	Habilitação dos Alertas.....	49
4.8.2.	Resumo de Cada Motor.....	51
4.8.3.	Alerta de Resistência.....	51
4.8.4.	Alerta de Casquilhos.....	53
4.8.5.	Alerta de Bobinados.....	54
4.8.6.	Diagnóstico.....	54
4.8.7.	Condição.....	55
4.8.8.	Código das Planilhas.....	55
5.	Análise dos Resultados.....	61
6.	Conclusão.....	66
7.	Referências.....	68
	Apêndice A.....	58

1. Introdução

Pensar na indústria sem motores elétricos hoje é praticamente impossível. Atualmente, a utilização desse tipo de máquina elétrica é tão trivial que, por um momento, a tendência é imaginar que se trata de uma máquina perfeita para todas as necessidades.

Aliando tamanho reduzido, flexibilidade de operação, confiabilidade, dentre outras qualidades, os motores elétricos são majoritariamente referenciados como equipamentos capazes de fornecer algum tipo de movimento em processos industriais. Ainda, sistemas cujos atuadores são pneumáticos ou hidráulicos, por exemplo, apesar de não terem motores elétricos tracionando diretamente suas cargas, possuem tal máquina funcionando como bomba e/ou compressor, sendo parte indispensável para a sua operação.

Especificamente sobre a indústria cimenteira, o uso de motores elétricos ocorre em grande parte do processo produtivo. Assim, para consolidação do presente trabalho, todo o desenvolvimento foi realizado em uma fábrica de cimento. De maneira superficial, a produção do cimento é uma sequência que se inicia na extração de calcário, passando por processos físicos (moagem) e químicos (descarbonatação) que originam o clínquer e, posteriormente, o cimento, o que será melhor explicado posteriormente.

Nessa produção, um processo é cliente do outro e, conseqüentemente, a parada de algum deles reflete em tudo que é executado a frente. Essas paradas afetam diretamente a expedição de produto e, conseqüentemente, os lucros da empresa, além de exigirem custos para recolocar a planta em operação. Por isso, é necessário cuidado para manter todos os processos funcionando em harmonia, mantendo controlados os custos de operação.

Ao todo, para o decurso da produção são empregados cerca de 1800 motores elétricos de várias potências e aplicações operando 24 horas por dia, 7 dias por semana na unidade onde foi desenvolvido o trabalho. Assim, o trabalho concentrou-se no desenvolvimento de uma ferramenta que possibilite mais assertividade na gestão da manutenção dos motores aplicando conceitos de instrumentação, redes de comunicação, malhas de controle, manutenção e máquinas elétricas. Tal ferramenta tem como principal objetivo realizar um monitoramento e processamento dos dados colhidos dos motores, fornecendo informações resumidas que otimizem a rotina de manutenção elétrica da unidade.

O monitoramento tem como objetivo prevenir e prever falhas, sendo, portanto, uma política de manutenção preventiva e preditiva. Para isso, foi utilizado o sensoriamento já presente nos equipamentos para fornecer dados que, analisados, forneceram diagnósticos sobre a saúde dos equipamentos. Os sinais trafegam pela rede de comunicação da fábrica e são armazenados em um historiador que permite ler os valores das variáveis em qualquer instante desde que foi adicionado ao servidor.

2. Objetivos

Em um processo produtivo, paradas não programadas podem causar prejuízos que não se limitam à esfera financeira. A quebra de equipamentos gera custos não programados além de poder ocasionar a falta de insumos indispensáveis para o encadeamento da produção. Em uma análise um pouco mais adiante, a interrupção do processo pode suscitar em custos altos para a retomada da produção, além de poder ocasionar a falta de produto para venda e consequente perda de clientes. Em um mercado cada vez mais apertado e exigente, empresas não passam por esse tipo de situação sem sofrer impactos negativos.

Por se tratar de uma planta de grandes dimensões, não é possível deixar a manutenção dos motores elétricos somente a cargo dos funcionários. Por isso, surge a necessidade de fornecer indicadores que norteiem a atuação da equipe, otimizando recursos técnicos e humanos em busca da excelência operacional da planta. Para isso, deve ser feito um tratamento de dados a fim de definir o que é relevante e delinear prioridades de atuação. Dessa forma, os objetivos do trabalho são descritos em:

2.1. Objetivo Geral

Atuar no gerenciamento da manutenção dos motores elétricos da fábrica por meio do desenvolvimento de aplicações de gestão de ensaios e monitoramento de dados de sensores, desempenhando funções relacionadas a manutenção preventiva e preditiva cujo objetivo é manter em funcionamento todo o processo sem imprevistos.

2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral do trabalho é preciso dividi-lo em tarefas:

- Assimilar conceitos gerais de manutenção;
- Estudo da manutenção em motores elétricos e parâmetros de controle;
- Entendimento do controle industrial e temas correlatos;
- Compreender a instrumentação de motores elétricos;
- Estabelecer os motores que serão monitorados;

- Aplicar conceitos de sistema supervisório;
- Definir dados a serem lidos e seus parâmetros de referência;
- Consolidar todos os conceitos com a elaboração da ferramenta de gestão da manutenção dos motores elétricos, capaz de ler e processar dados colhidos em campo, seja de forma manual ou automática, fornecendo indicadores para conduzir as rotinas de manutenção elétrica na unidade.

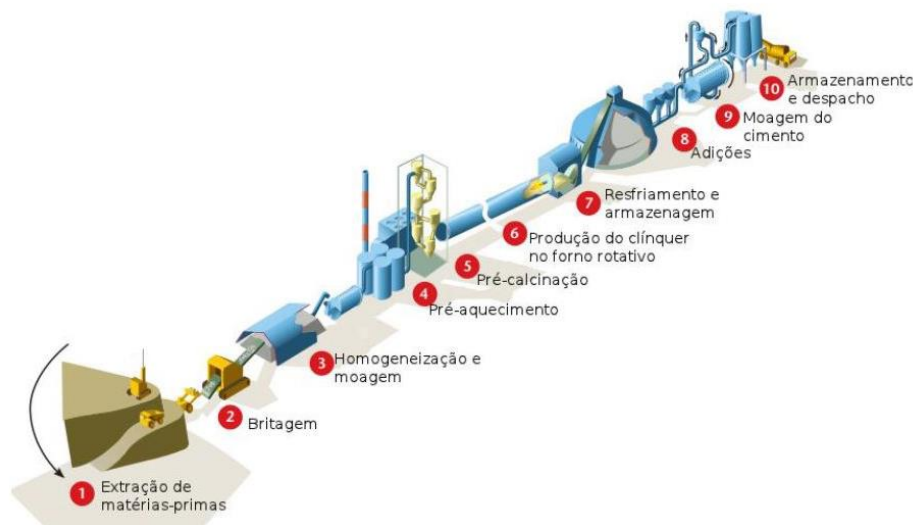
3. Referencial Teórico

Nessa seção serão apresentados conceitos e estudos no que tange aos temas inter-relacionados para a execução do trabalho. É preciso analisar todos os termos inerentes ao tema a fim de produzir um referencial teórico que permita ao leitor compreensão a respeito do assunto.

3.1. Produção de Cimento

De uma maneira mais detalhada, a produção do cimento ocorre com a extração de calcário, britagem, pré-homogeneização, dosagem, moagem de farinha, pré-aquecimento, decarbonatação (torre e forno), resfriamento (quando se origina o clínquer), e posterior moagem de cimento. Por fim, o produto é expedido ensacado (50 kg), em big bags (1,5 ton.) ou a granel (carretas com cerca de 20 toneladas de capacidade). A Figura 1 apresenta essa sequência do processo.

Figura 1 - Produção de cimento



Fonte: Brancão (2015)

O calcário é extraído nas minas da unidade por meio da detonação. Caminhões levam o material até um britador que fragmenta as pedras em uma granulometria menor. Os britadores de martelos usam os primeiros motores elétricos do processo, sendo encontrados na fábrica com potências de 220 kW na mina 1 (fornece calcário usado como aditivo) e 1025 kW na mina 2

(fornece calcário com especificações comuns). A partir do britador, todos os processos e acionamentos utilizam energia elétrica e, conseqüentemente, motores elétricos, para operar.

O material é transportado em correias elétricas até galpões, para a operação de pré-homogeneização. Nesse processo, empilhadeiras depositam o material de forma que seja homogeneizado para a coleta feita por equipamentos denominados como retomadoras.

Saindo dos galpões de armazenamento, calcário, argila e aditivos corretivos são dosados por balanças e enviados, também por correias, até o moinho de farinha. Segundo CNI (2013), o calcário é dosado em proporção entre 75 e 80%, enquanto o volume de argila gira em torno de 20 a 25%. Os aditivos dependem da composição química do calcário e argila e variam de acordo com a empresa e com os minerais disponíveis. O moinho de farinha, popularmente conhecido como moinho de cru, tem capacidade de produção nominal de 27,5 toneladas por hora e é movido por um motor de 2080 kW. O produto desse moinho vai para a torre de ciclones, onde ocorre o pré-aquecimento e parte da descarbonatação.

O forno rotativo finaliza o processo de descarbonatação do cru e é girado por dois motores de 415 kW cada. De acordo com CNI (2013), o material atinge temperaturas de até 1450 °C nessa etapa. A retirada de carbono do cru é o fenômeno químico que ocorre no forno para, posteriormente, gerar o clínquer.

Na saída do forno, o resfriador é responsável por garantir brusca queda de temperatura do material, originando o clínquer. Nesse equipamento são encontrados vários motores que chegam a 355 kW. Esse material é então armazenado. A unidade em questão é capaz de produzir, conforme projeto, 5000 toneladas de clínquer por dia.

O clínquer é um produto já processado e pode-se dizer que é a matéria prima do cimento. Em contato com água, apresenta solidificação muito rápida. Assim, para fornecer trabalhabilidade ao cimento, é adicionado gesso, além de alguns outros componentes que atuam como aditivos na mistura, de acordo com o tipo de produto a ser produzido. Nesse composto, o clínquer fica responsável pelas propriedades de agregação e resistência do cimento enquanto o gesso controla o tempo para endurecimento e conseqüente trabalhabilidade do produto na obra. Já os aditivos têm diversas finalidades, como correção de acidez, produtividade na moagem, etc.

Por fim, na moagem de cimento o clínquer é misturado com gesso e outros aditivos conforme especificação do tipo de produto. As concentrações de clínquer e dos demais insumos no produto acabado variam de acordo com o tipo de produto a ser fabricado e são determinadas por normas técnicas da ABNT. Os dois moinhos de cimento da fábrica têm motores cuja potência é de 7315 kW cada.

3.2. Manutenção

Para definir os aspectos a serem abordados na manutenção dos motores elétricos, foco principal deste trabalho, é preciso primeiro entender um pouco da manutenção em geral.

“Manutenção pode ser definida como um conjunto de ações técnicas e administrativas com o objetivo de manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.” (GREGÓRIO, SANTOS, PRATA, 2018, p.14)

Para Moro (2007), a manutenção sempre existiu, mas ganhou este nome por volta do século XVI, na Europa. Seu desenvolvimento ocorre, portanto, desde a sua concepção e é uma necessidade absoluta desde a segunda guerra mundial. É de amplo conhecimento que ela começou na modalidade corretiva. Ou seja, os equipamentos só sofriam intervenções após apresentarem falhas. Moreira Neto (2017) menciona que, com o desenvolvimento da indústria, já não bastava intervir nos equipamentos somente após a falha em razão da crescente busca por uma produção mais ágil e confiável. Assim, a manutenção torna-se cada vez mais importante e surgem os primeiros trabalhos relacionados à modalidade preventiva como forma de trabalho.

Nesse momento surge, inclusive, a engenharia de manutenção, pois ainda de acordo com Moreira Neto (2007), o tempo necessário para o diagnóstico de falhas era maior que o período para sua correção e demandava uma equipe especializada para desempenho satisfatório das funções. Assim, conquista-se a diminuição dos custos de manutenção pela especialização do serviço.

Com isso, Bezerra (2011) elucida que a manutenção se tornou um ponto de referência nas empresas, pois suas decisões não são mais fundamentadas em conhecimento empírico, mas em estudos detalhados para cada situação envolvendo especialistas. Em concordância com a ABNT NBR 5462 (1994), a manutenção pode ser encontrada em modalidades como corretiva, preventiva e preditiva, dentre outras.

A manutenção corretiva é a metodologia mais primitiva da manutenção e vem perdendo espaços para as demais modalidades. Trojan, Marçal e Baran (2013) mostram que essa postura define que a intervenção no equipamento só irá ocorrer após falha ou perda de eficiência, sem preparação ou planejamento prévios.

Já a manutenção preventiva é definida pela norma ABNT 5462 (1994, p.7) como “Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.” É basicamente o que ocorre na troca de óleo de automóveis, que é feita em intervalos definidos com base em tempo e/ou quilometragem percorrida.

Já a manutenção preditiva, como aborda Trojan, Marçal e Baran (2013), considera as condições do equipamento para traçar as intervenções. Ou seja, o equipamento vai sendo monitorado conforme especificado pela equipe de manutenção, definido quando ocorrerá a atuação na máquina a partir dos parâmetros analisados. Assim, assegura-se maior disponibilidade sem perder em confiabilidade.

3.3. Motores Elétricos

Os motores elétricos são, basicamente, máquinas que convertem energia elétrica em mecânica. Essas máquinas podem ser classificadas como de corrente contínua ou alternada (síncronos e assíncronos). Industrialmente, os motores de corrente alternada assíncronos são os mais utilizados sendo, inclusive, o que ocorre na fábrica de cimento. Assim, este tipo de equipamento será melhor explicado.

Segundo Martinewski (2007), os motores assíncronos de corrente alternada (CA) são de funcionamento similar aos de corrente contínua (CC). Porém, são menos suscetíveis a defeitos pela maior simplicidade do projeto. Outrossim, os motores de corrente alternada têm vantagens com relação ao CC:

- Menores custos para compra e manutenção;
- Maior rendimento e menor aquecimento;
- Tamanho e peso reduzidos para uma mesma potência;
- Partida simplificada;

Os motores monofásicos, como o próprio nome diz, são ligados a uma tensão monofásica. Martinewski (2007) deixa claro que esse tipo de motor tem potência que não costuma exceder 10 cavalos, sendo encontrados em equipamentos de uso doméstico. Desse modelo, a formulação mais simples é com rotor em gaiola de esquilo, pela simplicidade, robustez e simplicidade de manutenção.

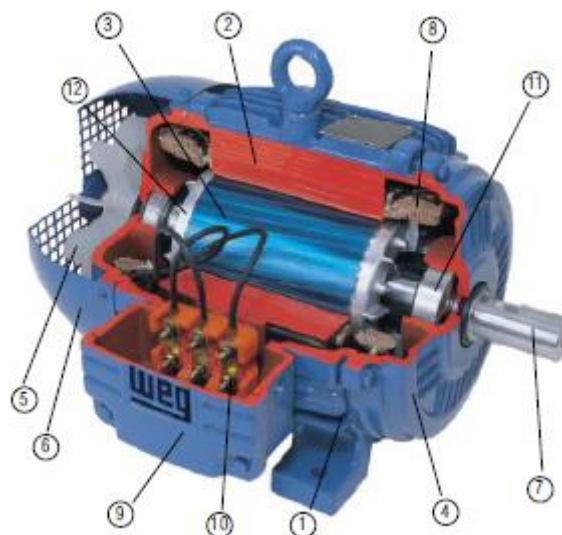
Já os motores de indução trifásicos (MIT) são mais utilizados industrialmente, como ocorre nas fábricas de cimento, sendo alimentados por 3 fases que são igualmente exigidas. Assim, o uso desse tipo de motor exclui a necessidade de fazer balanceamento de cargas entre fases no que tange a sua instalação.

Podemos dividir os componentes de um motor elétrico trifásico simplesmente em rotor e estator.

“No estator fica o enrolamento de campo que será alimentado pela rede, e esse enrolamento é alojado em ranhuras na periferia interna de um núcleo de ferro laminado ancorado na carcaça da máquina.” (MARTINEWSKI, 2007, p.72)

A Figura 2 abaixo ilustra os componentes de um motor elétrico trifásico:

Figura 2 - Componentes do motor trifásico



Fonte: WEG (2019)

Conforme a Figura 2, os componentes do motor são definidos na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Componentes de um motor trifásico

Item	Denominação
1	Carcaça
2	Núcleo de chapas (estator)
3	Núcleo de chapas (rotor) ou bobinado
4	Tampas
5	Ventilador
6	Tampa defletora
7	Eixo
8	Enrolamento Trifásico
9	Caixa de Ligação
10	Terminais
11	Mancais / Casquilhos / Rolamentos
12	Barras / Anéis de Curto Circuito (rotor gaiola) Bobinado (Rotor bobinado)

Fonte: Adaptado de WEG (2019)

Ainda, motores com maior potência possuem em seu interior resistências de aquecimento. Elas são responsáveis por assegurar que o ambiente dentro da carcaça não fique úmido, pois a presença de água causa danos aos enrolamentos do motor e, conseqüentemente, perdas na resistência de isolamento do bobinado do motor.

Assim, a fabricante WEG (2016) recomenda que as resistências permaneçam energizadas, inclusive, quando o motor está armazenado e fora de operação, realizando verificações periódicas do seu funcionamento. Já para motores em uso, prescreve-se que as resistências devem ser energizadas logo após o desligamento da máquina e desenergizadas instantes antes do religamento.

Quanto ao rotor, podem ser encontrados modelos em gaiola de esquilo ou bobinado, o que varia conforme a aplicação dos motores e parâmetros como torque de partida.

O rotor em gaiola de esquilo, com o auxílio das palavras de Henrique (2007), é construído com barras no sentido axial, unidas nas extremidades por anéis, resultando em um

formato similar ao de uma gaiola, como elucidada a Figura 3 abaixo. Esse tipo de rotor é inacessível, ou seja, em hipótese alguma podem ser introduzidas grandezas elétricas como tensões e resistências.

Figura 3 - Rotor gaiola de esquilo



Fonte: Augusto (2006)

Já o rotor bobinado permite que suas bobinas sejam acessadas, podendo colocar resistências, por exemplo. Essa metodologia é utilizada quando a partida é feita com reostato líquido, que será melhor explicado a posteriori. As palavras abaixo auxiliam a solidificar os conceitos do rotor bobinado:

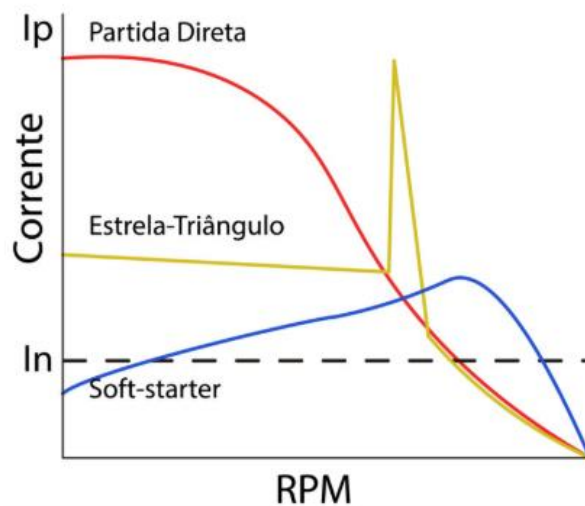
É envolvido por um enrolamento isolado semelhante ao enrolamento do estator. Os enrolamentos de fase do rotor (trifásico) são trazidos para o exterior através de três anéis coletores montados sobre o eixo do motor. O enrolamento do rotor não está ligado a nenhuma fonte de alimentação. Os anéis coletores e as escovas constituem simplesmente uma forma de se ligar resistências variáveis externas, em série, com o circuito do rotor. As resistências variáveis (uma para cada anel coletor) proporcionam um meio para aumentar a resistência do rotor durante a partida, a fim de melhorar suas características de partida. Quando o motor atinge sua velocidade normal, os enrolamentos são curto-circuitados e o funcionamento passa a ser semelhante ao de um rotor de gaiola. (HENRIQUE, 2007, p.16)

A metodologia de partida dos motores é definida analisando o torque de partida da máquina, o tamanho do motor, custo e complexidade de projeto. A mais simples é a partida direta. Como diz Moraes (2012), essa metodologia é recomendada para motores com no máximo 10 cv. Ela fornece conjugado nominal na partida. Porém, para isso, no arranque consome-se corrente elétrica em média 8 vezes maior que a nominal, exigindo robustez no acionamento e na rede. Além disso, há de se considerar que algumas cargas, redes ou circuitos não suportam partida tão brusca, sendo necessário optar por partidas indiretas.

Dentre as partidas indiretas, é possível citar, ainda com apoio de Moraes (2012) a partida Estrela-Triângulo, partida compensadora (auto-trafo), aceleração rotórica para motores com rotor bobinado, ou partidas eletrônicas como *Soft-Starters* e inversores de frequência.

Uma breve comparação pode ser vista na Figura 4, que mostra a corrente em partidas de motores utilizando diversas metodologias. Analisando os valores de corrente de partida (I_p) e corrente nominal (I_n), é possível observar o grande pico da partida direta, passando por um comportamento menos agressivo em chaves de partida estrela-triângulo e, ainda melhor, o caso de partida com *Soft-Starter*.

Figura 4 - Comparação da corrente de partida



Fonte: (RAMOEL, 2019)

Os maiores motores encontrados na fábrica onde foi desenvolvido o trabalho são de rotor bobinado e partida por aceleração rotórica. Por isso, essa metodologia de partida é explicada abaixo:

A Partida com aceleração rotórica só é permitida para motores com rotor bobinado, pois a corrente de partida é controlada por meio da inserção de resistores em série com as bobinas do rotor do motor. A vantagem da utilização deste motor é que ele mantém o torque constante mesmo com a rotação reduzida, por isso é muito utilizado em pontes rolantes e elevadores.(GOMES, 2017)

Assim, torna-se possível partir equipamentos com torque nominal sem os elevados picos de corrente de uma partida direta. Analisando mais detalhadamente esse tipo de partida, pode-se mencionar o reostato líquido, metodologia utilizada na fábrica.

Guedes (1995) fornece registros de reostatos líquidos que datam de 1900. É inescusável para o decorrer do trabalho entender como ocorre a variação da resistência. É necessário pensar em duas placas imersas por um líquido. A resistência do reostato é, na verdade, a resistência entre as duas placas. Elas ficam em um reservatório que terá um fluido condutor bombeado para seu interior. Ela é, ainda em consonância com Guedes (1995), diretamente proporcional à resistividade do líquido e à distância entre as placas. Além disso, é inversamente proporcional à área submersa das placas. Assim, o reostato inicia a partida do motor com pouco líquido, ou seja, com alta oposição ao fluxo de corrente. O fluido vai sendo bombeado conforme o tempo de partida, preenchendo todo o reservatório. Ao fim do tempo de partida, com o reservatório cheio a resistência é nula e os anéis coletores do rotor são curto circuitados, fazendo com que ele se torne basicamente uma gaiola de esquilo.

3.4. Parâmetros de Análise de MIT

Ainda com relação aos motores elétricos, é preciso discorrer sobre parâmetros inerentes a essas máquinas. Tais itens devem ser monitorados conforme valores de projeto ou de classes definidas em normas, assegurando pleno funcionamento dos equipamentos.

Um desses parâmetros se refere às classes de isolamento, que definem qual a temperatura máxima que pode ocorrer no bobinado do motor, causando deterioração e falha prematura no isolamento caso não seja respeitada. Assim, a temperatura deve ser monitorada e mantida dentro dos limites especificados. Para isso, a correspondência de temperaturas disposta na Tabela 2 elucidada os limites existentes de acordo com duas normas de classificação de materiais e sistemas isolantes, IEC 85 e UL 1446.

Tabela 2 - Classes de temperatura de motores (continua)

Temperatura Máxima	Classe de Temperatura	
	IEC 85	UL 1446
90 °C	Y	-
105 °C	A	-
120 °C	E	E
130 °C	B	B
155 °C	F	F
180 °C	H	H
200 °C	200	N

Tabela 3 - Classes de temperatura de motores (conclusão)

Temperatura Máxima	Classe de Temperatura	
	IEC 85	UL 1446
220 °C	220	R
240 °C	-	S
250 °C	250 °C	Acima 240 °C

Fonte: Adaptado de WEG (2019, p.70)

Outra medida que deve ser monitorada e mantida dentro dos padrões é a vibração dos motores. Para isso, a ISO 10816 dividiu os motores em 4 classes, dispostas na Tabela 4, e estabeleceu os valores de referência para vibração de motores conforme a

Tabela 5. Com os parâmetros descritos abaixo, torna-se possível monitorar a saúde dos motores também no que diz respeito a vibração apresentada.

Tabela 4 - Classes de motores elétricos

Classe	Tamanho
Classe 1	Motores pequenos com até 15 kW
Classe 2	Motores médios (15kW < P < 75 kW)
Classe 3	Grandes motores (P > 75 kW)
Classe 4	Grandes máquinas (P > 10 MW)

Fonte: Adaptado de (ISO, 1995)

Tabela 5 - ISO 10816 para vibração (continua)

Vibração [mm/s]	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	
1,8				
2,8	C		B	

4,5		C		B
-----	--	---	--	---

Tabela 6 - ISO 10816 para vibração (conclusão)

Vibração [mm/s]	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
7,1	D	C	C	B
11,2		D		D
18			D	
28			D	
45		D		

Fonte: Adaptado de (ISO, 1995)

O eixo de um motor precisa ser acoplado na carcaça de maneira a permanecer sem curvaturas, mas sem prejudicar seu movimento. Para isso são empregados rolamentos (motores menores), mancais de deslizamento com óleo ou casquilhos para esse objetivo.

Segundo a SKF, fabricante de rolamentos mundialmente conhecida, os rolamentos têm alta precisão e baixo atrito permitindo que mecanismos girem com mínima resistência, temperatura baixa e pouco desgaste. “Para obter o melhor ajuste de desempenho para sua aplicação, muitos parâmetros devem ser considerados: dimensões, peso, velocidades de rotação, classificações de carga, vedação e lubrificação, entre outros.” (SKF,2020). Assim, de acordo com o modelo de mancal ou rolamento, vedação, tipo de lubrificante, temperaturas são definidas para sua melhor operação, e estas devem ser monitoradas a fim de prolongar a vida útil do conjunto.

3.5. Controle Industrial

Fuentes e Beltrame (2020) lembram que inicialmente todo o controle era feito manualmente por operários que tinham como atribuições executar medições, tomar as decisões necessárias conforme as leituras e, por fim, atuar no processo. É de se esperar que essa metodologia era muito suscetível a erros e exigia um alto número de colaboradores, resultando em níveis de produtividade menores com relação ao controle automático.

No controle automático, como sustentam Fuentes e Beltrame (2020), o papel dos operários se resume a definir referências e supervisionar o processo, com atuação mínima.

Porém, sua implementação exige uma malha de controle, conjunto formado por sensores, atuadores e um controlador, responsável por controlar os processos de maneira automática por meio da leitura e processamento de sinais e posterior atuação em saídas.

As entradas basicamente são sinais de qualquer grandeza (temperatura, pressão, corrente, altura, peso, dentre tantas outras) convertidos em sinais elétricos de níveis compatíveis com os cartões de entrada (tensão ou corrente). São oriundos de sensores e transdutores em geral ou de referências fixas ou variáveis vindas da programação ou de operadores. O controlador processa todos os dados das entradas e atua nas saídas, que podem ser bombas, válvulas, motores, compressores, enfim, uma infinidade de dispositivos que modificam algum estado ao seu redor.

Essas malhas podem ser encontradas basicamente em duas modalidades, aberta e fechada, cujas teorias são consolidadas e encontram-se em diversas literaturas. Caso o assunto desperte interesse, podem ser consultados Fuentes (2011) e também Fuentes e Beltrame (2020).

Quando se fala de controle a nível industrial, é preciso introduzir o principal dispositivo de controlador, o CLP (Controlador Lógico Programável). Ele é utilizado na maioria das fábricas quando o assunto é automação. Silveira (2017) compara o CLP a um computador. Isso justifica-se pela similaridade entre os dois dispositivos, que possuem em comum CPU, memórias e portas de comunicação. A principal diferença é que os CLPs são resistentes a ambientes industriais agressivos, com vibrações, poeira e altas temperaturas. Ainda, possibilitam a expansão com a inserção de cartões de entradas e saídas adequados ao processo ou máquina controlados. Portanto, basicamente são o cérebro de toda a operação, responsáveis pelo processamento dos dados e controle do processo conforme a lógica de programação neles gravada.

Guedes (2007) evidencia que os CLPs substituíram painéis de relés, trazendo com a alteração economias com Hardware, possibilidade de alterar lógicas sem modificar fiações, além de maior robustez e velocidade no processamento. Conforme sustenta, nas primeiras construções cada dispositivo de entrada e saída era ligado diretamente ao CLP, o que gerava altíssimo custo de instalação. Atualmente, cartões de entrada e saída, além de CLPs, são distribuídos pela fábrica, e estes se interligam com outros a fim de conectar toda a rede, onerando menos os cofres das empresas e simplificando as ligações necessárias.

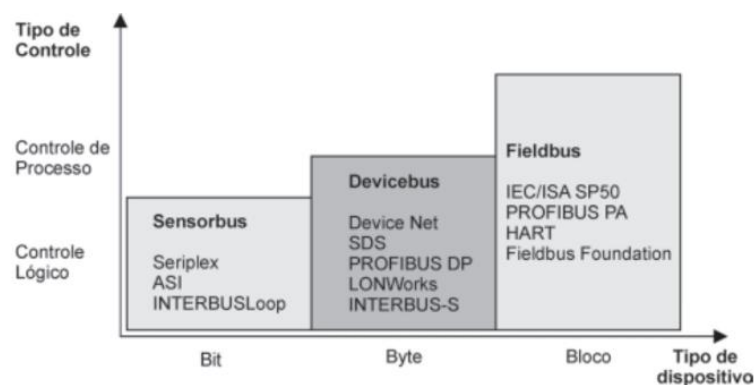
3.6. Redes de Comunicação Industrial

Em uma indústria cimenteira, um grande volume de dados de sensores são processados a todo tempo e interferem em outras inúmeras saídas a fim de manter o controle do processo. Tanto os dados de sensores, quanto os parâmetros de acionamento trafegam por redes que conectam toda a fábrica.

As redes industriais surgiram com o intuito de possibilitar o controle de processos. Por elas trafegam os dados de sensores que servem de base para definir o nível das saídas para os atuadores por meio do processamento em controladores.

O trabalho realizado propõe-se a executar o levantamento de dados de sensores em tempo real a fim de realizar análises que forneçam indicadores sobre a saúde do motor. Assim, torna-se necessário conhecer as redes pelas quais trafegam os dados utilizados. São inúmeros tipos de rede com suas características específicas, pontos fortes e fracos, etc. A Figura 5 ajuda a iniciar as análises:

Figura 5 - Redes de comunicação industrial



Fonte: (LUGLI; SANTOS. 2019)

Como foi observado acima, redes Sensorbus atuam no controle lógico, utilizando somente dados discretos que não passam de bits. Nela, um mestre analisa os estados de todas as entradas, processa e atualiza as saídas conforme o programa executado. As informações são limitadas a 4 bits de entrada e/ou saída por escravo. Além disso, não tem como objetivo cobrir grandes distâncias.

Já as redes Devicebus estabelecem um ambiente entre as redes Sensorbus e Fieldbus de acordo com Dominiak (2012). Ainda, conseguem cobrir maiores distâncias com relação ao Sensorbus. Os sinais que nela trafegam podem ser digitais ou analógicos.

A rede Fieldbus interliga os equipamentos de Input/Output (I/O) mais inteligentes e pode cobrir maiores distâncias. Os equipamentos conectados à rede possuem inteligência para exercer funções especiais de controle, tais como, loops PID, controle de fluxo de informações e processos. Os tempos de transferência podem ser longos, mas a rede deve ser capaz de comunicar-se por vários tipos de dados (discreto, analógico, parâmetros, programas e informações do usuário). (DOMINIÁK, 2012)

“As redes industriais surgiram para dar mais flexibilidade ao processo de controle industrial, permitindo expansões futuras e tornando-o mais acessível se comparado ao sistema centralizado (com PLC).” (LUGLI; SANTOS, 2019)

Assim, Lugli e Santos (2019) ajudam a perceber que, com a implementação de redes industriais, menos material é gasto, a mão de obra pode ser reduzida, além de ser possível conectar um maior número de dispositivos e, conseqüentemente, mais entradas e saídas. Além disso, a rede é flexível para expansões e pode se conectar a outras sem maiores percalços.

Tratando especificamente das redes presentes na fábrica, é necessário tratar de DeviceNet e ControlNet. Por isso, uma melhor análise será efetuada sobre as duas. Como mostrou a Figura 5, a rede DeviceNet é uma modalidade de rede DeviceBus.

A rede DeviceNet é uma rede de baixo nível que proporciona comunicações utilizando o mesmo meio físico entre equipamentos desde os mais simples, como sensores e atuadores, até os mais complexos como controladores lógicos programáveis (CLP's) e micro-computadores. (ALBUQUERQUE, 2018)

Possui protocolo aberto e padronização, o que facilita sua implementação na indústria. Ainda conforme Albuquerque (2018), até 64 dispositivos podem ser conectados na rede. Na fábrica seu meio físico é o cabo coaxial.

Já a rede ControlNet foi desenvolvida pela fabricante de CLPs Allen Bradley, da Rockwell. É utilizada na fábrica para interligação entre os controladores montados no campo e os encontrados no painel de controle central.

A rede ControlNet™ é uma rede de controle aberta que atende às exigências de aplicações de alto throughput em tempo real. O ControlNet oferece suporte ao intertravamento entre controladores e ao controle em tempo real de E/S,

inversores e válvulas. Ela também oferece rede de controle em aplicações discretas e de processos, inclusive aplicações de alta disponibilidade. (ALLEN BRADLEY, 2020)

A conexão entre os CLPs é feita por meio de fibra ótica, proporcionando a transmissão em grandes distâncias e a imunidade a interferências eletromagnéticas.

3.7. *PI System*

O *PI System* é a ferramenta que possibilita a leitura dos dados vindos do campo a partir de qualquer computador conectado na rede interna da fábrica. Basta adicionar a TAG (identificação) do dado de interesse e o sistema começa a armazená-lo em um servidor. Assim, a partir do momento que a leitura dos dados foi adicionada ao servidor, torna-se possível consultar seu valor em qualquer instante de tempo.

Insira o *PI System* e sua capacidade de coletar, analisar, visualizar e compartilhar grandes quantidades de dados de séries temporais de alta fidelidade de várias fontes para pessoas e sistemas em todas as operações. Ao acessar os principais dados e informações, o *PI System* ajudou as empresas líderes a oferecer maiores melhorias operacionais e avanços que levam a uma transformação abrangente dos negócios. (OSI Soft, 2020)

Com essa ferramenta, não somente as leituras atuais podem ser consultadas, como toda uma gama de valores que conseguem fornecer o histórico de operação da máquina monitorada.

A consulta dos dados pode ser feita pelo *software* específico da ferramenta ou também pelo Excel por meio de um plugin instalado no computador. Assim, torna-se possível monitorar os valores de maneira simples e promover cálculos e comparações com as funcionalidades amplamente conhecidas do Excel.

3.8. Instrumentação Industrial

“É a ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em processos industriais” (SILVA, 2018).

Tais instrumentos podem ser classificados de diversas maneiras, como relata Alves (2017). Podem ser elementos primários como sensores e transdutores, indicadores, transmissores, controladores, registradores e elementos finais de controle. No presente trabalho

serão tratados os sensores e transdutores, cuja função é, basicamente, sentir variáveis físicas e converte-las para grandezas que possibilitem sua leitura.

Estas grandezas podem ser, a partir do que explica Silva (2018), tensões, correntes ou pressões, todas com limites padronizados. Ainda, podem ser analógicas, variando entre os limites, ou digitais, fornecendo estados binários (0 ou 1, ligado ou desligado, atuado ou não atuado, etc).

Alves (2017) conseguiu resumir um pouco da gama de sensores disponíveis para medição de cada grandeza, mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Possibilidades de sensores

	Pressão	Temperatura	Vazão	Nível
Sensores	Bourdon	Bimetal	Orifício	Flutuador
	Fole	Termorresistência	Volumétrico	Pressão
	Diafragma	Termopar	Turbina	Radar
	Capacitivo	Radiação	Magnético	Ultrassom
	<i>Strain Gauge</i>		Ultrassom	
	Piezoelétrico		Coriolis	

Fonte: Adaptado de (ALVES, 2017, p.14)

No monitoramento de um motor, temperatura, corrente elétrica e vibração devem ser adquiridos por sensores. A temperatura deve ser analisada nos mancais ou rolamentos do motor (a depender de sua construção) e também nos bobinados. Já a corrente do estator deve ser monitorada pois deve ser sempre balanceada para as três fases. Ainda, a vibração do motor deve ser monitorada e mantida dentro dos padrões, conforme citado anteriormente.

Para o monitoramento de temperatura, vários sensores podem ser utilizados. Independente do seu princípio de medição, o produto final é uma tensão ou corrente com magnitude conhecida para identificação da temperatura atual. Uma das maneiras de medir essa grandeza é por meio da variação de uma resistência elétrica, popularmente encontrada em termo resistências PT100.

A outra variável que é monitorada nos motores é a corrente elétrica dos terminais do estator. Para isso, são utilizados transformadores de corrente (TCs) que fornecem para o CLP uma corrente proporcional à que transita nos cabos.

Os transformadores de corrente são comumente utilizados para sensoriamento de correntes elétricas em sistemas de potência de corrente alternada. Nestes sistemas, as correntes normalmente são altas e os TC's reduzem seus níveis para os dispositivos de proteção e medição atuarem. Estes instrumentos podem ser encontrados em réles de proteção, disjuntores eletrônicos, conversores de frequência, reguladores de tensão, ou, ainda, em qualquer lugar onde se deseje mensurar uma corrente elétrica alternada. (STAUDT, 2009, pp.7-8)

Estes podem ser entendidos como um enrolamento secundário em volta de um condutor por onde passa a corrente de interesse. O campo eletromagnético gerado nesse condutor excita as bobinas do TC que fornece uma corrente proporcional à que transita no cabo, visto como o enrolamento primário.

Para medir a vibração dos motores é preciso instalar acelerômetros em sua carcaça. Tomando como base o que informa National Instruments (2019), o acelerômetro mede a vibração de um dispositivo e a retorna em forma de tensão. Convertida, ela fornece informações sobre a magnitude dessa aceleração medida. Com o valor em mãos, torna-se possível analisar se o motor está realmente fixo em sua base, se há algum desalinhamento com relação à carga acoplada ou, ainda, fornecer sinais de que algo de errado pode estar ocorrendo inclusive com a alimentação do motor.

3.9. Sistema Supervisório

O objetivo final do trabalho é desenvolver um sistema supervisório para os motores monitorados. Assim, com todos os dados processados, a interface com o usuário se torna simples e as informações são passadas de forma intuitiva. Além de promover informações, é de grande valia que a interface seja amigável e simples. Com isso, não se fazem necessárias muitas interpretações para analisar a saúde dos motores e traçar planos de manutenção.

Os sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário. Estes sistemas também são chamados de SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). (SILVA; SALVADOR, 2005)

Mantendo na linha de raciocínio de Silva e Salvador(2005), os sistemas SCADA precisam ter Tags identificadas para cada dado, podendo executar cálculos e interpretações representando os dados ou conclusões extraídas. Além disso, podem ser configurados alarmes individuais para cada variável, podendo disparar mensagens, classificações por cores, envio de e-mails, etc.

Assim, Silva e Salvador (2005) resumem que o sistema supervisório é composto, basicamente, de sensores, redes de comunicação, estações de aquisição dos dados e um monitoramento central (interface com o usuário).

Todos os itens integrantes do sistema supervisório já foram abordados neste referencial, restando, portanto, iniciar a descrição dos procedimentos executados para a realização do presente trabalho.

4. Materiais e Métodos

O objetivo do trabalho é monitorar os motores elétricos instalados na fábrica de cimento, bem como gerenciar os ensaios a serem realizados periodicamente em cada exemplar. Porém, pelo tamanho do processo, são encontrados mais de 1800 motores em funcionamento contínuo, de várias marcas e tamanhos, aplicações e acionamentos. Assim, torna-se inviável desenvolver uma ferramenta de monitoramento para todos esses equipamentos. Portanto, para a escolha dos motores a serem analisados foi utilizado o conceito do grupo cimenteiro para grandes motores elétricos, sendo estes divididos em 4 categorias: Britadores cuja potência ultrapasse 250 kW, motores de moinhos, motores e ventiladores da cadeia do forno com potência maior que 200 kW e motores que não se enquadrem nas 3 categorias anteriores, mas tenham potência maior que 450 kW.

No processo produtivo do cimento, britadores podem ser encontrados nas minas de extração de calcário, no sistema de alimentação de aditivos e também na saída do resfriador encontra-se um britador de clínquer. A sua eficiência está diretamente ligada aos motores que ali funcionam. Caso apresentem funcionamento fora de conformidade, pedras com granulometria fora do padrão acabam causando sérios problemas para os processos posteriores, podendo sobrecarregar roletes, rasgar correias, forçar moinhos ou entupir “shutes” (duto por onde passa o material a ser pesado para alimentar os processos), dentre outros problemas. Ainda, caso algum desses britadores pare inesperadamente, pode ocorrer a falta de material para os processos posteriores e, conseqüentemente, parada da produção, causando prejuízos imensuráveis. Para definir um critério mais restrito, somente motores de britadores cuja potência ultrapasse 250 kW são considerados grandes motores. Este é o caso do motor do britador da Mina 2, dos dois motores do britador da Mina 1, bem como o britador de aditivos.

No que diz respeito aos moinhos, estes também são de suma importância para o processo. Apesar de existirem silos após as moagens, os estoques são limitados, fazendo com que não seja possível permanecer com algum moinho parado por muito tempo. Na unidade fabril existe o moinho de Cru, o moinho de coque, além dos dois moinhos de cimento. Os dois primeiros, em caso de falha, ocasionam a parada da cadeia do forno em poucas horas, isso pois o cru é o material que alimenta o forno, bem como o coque é seu combustível. A cadeia do forno somente é parada em manutenções do forno, que ocorrem geralmente 2 vezes ao ano. Os custos de paradas não programadas são muito elevados, além de prejudicarem todo o

planejamento estratégico da fábrica. No que tange os moinhos de cimento, é deles a responsabilidade pela produção do produto final, o cimento. Assim, uma parada desses equipamentos pode causar a falta de produto para venda. Além disso, para cada um desses moinhos existem os ventiladores de tiragem. De nada adianta moer o material se não for possível retirá-lo do moinho. Estes ventiladores cumprem esse papel e demandam muita potência para desempenharem a função. Além disso, a parada do ventilador exige que o moinho seja desligado. Portanto, também são considerados na categoria dos moinhos os motores dos ventiladores de tiragem, pois são igualmente cruciais. Assim, dessa categoria existem 8 motores.

Quanto à terceira categoria, motores e ventiladores do forno também são de suma importância. Como foi citado anteriormente, o forno é um dos equipamentos mais importantes da fábrica. Possui 65 metros e meio de comprimento e 5 metros de diâmetro, por onde passam diariamente 5000 toneladas de clínquer conforme projeto. Assim, todos os motores que ali atuam devem ter confiabilidade elevada. Para definir um critério de seleção, motores com potência maior que 200 kW na cadeia do forno são considerados grandes motores. Seguindo essa regra, são encontrados os dois motores responsáveis pelo giro do forno e 3 ventiladores do resfriador, totalizando 5 máquinas.

Ainda, além dos motores acima citados, é possível encontrar mais 5 motores com potência maior que 450 kW. Sendo 3 motores de ventiladores responsáveis pelo fluxo de material no precipitador eletrostático e transporte de cru, além dos separadores das duas moagens de cimento, responsáveis por definir a granulometria do produto que sai do moinho.

Assim, na unidade existem 22 motores com as características de grandes motores e, portanto, estes serão os objetos de estudo do trabalho. Cada motor será abordado detalhadamente a fim de descrever todas as características relevantes como a TAG que o identifica, os dados medidos, localização, fluxo de dados, etc.

4.1. TAGs dos motores e sinais

Na fábrica, cada dispositivo, sensor, acionamento, motor, etc., tem uma tag definida para melhor identificação. Especificamente, cada motor é nomeado por uma TAG composta por 10 caracteres. Os sinais dele provenientes possuem TAGs similares.

Os 3 primeiros caracteres definem a área da fábrica onde se localiza o motor. Os 2 próximos nomeiam o equipamento e os 2 posteriores definem um número de série. Já os 3 últimos definem o número do motor na máquina. Para elucidação mais eficaz, as TAGs serão melhor explicadas na introdução de cada motor que foi estudado no trabalho.

4.2. Descrição dos Motores Envolvidos

Nessa parte do trabalho, cada motor será detalhado por meio de suas características construtivas, metodologia de acionamento, instrumentação disponível e o fluxo desses dados até o sistema supervisório. Serão apresentados fabricantes, rotação, potência e tensão dos motores, bem como o tipo de rotor e a metodologia de acionamento da máquina. Ainda, todos os sinais lidos do motor já serão listados por meio de suas TAGs e sua respectiva descrição do tipo de sensor responsável pela medição. Ainda, para as medições de temperatura já serão mostrados os limites de alarme, que somente atuam indicação visual para os operadores, e também o limite de parada, quando o motor é desligado pelo sistema. As medições de corrente são utilizadas basicamente para cálculos de potência e fator de potência, distúrbios relacionados à essa grandeza são tratados por meio de relés térmicos instalados em campo. Por fim, o sinal de status da resistência também é lido a fim de assegurar a correta operação de todo o sistema.

Todos os motores listados possuem classe de isolamento F o que, conforme a Tabela 2, define que o verniz dos enrolamentos do motor suporta temperaturas de até 155 °C. Será observado que todos os limites estão abaixo desse limiar por postura preventiva da equipe de manutenção. Ainda, alguns motores possuem mancais simples, outros de deslizamento (com bombas de óleo), casquilhos, etc. A definição do mancal foge do escopo do presente trabalho, pois aqui basta controlar a temperatura dos componentes para que se mantenham dentro dos padrões descritos pelos fabricantes.

4.2.1. Britador de Calcário da Mina 2

Figura 6 – Britador de calcário da mina 2



Fonte: Do Autor (2020)

O motor do britador de calcário da mina 2, apresentado na Figura 6, possui a tag 111HC01M02. O prefixo 111 diz que o motor está instalado na área da fábrica denominada como tal, ou seja, a mina 2. Dela sai a maior parte do calcário utilizado no processo de fabricação de cimento. A seção HC01 mostra que é o britador de martelos número 1 da área. Já o “M02” classifica o motor em questão como o segundo da máquina.

Já a resistência de aquecimento do motor pode ser identificada quando a TAG termina com E01 ou E02, a depender da instalação. Por fornecer o calcário utilizado como principal insumo da fabricação do cimento, este motor funciona grande parte do tempo. A Tabela 8 resume os dados gerais do motor.

Tabela 8 - Dados gerais do motor – 111HC01M02 (continua)

111HC01M02	
Britador de Calcário	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1200 rpm
Potência	Rotor
1025 kW	Bobinado

Tabela 9 - Dados gerais do motor – 111HC01M02 (conclusão)

Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Ainda, é necessário entender e nomear os sinais que serão monitorados. Todos eles trafegam pela mesma rede, que será melhor detalhada posteriormente. Com o auxílio das funcionalidades do *PI System*, dispostas no item 3.3.5, basta buscar a TAG referente ao sinal para monitorá-la em tempo real, bem como buscar dados de qualquer momento a partir de sua inserção no historiador. Para o britador de calcário da mina 2, os sinais disponíveis estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados de instrumentação - 111HC01M02

Sinal	TAG	Origem do Sinal	Alarme	Parada
Status Motor	111HC01M02_ST	Relé	-	-
Status Resistência	111HC01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	111HC01M02I01	TC 200 - 5A	-	-
Corrente Fase S	111HC01M02I02	TC 200 - 5A	-	-
Corrente Fase T	111HC01M02I03	TC 200 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	111HC01N11T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	111HC01N12T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	111HC01N13T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal LOA	111HC01N14T01	PT100	80 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	111HC01N15T01	PT100	80 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

Os níveis observados nas colunas de “Alarme” e “Parada” são definidos na programação aplicada na planta, sendo que ao atingir o nível de alarme, um alerta aparece para o operador enquanto, ao extrapolar o limite de parada, o motor é automaticamente parado.

A mesma descrição foi feita para os outros 21 motores abordados no trabalho e está no apêndice A do documento.

4.3. Fluxo dos Dados

O fluxo dos dados dos sensores se dá por meio de redes de comunicação industrial. Na fábrica, são encontrados CLPs distribuídos em salas elétricas e também outros no comando central, no prédio administrativo. A denominação “sala elétrica” serve para caracterizar as salas que concentram toda a infraestrutura de comando e distribuição de força para as cargas instaladas. Nelas podem ser encontrados os Centros de Controle de Motores (CCM), inversores de frequência, painéis de CLP, etc.

Assim, para compreender o caminho percorrido pelos dados até o computador onde opera a ferramenta de monitoramento, é preciso entender, primeiro, a localização de cada motor monitorado na fábrica, localizar as salas elétricas para, então, analisar mais precisamente o caminho dos sinais.

Inicialmente serão apresentados os locais dos britadores. Isso se justifica pois ficam em lugares remotos e a apresentação de todos os motores em uma só imagem seria complicada. Assim, a Figura 7 abaixo exhibe onde estão instalados os britadores classificados como grandes motores:

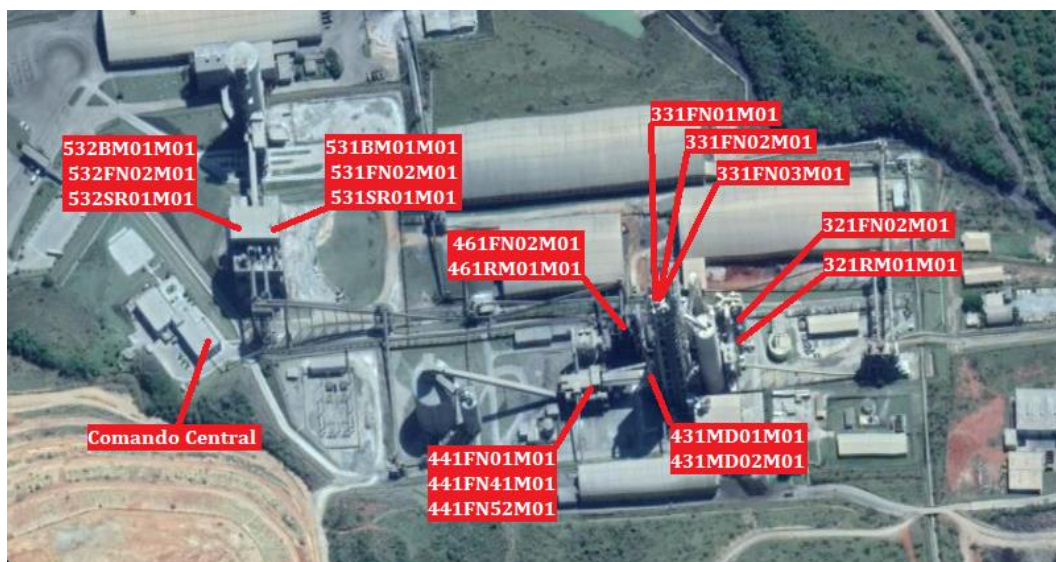
Figura 7 - Localização dos britadores na fábrica



Fonte: Do Autor (2020)

Para melhor entendimento, vale ressaltar ainda que a mina observada no canto inferior direito da imagem é a mina 2, enquanto a menor, da parte superior da Figura 7, é a mina 1.

Figura 8 - Localização dos demais motores e do comando central



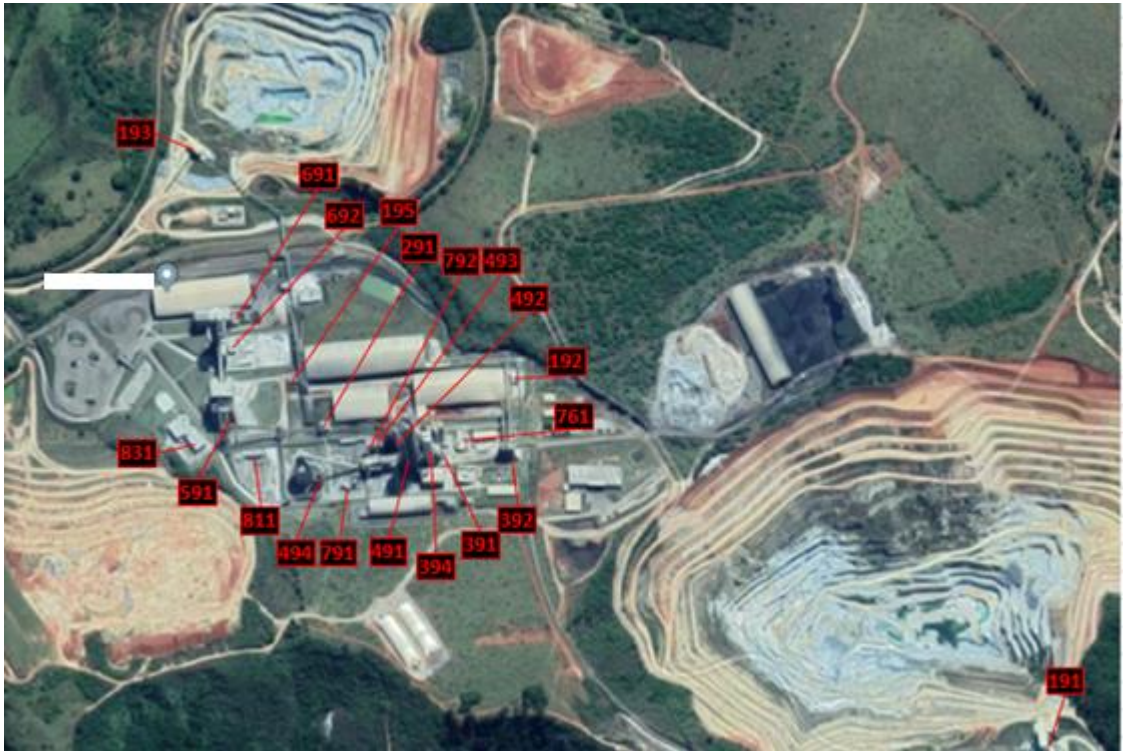
Fonte: Do Autor (2020)

A Figura 8 acima finaliza a demonstração dos locais onde operam os motores. Ainda, no canto inferior esquerdo encontra-se o comando central, de onde partem todos os comandos e retornam todos os sinais. Outrossim, a partir do mesmo prédio será executada a ferramenta desenvolvida e descrita no presente trabalho.

Com apoio da Figura 7 e da Figura 8, é possível perceber que os motores abordados pelo trabalho englobam toda a cadeia produtiva, da extração de matéria prima até o produto final, corroborando a escolha dessas máquinas para monitoramento constante. Analisando a Figura 8 também é possível elucidar o fluxo do processo, que se dá da direita para a esquerda.

Já as salas elétricas são as responsáveis por distribuir todo tipo de sinal elétrico, de comando ou potência, entre a área fabril e o comando central. Nelas localizam-se controladores lógico programáveis que centralizam o fluxo de dados para os CLPs que ficam na sala do comando central. Assim, é de suma importância relacionar a localização dos motores e a localização das salas elétricas.

Figura 9 - Localização das salas elétricas



Fonte: Do Autor (2020)

Na Figura 9, a sala 831 é o comando central. As demais salas estão distribuídas pela área fabril a fim de proporcionar divisão das leituras e acionamentos e diminuição de cabos. Isso pois, entre sensores e atuadores e as salas elétricas passam centenas de cabos com as mais diversas finalidades, mas entre as salas e o comando central, uma simples fibra ótica carrega todos os sinais. Assim, essa distribuição diminui o número e o comprimento de cabos distribuídos pela fábrica.

Como já foram demonstradas as localizações dos grandes motores e também das salas elétricas, basta agora relaciona-los. Para isso, a Tabela 11 abaixo associa os motores que são foco do trabalho e as salas de onde partem os sinais para estes. Dos motores listados abaixo, os que terminam com M01 e M02 são acionados por reostatos líquidos enquanto os que terminam com U01 são acionados por inversores de frequência. Essa diferença no acionamento interfere diretamente no fluxo dos dados para o comando central e para a ferramenta desenvolvida.

Tabela 11 - Relação das salas elétricas com motores

Motor	Sala Elétrica
111HC01M02	191
113HC01M01	193
113HC01M02	193
213HC01M01	195
321FN02M01	391
321RM01M01	391
331FN01U01	491
331FN02U01	491
331FN03U01	491
431MD01U01	491
431MD02U01	491
441FN01U01	492
441FN41U01	492
441FN52U01	492
461FN02M01	493
461RM01U01	493
531BM01M01	591
531FN02M01	591
531SR01U01	591
532BM01M01	591
532FN02M01	591
532SR01U01	591

Fonte: Do Autor (2020)

Todos os dados dos motores fluem para a rede a partir das salas elétricas responsáveis pelos seus acionamentos. A comunicação pode ocorrer pela rede DeviceNet e ControlNet. A rede DeviceNet serve para a comunicação com os inversores de frequência, que acionam alguns dos motores acima citados. Porém, essa rede se comunica com a ControlNet ainda na sala elétrica. Assim, entre os CLPs das salas e do comando central, somente a rede ControlNet atua.

Já no comando central, os CLPs são conectados com o servidor do *PI System*, que armazena os dados e disponibiliza ao acesso por meio dos programas da OSI Soft e também utilizando aditivos do software Microsoft Excel.

4.4. Armazenamentos dos Dados pelo *PI System*

Um dos grandes desafios da atualidade é o grande volume de dados a serem processados e armazenados. O *PI System* lida com essa questão filtrando o que será armazenado.

Os dados analógicos, nesse caso correntes e temperaturas, são adicionados ao servidor definindo o endereço, que é a TAG do sensor. Além disso, o spam da leitura em questão também é definido e é o referencial para salvar ou não um dado. Isso pois o valor é salvo somente se variar mais que uma porcentagem determinada do spam. Para as variáveis analógicas monitoradas no trabalho, o limite foi definido como 1% do spam. Assim, caso o dado varie mais do que esse valor entre uma amostragem e a seguinte, é novamente armazenado ao servidor. Junto com a inserção no servidor, é salva também a data e hora da amostra.

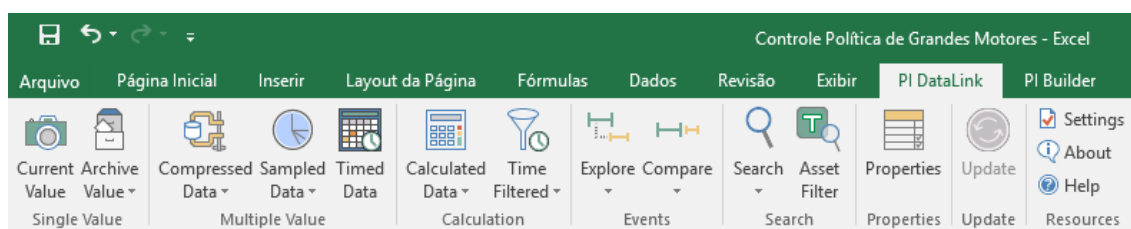
Já para as variáveis de status, somente são armazenadas as mudanças. Assim como as variáveis analógicas, para estas também são armazenadas data e hora. Com isso é possível analisar tempo de operação, falhas que eventualmente ocorram, etc. O status pode ter os seguintes estados:

- Ligado: Equipamento está em funcionamento;
- Parado: Equipamento está parado, mas em condições de ser ligado;
- Parando: Equipamento está aguardando condições de outros sensores para efetivamente desligar;
- Não Pronto: Equipamento tem alguma condição que impossibilita ligação;
- Sobrecarga: Disjuntor de acionamento está aberto, seja por ter desarmado ou por ter sido desligado e travado com cadeado para intervenções;
- Sensor de Movimento: Estado encontrado em correias para garantir que o equipamento pare em caso de rasgamento. Significa que o motor está funcionando;
- Parada Seleccionada: Em algumas cadeias, a parada de um equipamento exige que outros também parem, retornando esse status;
- Ligado Local: Significa que o motor está ligado e sendo comandado por uma botoeira instalada no local do motor, normalmente ocorre durante testes;

Com esses estados torna-se possível monitorar o correto funcionamento dos equipamentos bem como detectar eventuais falhas, horário da ocorrência e tempos de operação ou de falha.

A ferramenta foi desenvolvida por meio do Microsoft Excel. Essa escolha se justifica pois existe um aditivo do *PI System* que possibilita o acesso dos dados do servidor em planilhas, como mostra a Figura 10. Com isso, torna-se possível acessar o valor corrente dos dados, bem como fazer retrospectivas históricas de qualquer período de interesse, desde que o dado começou a ser armazenado pelo servidor.

Figura 10 - Ferramentas do *PI System* no excel



Fonte: Do Autor (2020)

Basicamente, as funções utilizadas foram a “*Current Value*”, que exibe o valor atual do sinal em questão, e a “*Compressed Data*”, que fornece dados do sensor em um intervalo determinado de tempo. Ainda, todos os ensaios, estáticos e dinâmicos, realizados nos motores, são registrados em planilhas. Assim, o desenvolvimento da ferramenta no Excel possibilita também o controle da realização de cada teste.

4.5. Definição das Variáveis a serem monitoradas

Como já foi exposto no item 4.3 e no anexo, os motores abordados no presente trabalho possuem, salvo algumas exceções, medições de temperatura dos casquilhos e dos bobinados, bem como medições de corrente nas fases. A corrente elétrica tem maior função no cálculo de potência e já possui as devidas proteções físicas para que permaneça sob controle, suprimindo a necessidade de outros controles adicionais.

Quanto às temperaturas, elas refletem a saúde do motor e devem ser mantidas sob controle. Com seus valores podem ser traçadas estratégias de lubrificação de casquilhos e rolamentos (a depender do caso), analisando a qualidade da lubrificação e, conseqüentemente,

o esforço do motor. Quanto aos bobinados, sua temperatura deve ser mantida abaixo dos níveis da classe de isolamento a fim de preservar o isolamento. Por isso, as temperaturas dos casquilhos e bobinados serão monitoradas na ferramenta desenvolvida.

A vibração dos motores é também um parâmetro importante de ser monitorado. Com sua mensuração é possível analisar desbalanceamentos na instalação, bem como possibilita a detecção precoce de falhas como quebra de rolamentos, atuando para desligar o equipamento antes de danificar mais componentes do motor.

Por fim, o status dos motores e resistências de aquecimento deve ser monitorado a fim de garantir a correta operação do conjunto. Como já foi exposto, a resistência de aquecimento deve entrar em operação assim que o motor for desligado para manter temperaturas que mantenham baixa umidade no interior do motor. Mantendo baixa a umidade, protege-se o motor contra a oxidação de rolamentos, rotores e eixos e também se evitam as falhas de isolamento, consequentemente evitando a diminuição da vida útil do motor. Além disso as resistências não podem entrar em operação enquanto o motor estiver funcionando, pois seu próprio movimento já gera calor e essa operação concomitante causaria sobreaquecimento da máquina.

4.6. Monitoramento dos Ensaios Realizados

É prática da fábrica realizar ensaios e medições periodicamente nos motores. Estes ensaios podem ser estáticos ou dinâmicos e são uma estratégia de manutenção preditiva e preventiva feita com o intuito de garantir a operação das máquinas sempre que for necessário, sem intercorrência.

Estaticamente, ou seja, com o motor desligado, são feitas medições de isolamento entre rotor e terra e também entre o estator e terra. O instrumento utilizado para essas medições é o megômetro, equipamento capaz de medir a resistência na casa de mega ohms. Nele também é definida a tensão a ser utilizada em cada teste e depende das tensões induzidas no rotor das tensões do estator, e gira em torno de 1000 volts acima da tensão nominal. Além disso, para os motores de rotor bobinado são verificadas as dimensões das escovas para monitorar desgaste e definir o melhor momento para realizar a troca. Essa aferição é feita com o auxílio de um paquímetro.

Quanto aos ensaios dinâmicos, a intenção é avaliar o conteúdo harmônico das correntes a fim de verificar barras rompidas em rotores gaiola, falhas de isolamento, etc. Porém, o

equipamento capaz de fazer essas medições não está disponível no momento e foram consideradas as medidas realizadas por um equipamento analisador chamado Baker AWA IV-12, que faz ensaios estáticos mais completos nos motores, verificando descargas parciais, dentre outros parâmetros, sendo mais uma maneira de analisar a saúde do motor.

Todos estes ensaios são adicionados a planilhas específicas de Excel que ficam armazenadas na rede interna da fábrica. Nelas são inseridas as leituras e as datas de realização do ensaio em questão, bem como outros dados oportunos. As planilhas já foram configuradas para manter em células específicas a data de realização do último ensaio, facilitando a leitura por outros arquivos de Excel.

4.7. Definição das Funções e Desenvolvimento da Ferramenta

Para desenvolver a ferramenta de supervisão dos motores, inicialmente foram definidos quais seriam os itens, as funções dela pertencentes. Essa divisão foi realizada a fim de tornar claros todos os dados apresentados, possibilitando que qualquer profissional seja capaz de entender o que se passa com os grandes motores e tomar as decisões necessárias.

4.7.1. Motores Envolvidos

Inicialmente, foi desenvolvida uma aba que caracteriza os motores que são monitorados pela política de grandes motores esclarecendo, inclusive, qual a categoria que o motor se encaixa como um grande motor. Essa descrição é importante pois fornece um resumo rápido dessa caracterização para profissionais que não estejam habituados com a ferramenta, facilitando o entendimento de todo o trabalho.

Para isso, foi construída uma tabela colocada em uma aba de Excel para acesso posterior, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Apresentação dos motores monitorados (continua)

Política de Grandes Motores					
Categoria	Local	Descrição	Equipamento	Descrição	Potência
Motores de Britadores P >= 250 kW	111	Mina 2	111HC01M02 (Média)	Britador de Calcário	1025 kW
	113	Mina 1	113HC01M01 (Média)	Britador de Calcário	220 kW
	113	Mina 1	113HC01M02 (Média)	Britador de Calcário	220 kW
	213	Galpão Gesso	213HC01M01 (Média)	Britador de Aditivos	250 kW

Tabela 13 - Apresentação dos motores monitorados (conclusão)

Política de Grandes Motores					
Categoria	Local	Descrição	Equipamento	Descrição	Potência
Motores de Moinhos	321	Moagem de Cru	321RM01M01 (Média)	Motor Principal	2080 kW
	321	Moagem de Cru	321FN02M01 (Média)	Ventilador de Tiragem	3642 kW
	461	Moagem de Carvão	461RM01U01	Motor Principal	470 kW
	461	Moagem de Carvão	461FN02M01 (Média)	Ventilador de Tiragem	470 kW
	531	Moagem de Cimento 1	531FN02M01 (Média)	Ventilador de Tiragem	545 kW
	531	Moagem de Cimento 1	531BM01M01 (Média)	Moinho de Cimento 1	7315 kW
	532	Moagem de Cimento 2	532FN02M01 (Média)	Moinho de Cimento 2	545 kW
	532	Moagem de Cimento 2	532BM01M01 (Média)	Moinho de Cimento 2	7315 kW
Motores e Ventiladores do Forno P >= 200 kW	431	Forno	431MD01U01	Motor Principal	415 kW
	431	Forno	431MD02U01	Motor Principal	415 kW
	441	Resfriador	441FN01U01	Ventilador de Tiragem	355 kW
	441	Resfriador	441FN41U01	Ventilador do Resfriador	205 kW
	441	Resfriador	441FN52U01	Ventilador do Resfriador	205 kW
Motores em Geral P >= 450 kW	331	Precipitador e Transp. Cru	331FN01U01	Ventilador do Filtro	930 kW
	331	Precipitador e Transp. Cru	331FN02U01	Ventilador do Filtro	1240 kW
	331	Precipitador e Transp. Cru	331FN03U01	Ventilador do Filtro	1240 kW
	531	Moagem de Cimento 1	531SR01U01	Se parador	560 kW
	532	Moagem de Cimento 2	532SR01M01	Se parador	560 kW

Fonte: Do Autor (2020)

4.7.2. Resistências de Aquecimento

Como já foi elucidado no item 4.3, quase todos os motores possuem resistências de aquecimento. Sua importância também já foi explicada anteriormente. Para possibilitar melhor controle desse dispositivo, também foi elaborado um quadro de resumo que mostra as resistências monitoradas, a função do equipamento que ela acompanha, sua potência, status e a temperatura média dos bobinados do motor em questão. Por fim, foi também inserido um bit de alarme que mostra se o conjunto está operando em conformidade. Todos esses pontos podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 - Apresentação das resistências monitoradas (continua)

Política de Grandes Motores							
Resistências de Aquecimento de Motores							
Local	Descrição	Equipamento	Função	Potência	Status	Temp Motor	Bit Alarme
111	Mina 2	111HC01E01	Britador de Calcário	2,2 kW	Ligado	39,52 °c	✔
113	Mina 1	113HC01E01	Britador de Calcário	0,55 kW	Ligado	35,22 °c	✔
113	Mina 1	113HC01E02	Britador de Calcário	0,55 kW	Ligado	43,10 °c	✔
213	Britagem de Aditivos	213HC01E01	Britador de Aditivos	2,2 kW	Ligado	39,17 °c	✔
321	Moagem de Cru	321FN02E01	Ventilador de Tiragem	3 kW	Parado	76,41 °c	✔
321	Moagem de Cru	321RM01E01	Moinho de Cru	2,2 kW	Parado	66,57 °c	✔
431	Forno	431MD01E01	Motor Principal Forno	0,25 kW	Parado	62,52 °c	✔

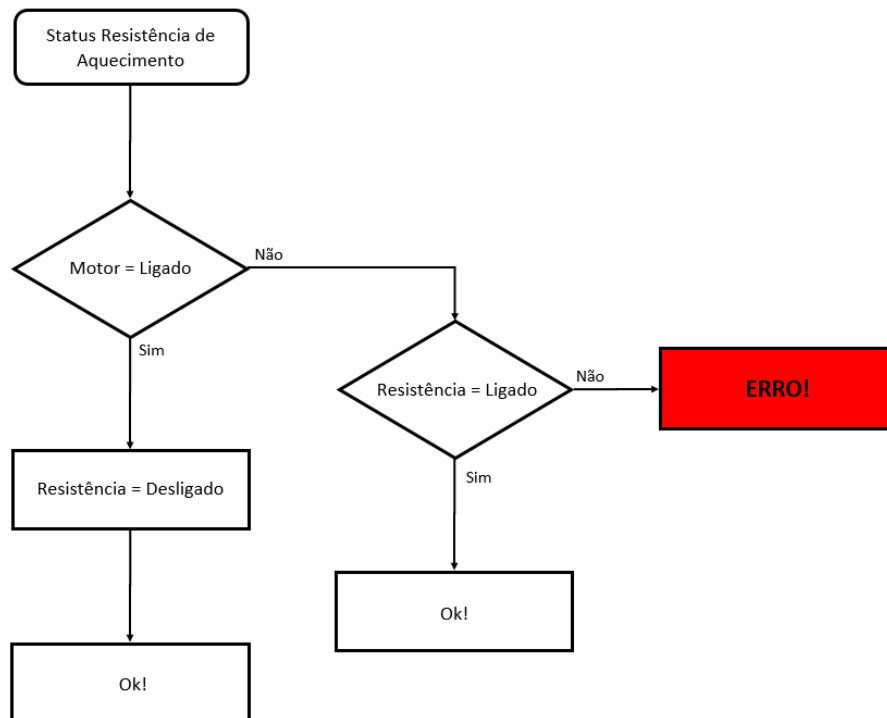
Tabela 15 - Apresentação das resistências monitoradas(conclusão)

Política de Grandes Motores							
Resistências de Aquecimento de Motores							
Local	Descrição	Equipamento	Função	Potência	Status	Temp Motor	Bit Alarme
431	Forno	431MD02E01	Motor Principal Forno	0,25 kW	Parado	63,02 °c	✔
441	Resfriador	441FN01E01	Ventilador do Resfriador	0,25 kW	Parado	48,64 °c	✔
461	Moagem de Carvão	461FN02E01	Ventilador de Tiragem	0,21 kW	Parado	63,99 °c	✔
461	Moagem de Carvão	461RM01E01	Moinho de Carvão	0,21 kW	Parado		✔
531	Moagem de Cimento 1	531BM01E01	Moinho de Cimento	4,5 kW	Ligado	65,87 °c	✔
531	Moagem de Cimento 1	531FN02E01	Ventilador de Tiragem	1,1 kW	Ligado	52,84 °c	✔
531	Moagem de Cimento 1	531SR01E02	Separador	0,21 kW	Ligado	43,19 °c	✔
532	Moagem de Cimento 2	532BM01E01	Moinho de Cimento	4,5 kW	Parado	82,45 °c	✔
532	Moagem de Cimento 2	532FN02E01	Ventilador de Tiragem	1,1 kW	Parado	68,82 °c	✔
532	Moagem de Cimento 2	532SR01E02	Separador	0,21 kW	Parado	65,04 °c	✔

Fonte: Do Autor (2020)

O bit de alarme foi moldado com formatação condicional, que fica verde caso o conjunto esteja operando corretamente e vermelho caso algo não esteja correto. A verificação dessa operação segue os moldes do fluxograma da Figura 11:

Figura 11 - Fluxograma da verificação da operação das resistências



Fonte: Do Autor (2020)

4.7.3. Monitoramento dos Ensaio Estáticos

Os ensaios estáticos são lançados em planilhas de Excel que monitoram os parâmetros aferidos. Além disso, o conhecimento dos profissionais que executam as medições é de suma importância para detecção precoce de falhas nas máquinas. A política de manutenção de grandes motores da unidade exige que cada motor passe pelos ensaios estáticos anualmente

No ensaio, é medida a resistência de isolamento em 30 segundos, 1 minuto e 10 minutos após a ligação do megômetro. Para os motores com rotor bobinado, ainda são medidas as dimensões das escovas a fim de verificar o momento ideal para substituição. Baixas resistências encontradas no megômetro podem significar alta umidade no motor, bem como sujeira interna proveniente da atmosfera agressiva onde estão inseridos e também do pó de escovas, quando se aplica. Outra causa pode ser o curto circuito entre espiras, fases ou bobinas do motor. Já desgastes expressivamente rápidos das escovas podem mostrar assimetrias nos anéis coletores do rotor, o que pode exigir serviços especializados de usinagem.

Quanto aos ensaios nos motores de média tensão, ou seja, motores alimentados por 6600 V, um único arquivo de excel é utilizado para registro. Isso pois essas máquinas são medidas com frequências maiores do que a fábrica exige para os grandes motores. A periodicidade desses ensaios está disposta na Tabela 16.

Tabela 16 - Periodicidade dos ensaios de motores de média tensão

Motor	Periodicidade	
	Rotor	Estator
111HC01M02	Mensal	Trimestral
113HC01M01	Mensal	Trimestral
113HC01M02	Mensal	Trimestral
213HC01M01	Mensal	Semestral
321FN02M01	Semanal	Trimestral
321RM01M01	Semanal	Trimestral
461FN02M01	Semanal	Trimestral
531BM01M01	Quinzenal	Trimestral
531FN02M01	Quinzenal	Trimestral
532BM01M01	Quinzenal	Trimestral
532FN02M01	Quinzenal	Trimestral

Fonte: Do Autor (2020)

Os dados colhidos são lançados no arquivo mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Arquivo de registro de ensaios estáticos em motores de média tensão



Fonte: Do Autor (2020)

Quanto aos demais motores, alimentados por 440 V, cada um possui sua planilha individual para lançamento de todas as aferições.

A partir dessas planilhas, a ferramenta extrai as datas dos últimos ensaios realizados a fim de verificar o cumprimento da periodicidade mínima estipulada de um ensaio por ano. Todas as datas são tabuladas em uma aba do arquivo Excel da ferramenta, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Datas dos últimos ensaios estáticos

Política de Grandes Motores							
Datas de Realização dos Últimos Ensaios Estáticos							
Motor	Resistência		Mega Ohm		IP e DA		Escovas
	Estator	Rotor	Estator	Rotor	Estator	Rotor	
111HC01M02 (Média)	31/07/2019	31/07/2019	11/07/2018	07/11/2019	11/07/2018	07/11/2019	07/11/2019
113HC01M01 (Média)	07/08/2019	07/08/2019	25/07/2018	30/10/2019	25/07/2018	30/10/2019	30/10/2019
113HC01M02 (Média)	07/08/2019	07/08/2019	25/07/2018	30/10/2019	25/07/2018	30/10/2019	30/10/2019
213HC01M01 (Média)	16/07/2019	16/07/2019	13/11/2019	13/11/2019	13/11/2019	13/11/2019	13/11/2019
321FN02M01 (Média)	06/08/2019	06/08/2019	04/10/2019	12/11/2019	04/10/2019	12/11/2019	12/11/2019
321RM01M01 (Média)	06/08/2019	06/08/2019	04/10/2019	12/11/2019	04/10/2019	12/11/2019	12/11/2019
331FN01U01	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	-
331FN02U01	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	-
331FN03U01	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	-
431MD01U01	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	-
431MD02U01	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	18/02/2019	-
441FN01U01	12/02/2019	12/02/2019	12/02/2019	12/02/2019	12/02/2019	12/02/2019	-
441FN41U01	08/02/2019	08/02/2019	08/02/2019	08/02/2019	08/02/2019	08/02/2019	-
441FN52U01	08/02/2019	08/02/2019	08/02/2019	08/02/2019	08/02/2019	08/02/2019	-
461FN02M01 (Média)	09/08/2019	09/08/2019	20/07/2018	08/11/2019	20/07/2018	08/11/2019	08/11/2019
461RM01U01	09/08/2019	09/08/2019	09/08/2019	09/08/2019	09/08/2019	09/08/2019	-
531BM01M01 (Média)	08/08/2019	08/08/2019	01/08/2018	06/11/2019	01/08/2018	06/11/2019	06/11/2019
531FN02M01 (Média)	08/08/2019	08/08/2019	29/01/2019	06/11/2019	29/01/2019	06/11/2019	06/11/2019
531SR01U01	07/05/2019	07/05/2019	07/05/2019	07/05/2019	07/05/2019	07/05/2019	-
532BM01M01 (Média)	11/07/2019	11/07/2019	04/12/2018	13/11/2019	04/12/2018	13/11/2019	13/11/2019
532FN02M01 (Média)	11/07/2019	11/07/2019	24/07/2018	13/11/2019	24/07/2018	13/11/2019	13/11/2019
532SR01M01	07/05/2019	07/05/2019	07/05/2019	07/05/2019	07/05/2019	07/05/2019	-

Fonte: Do Autor (2020)

Com as datas obtidas, torna-se possível verificar individualmente qual motor está com suas aferições em dia e qual está em atraso.

Figura 14 - Verificação da realização dos ensaios estáticos

Política de Grandes Motores						
PAINEL DOS ENSAIOS ESTÁTICOS [Dias de Atraso]						
Motor	Resistência		Mega Ohm		IP/DA	
	Estator	Rotor	Estator	Rotor	Estator	Rotor
111HC01M02 (Média)	0	0	368	0	368	0
113HC01M01 (Média)	0	0	354	0	354	0
113HC01M02 (Média)	0	0	354	0	354	0
213HC01M01 (Média)	0	0	0	0	0	0
321FN02M01 (Média)	0	0	0	0	0	0
321RM01M01 (Média)	0	0	0	0	0	0
331FN01U01	146	146	146	146	146	146
331FN02U01	146	146	146	146	146	146
331FN03U01	146	146	146	146	146	146
431MD01U01	146	146	146	146	146	146
431MD02U01	146	146	146	146	146	146
441FN01U01	152	152	152	152	152	152
441FN41U01	156	156	156	156	156	156
441FN52U01	156	156	156	156	156	156
461FN02M01 (Média)	0	0	359	0	359	0
461RM01U01	0	0	0	0	0	0
531BM01M01 (Média)	0	0	347	0	347	0
531FN02M01 (Média)	0	0	166	0	166	0
531SR01U01	68	68	68	68	68	68
532BM01M01 (Média)	3	3	222	0	222	0
532FN02M01 (Média)	3	3	355	0	355	0
532SR01M01	68	68	68	68	68	68

Dados dos Últimos Ensaios		Falhas Detectáveis			
Ensaio	Cenário	Qualquer motor	Motor de política	Motor Consertado ou compra usado	Motor Novo
Medição de Resistência			Obrigatório, anual	Obrigatório	Obrigatório
Medição de Resis de Isolamento		Recomendável, anual	Obrigatório, anual	Obrigatório	Obrigatório
Índice de polarização e DA		Recomendável, anual	Obrigatório, anual	Obrigatório	Obrigatório
Tangente de Delta			Obrigatório, bianual	Obrigatório	Obrigatório
Hi-Pot Rampa				Vide 3*	Vide 3*
Descargas Parciais			Vide 1	Vide 2	Vide 2*
Hi-Pot Degrau				Vide 3*	Vide 3*
Impulso (Surge)				Obrigatório	Obrigatório

1. Obrigatório bianual para V>5000V sempre e quando o mesmo se encontrar em um ambiente muito pulverulento, se perceber em uma inspeção visual elevada quantidade de pó no interior do motor e/ou se a caixa dos anéis não estiver separada da zona do rotor/estator. No caso que se execute este ensaio deverá ser solicitado de forma obrigatória os equipamentos de " Fase resulte com a cor padrão" que mostrem os gráficos que nos permitem identificar a localização da falha.
2. Obrigatório para V>5000V ou Recomendável para V>2300V
* Recomendável para V>2300V

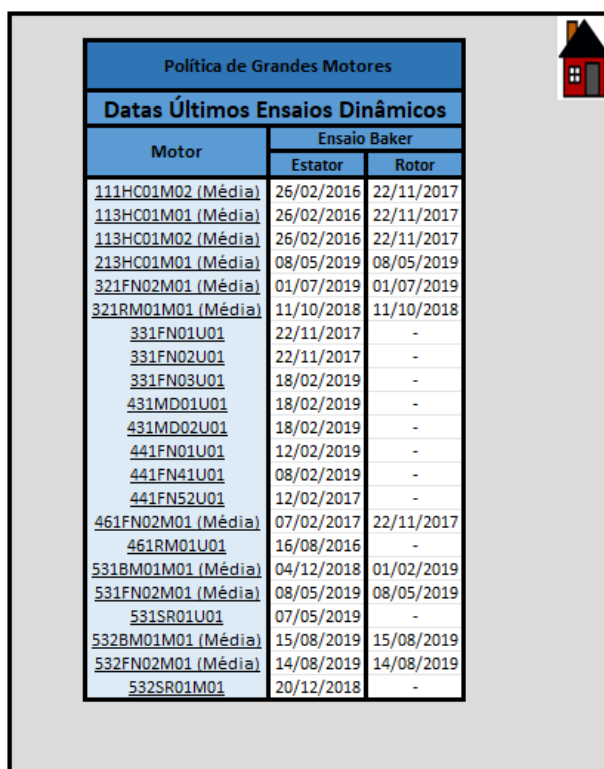
Fonte: Do Autor (2020)

Na planilha da Figura 14 acima, os itens ficam verdes caso o último ensaio tenha sido realizado há menos de 1 ano. Caso esse prazo seja excedido, a planilha passa a mostrar um número em vermelho que mostra com quantos dias de atraso está o ensaio do motor sinalizado.

4.7.4. Monitoramento dos Ensaio Dinâmicos

Da mesma maneira que foram analisados os ensaios estáticos, também foi desenvolvida uma aba de monitoramento dos ensaios dinâmicos a serem realizados. Novamente, uma planilha mostra a última data de realização do ensaio para cada motor e pode ser vista na Figura 15. Os parâmetros são avaliados e salvos pelo próprio instrumento Baker, sendo que, nesse caso, as datas são preenchidas manualmente na ferramenta.

Figura 15 - Datas dos últimos ensaios dinâmicos



Política de Grandes Motores		
Datas Últimos Ensaio Dinâmicos		
Motor	Ensaio Baker	
	Estator	Rotor
<u>111HC01M02 (Média)</u>	26/02/2016	22/11/2017
<u>113HC01M01 (Média)</u>	26/02/2016	22/11/2017
<u>113HC01M02 (Média)</u>	26/02/2016	22/11/2017
<u>213HC01M01 (Média)</u>	08/05/2019	08/05/2019
<u>321FN02M01 (Média)</u>	01/07/2019	01/07/2019
<u>321RM01M01 (Média)</u>	11/10/2018	11/10/2018
<u>331FN01U01</u>	22/11/2017	-
<u>331FN02U01</u>	22/11/2017	-
<u>331FN03U01</u>	18/02/2019	-
<u>431MD01U01</u>	18/02/2019	-
<u>431MD02U01</u>	18/02/2019	-
<u>441FN01U01</u>	12/02/2019	-
<u>441FN41U01</u>	08/02/2019	-
<u>441FN52U01</u>	12/02/2017	-
<u>461FN02M01 (Média)</u>	07/02/2017	22/11/2017
<u>461RM01U01</u>	16/08/2016	-
<u>531BM01M01 (Média)</u>	04/12/2018	01/02/2019
<u>531FN02M01 (Média)</u>	08/05/2019	08/05/2019
<u>531SR01U01</u>	07/05/2019	-
<u>532BM01M01 (Média)</u>	15/08/2019	15/08/2019
<u>532FN02M01 (Média)</u>	14/08/2019	14/08/2019
<u>532SR01M01</u>	20/12/2018	-

Fonte: Do Autor (2020)

A política corporativa de grandes motores também estipula que os ensaios dinâmicos devem ser realizados anualmente em cada motor, e uma planilha, disposta na Figura 16, verifica o cumprimento dessa exigência.

Figura 16 - Verificação da realização dos ensaios dinâmicos

Política de Grandes Motores			
Painel de Ensaio Dinâmicos [Dias de Atraso]			
Motor	Categoria	Ensaio Baker	
		Estator	Rotor
111HC01M02 (Média)	Obrigatório	1234	599
113HC01M01 (Média)	Recomendável	1234	599
113HC01M02 (Média)	Recomendável	1234	599
213HC01M01 (Média)	Recomendável	67	67
321FN02M01 (Média)	Obrigatório	13	13
321RM01M01 (Média)	Obrigatório	276	276
331FN01U01	Recomendável	599	-
331FN02U01	Recomendável	599	-
331FN03U01	Recomendável	146	-
431MD01U01	Recomendável	146	-
431MD02U01	Recomendável	146	-
441FN01U01	Recomendável	152	-
441FN41U01	Recomendável	156	-
441FN52U01	Recomendável	882	-
461FN02M01 (Média)	Recomendável	887	599
461RM01U01	Recomendável	1062	-
531BM01M01 (Média)	Obrigatório	222	163
531FN02M01 (Média)	Recomendável	67	67
531SR01U01	Recomendável	68	-
532BM01M01 (Média)	Obrigatório	0	0
532FN02M01 (Média)	Recomendável	0	0
532SR01M01	Recomendável	206	-

Ensaio	Cenário	Qualquer motor	Motor de política <2000 kW	Motor de política >2000kW
	Condição de Operação*		Recomendável	Obrigatório anual
	Curto-circuito entre espiras do estator		Recomendável, anual	Obrigatório, anual
	Falhas em barras do rotor		Recomendável, anual	Obrigatório, anual
	Excentricidade do rotor		Recomendável, anual	Obrigatório, anual

*O ensaio de "Condição de operação" inclui todos os métodos indicados na política, eles são, Medição do Nível e Desbalanceamento de tensões de alimentação, Conteúdo Harmônico de Tensões e Correntes de alimentação, Medição da frequência de alimentação, Medição de temperatura de funcionamento, Medição de Par Resistente e Ripple, Medição de Correntes no transitório de arranque e Comprovação de Fator de Serviço.

Em caso de executar estes ensaios será obrigatório o uso do equipamento Baker Explorer 4000 ou seu sucessor.

Fonte: Do Autor (2020)

4.7.5. Motores Reserva

Por serem motores de grande importância, torna-se necessário ter traçados planos de substituição emergencial de cada um. Para isso, uma aba foi adicionada para posterior lançamento de uma lista com os motores reserva disponíveis na unidade. Por fugir do escopo do monitoramento efetivo dos motores, este item não foi desenvolvido no trabalho.

4.7.6. Instrumentação

Para adquirir todos os dados monitorados, uma planilha foi construída como forma de resumir todas as variáveis em tempo real, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Monitoramento das medições

Motor	Status	Aquecimento	Potência		Temp Casquilhos [°C]		Temperatura dos Bobinados Estator			Correntes de Estator [A]		
			Teórica	Ativa	N14	N15	Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
441FN41U01	Ligado	Não possui	205 kW	92,74 kW	45,28 °C	0,20 °C						
441FN52U01	Ligado	Não possui	205 kW	100,45 kW	50,63 °C	49,75 °C						
113HC01M01 (Média)	Parado	Ligado	220 kW	0,00 kW	30,68 °C	31,91 °C	48,02 °C	39,88 °C	46,78 °C	0,18 A	0,11 A	0,24 A
113HC01M02 (Média)	Parado	Ligado	220 kW	0,03 kW	31,59 °C	32,07 °C	48,66 °C	43,01 °C	49,08 °C	0,18 A	0,18 A	0,16 A
213HC01M01 (Média)	Parado	Ligado	250 kW	0,04 kW	31,30 °C	34,25 °C	49,66 °C	46,12 °C	43,10 °C	0,11 A	0,11 A	0,13 A
441FN01U01	Ligado	Parado	355 kW	127,33 kW	56,56 °C	60,57 °C	80,20 °C	70,84 °C	48,64 °C			
431MD01U01	Ligado	Parado	415 kW	539,16 kW	51,08 °C	51,43 °C	77,26 °C	75,27 °C	74,28 °C			
431MD02U01	Ligado	Parado	415 kW	612,22 kW	52,86 °C	65,10 °C	77,47 °C	76,84 °C	78,50 °C			
461RM01U01	Ligado	Parado	470 kW	394,35 kW	54,85 °C	42,36 °C						
461FN02M01 (Média)	Ligado	Parado	470 kW	473,46 kW	51,69 °C	43,51 °C	78,02 °C	79,88 °C	81,08 °C	39,03 A	40,85 A	38,98 A
531FN02M01 (Média)	Parado	Ligado	545 kW	0,00 kW	37,32 °C	38,17 °C	52,09 °C	50,11 °C	53,22 °C	0,12 A	0,16 A	0,11 A
532FN02M01 (Média)	Ligado	Parado	545 kW	484,38 kW	56,26 °C	46,71 °C	77,96 °C	76,68 °C	74,76 °C	42,96 A	43,20 A	43,07 A
531SR01M01	Parado	Ligado	560 kW	4,64 kW	46,22 °C	49,26 °C	21,11 °C	44,49 °C	43,18 °C			
532SR01M01	Ligado	Parado	560 kW	291,49 kW	40,23 °C	10,24 °C	79,07 °C	70,00 °C	70,16 °C			
331FN01U01	Ligado	Não possui	930 kW	385,59 kW	46,16 °C	50,72 °C						
331FN02U01	Ligado	Não possui	2000 kW	1148,27 kW	60,26 °C	67,51 °C	79,32 °C	79,43 °C	78,04 °C			
331FN03U01	Ligado	Não possui	1240 kW	1133,62 kW	46,76 °C	44,37 °C	95,98 °C	94,09 °C	32,43 °C			
111HC01M02 (Média)	Parado	Ligado	1025 kW	0,01 kW	45,52 °C	36,29 °C	47,67 °C	52,69 °C	67,16 °C	0,18 A	0,22 A	0,00 A
321RM01M01 (Média)	Parado	Ligado	2080 kW	3,59 kW	64,18 °C	47,12 °C	64,31 °C	64,99 °C	64,54 °C	0,00 A	0,00 A	0,00 A
321FN02M01 (Média)	Ligado	Parado	3642 kW	1776,76 kW	67,85 °C	62,11 °C	70,98 °C	73,21 °C	74,21 °C	145,98 A	151,47 A	146,20 A
531BM01M01 (Média)	Parado	Ligado	7315 kW	0,16 kW	42,71 °C	43,31 °C	66,15 °C	72,44 °C	68,42 °C	0,91 A	0,00 A	0,91 A
532BM01M01 (Média)	Ligado	Parado	7315 kW	6474,55 kW	65,91 °C	62,41 °C	83,64 °C	81,58 °C	83,73 °C	574,05 A	587,59 A	582,28 A




Fonte: Do Autor (2020)

Essa planilha é a fonte de todos os dados a serem utilizados para análises, avisos, bem como para a interface gráfica desenvolvida para um monitoramento mais intuitivo dos motores.

4.7.7. Resumo dos Alertas

Com os dados colhidos e exibidos nos itens que antecedem o atual, são necessárias várias análises. É preciso verificar se algum ensaio estático está em atraso, bem como algum ensaio dinâmico. Também é necessário monitorar todas as temperaturas aferidas e se todas as resistências de aquecimento estão operando em conformidade com o fluxograma da Figura 11. Para isso, foi elaborada uma tela com condições de verificar o cumprimento de todas essas exigências e parâmetros, disposta na Figura 18.

Figura 18 - Tela de resumo de alertas

Situação Geral do Monitoramento	
Ensaio Estáticos	
Ensaio Dinâmicos	
Resistência de Aquecimento	

Fonte: Do Autor (2020)

4.7.8. Interface Gráfica

Também com o objetivo de facilitar a interpretação das leituras, foi elaborada uma interface gráfica para cada motor, dividindo novamente os exemplares pelas categorias em que se encontram. A Figura 19 mostra a tela em questão.

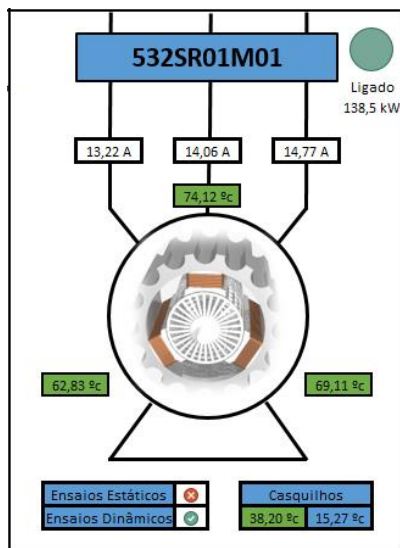
Figura 19 - Menu do monitoramento dos motores



Fonte: Do Autor (2020)

A transição entre os tópicos e as interfaces para cada categoria foi feita por meio de hiperlinks. Hiperlinks são endereços que são acionados ao clicar no ícone. Assim, cada ícone tem um endereço relacionado, apontando para outra planilha com os dados em questão. Assim, cada ícone funciona como um botão, bastando um clique para avançar à próxima tela. A imagem de uma casa no canto superior direito da tela serve para retornar ao tópico anterior, também como um hiperlink.

Figura 20 - Interface gráfica do motor 531SR01M01



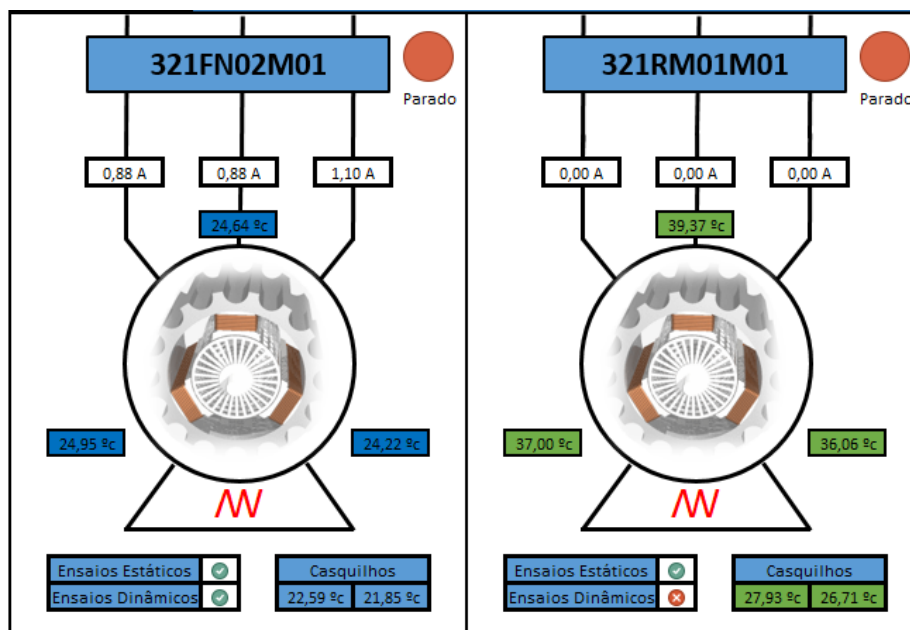
Fonte: Do Autor (2020)

A Figura 20 mostra a interface desenvolvida para cada motor, abordando, nesse caso, o motor 532SR01M01. Com ela torna possível perceber quais as variações de cada elemento gráfico disponível. Na parte superior direita, o círculo fica verde caso o motor esteja ligado e vermelho se não estiver operando. Logo abaixo, o status do motor é exibido, bem como sua potência ativa atual.

Abaixo do nome do motor, as correntes de cada fase são exibidas, bem como as temperaturas dos bobinados. A caixa de texto dessas temperaturas fica verde caso estejam dentro dos limites de normalidade, amarela caso a temperatura esteja em níveis de alarme, e vermelha em níveis de parada. Caso a temperatura esteja abaixo de 25 °C, a caixa de texto fica azul a fim de mostrar que a temperatura não condiz com a realidade, considerando que todos os motores operam quase continuamente e em atmosferas quentes. O mesmo ocorre para as temperaturas dos casquilhos, mostradas no canto inferior direito.

Já no canto inferior esquerdo, o ícone vermelho mostra que os ensaios estáticos do motor exibido estão em atraso considerando a periodicidade estipulada, enquanto o ícone verde mostra que, no que diz respeito aos ensaios dinâmicos, tudo está conforme estipulado.

Figura 21 - Interface gráfica dos motores 321FN02M01 e 321RM01M01



Fonte: Do Autor (2020)

A Figura 21 mostra outras variações dos itens da interface gráfica, como a resistência de aquecimento em operação e simbolizada pelo símbolo vermelho em baixo do motor, o ícone, também vermelho, que mostra que o motor está parado, no canto superior direito.

4.7.9. Levantamento de Histórico de Variável

Considerando todas as variáveis avaliadas na ferramenta, pode ser necessário levantar dados sobre o histórico de alguma medição. Para possibilitar essa ação uma aba foi construída de forma a possibilitar a avaliação de qualquer variável dos motores abordados a qualquer instante de tempo, como elucidada a Figura 22.

Para isso, a célula “Tag desejada” abre uma lista com todos os dados de sensores disponíveis, enquanto as células “Data / hora de início” e “Data / hora fim” definem o intervalo de avaliação dos dados. Com isso, são mostradas todas as amostras compreendidas entre as datas de início e fim para a variável selecionada. Como explicado anteriormente, os dados são amostrados a cada variação de 1% do spam para leituras analógicas ou mudança de estado para indicações de status.

Figura 22 - Levantamento do histórico de dados

Casquilhos		Bobinados		Corrente	
TAG Casquilhos	A532SR01U01T05_V	TAG Bobinados	A113HC01M01N11T01_V	TAG Corrente	A113HC01M01I01_V
Data / hora Início		Data / hora Início	01/02/2020 00:00	Data / hora Início	01/02/2020 00:00
Data / hora Fim		Data / hora Fim	12/02/2020 08:16	Data / hora Fim	12/02/2020 08:16
Number of Values:	12,15222454	Number of Values:	36	Number of Values:	6861
01-fev-20 06:36:46	12,15222454	01-fev-20 01:39:28	45,42314911	01-fev-20 07:07:14	0,183022633
01-fev-20 14:31:18	12,67512608	01-fev-20 09:30:41	46,60019302	01-fev-20 13:27:56	0,183022633
01-fev-20 18:01:34	8,94338131	01-fev-20 17:21:28	48,57003784	01-fev-20 13:33:54	15,3555994
01-fev-20 20:21:43	4,002852917	02-fev-20 01:13:01	46,27918243	01-fev-20 13:34:06	11,16438103
01-fev-20 22:21:39	13,99660778	02-fev-20 09:03:56	45,38910294	01-fev-20 13:34:18	5,948235512
01-fev-20 23:51:46	10,64367294	02-fev-20 16:55:08	49,33852005	01-fev-20 13:34:30	3,715359449
02-fev-20 02:32:00	16,18333054	03-fev-20 00:46:20	46,54182816	01-fev-20 13:34:54	3,22119832
02-fev-20 10:22:11	17,6139183	03-fev-20 08:37:20	43,21011353	01-fev-20 13:35:19	3,568941355
02-fev-20 13:59:08	14,82537079	03-fev-20 16:28:11	50,94357681	01-fev-20 13:35:31	4,209520817
02-fev-20 18:13:50	13,52423763	04-fev-20 00:19:05	42,4513588	01-fev-20 13:35:56	3,880079985
02-fev-20 18:13:52	11,71021557	04-fev-20 08:11:00	45,50583649	01-fev-20 13:36:09	4,355938911
02-fev-20 18:14:06	15,78127289	04-fev-20 16:01:58	49,09046555	01-fev-20 13:36:32	3,934986591
02-fev-20 18:17:00	14,38718128	04-fev-20 23:53:17	48,01070023	01-fev-20 13:36:45	3,184593916
02-fev-20 18:17:01	10,93223763	05-fev-20 07:44:52	44,76653671	01-fev-20 13:37:10	3,916684389
02-fev-20 18:17:31	15,45765305	05-fev-20 15:35:54	42,20330429	01-fev-20 13:37:35	3,22119832
02-fev-20 18:19:00	14,69231224	05-fev-20 23:26:46	42,8599205	01-fev-20 13:38:35	3,495732307
02-fev-20 18:19:05	13,12130165	06-fev-20 07:17:51	44,72762299	01-fev-20 13:38:47	0,183022633
02-fev-20 18:50:17	13,1030817	06-fev-20 15:08:59	43,93482208	01-fev-20 13:58:16	0,183022633
02-fev-20 19:00:33	16,34656334	06-fev-20 23:00:14	40,74416351	01-fev-20 14:14:01	15,31899452
02-fev-20 19:12:45	16,89583969	07-fev-20 06:51:29	40,90953064	01-fev-20 14:14:14	10,5238018
02-fev-20 19:12:47	11,23529148	07-fev-20 14:42:51	43,85213852	01-fev-20 14:14:27	4,42914772
02-fev-20 19:12:53	10,81972122	07-fev-20 22:33:58	43,75972748	01-fev-20 14:14:39	3,129687071
02-fev-20 19:14:03	13,89659595	08-fev-20 06:25:12	43,26848221	01-fev-20 14:14:51	3,385918856
02-fev-20 19:14:06	7,693496704	08-fev-20 14:16:07	44,25097275	01-fev-20 14:15:02	3,019873619
02-fev-20 19:14:10	10,4457159	08-fev-20 22:07:11	46,38618469	01-fev-20 14:15:15	3,788568497
02-fev-20 19:15:20	13,33915234	09-fev-20 05:58:12	45,06809235	01-fev-20 14:15:52	3,806870937
02-fev-20 19:15:24	9,941188812	09-fev-20 13:49:20	45,12645721	01-fev-20 14:16:16	3,806870937

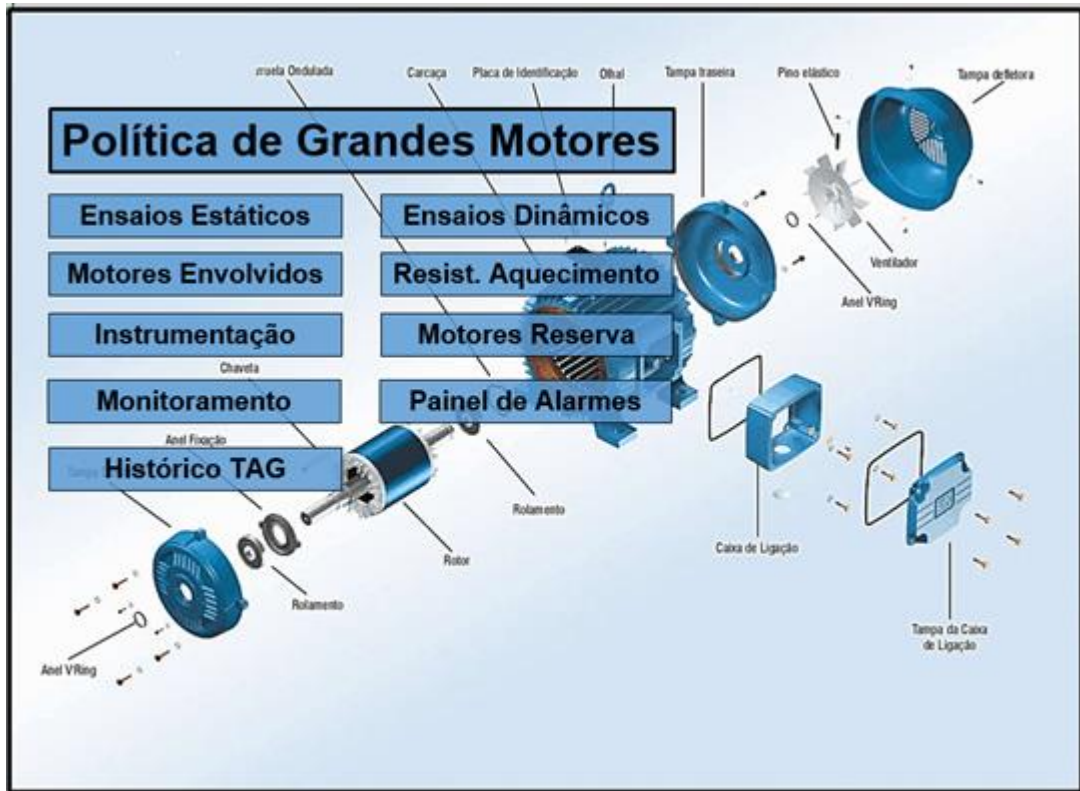
Fonte: Do Autor (2020)

Essa ferramenta é de suma importância, pois nem sempre uma falha pode ser detectada a partir de valores imediatos, mas a análise da sua evolução aliada à exibição em gráficos pode mostrar claramente um aumento da temperatura, por exemplo, o que pode indicar que a lubrificação não vem sendo realizada corretamente.

4.7.10. Menu Inicial da Ferramenta

Por fim, um menu inicial foi construído para gerenciar todas as funções supracitadas e possibilitar navegação intuitiva, podendo ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Menu inicial da ferramenta



Fonte: Do Autor (2020)

A navegação entre os tópicos foi feita com hiperlinks, ou seja, cada ícone tem o endereço da planilha a que se refere, dirigindo diretamente ao assunto desejado. Assim, o funcionamento da ferramenta se assemelha ao de um celular ou de uma página de internet, com simples cliques possibilitando o acesso de todas as funcionalidades desenvolvidas.

4.8. Ferramenta para Alerta de Anomalias

Considerando a ferramenta acima descrita, todos os dados já são mostrados em tempo real, mas exigem observação constante para a tomada de decisões. Todos os processos de produção são monitorados por dois operadores o tempo todo. São milhares de variáveis como velocidades, pressões, temperaturas, dentre outras que devem ser mantidas em conformidade com decisões de produtividade, qualidade e segurança. Dessa forma, mantendo somente essa plataforma desenvolvida, seria necessário que os operadores da fábrica monitorassem, além de todos os processos de produção, todas as telas dos 22 motores abordados.

Os limites de parada dos motores por temperatura já foram definidos na programação dos CLPs. Assim, caso estes sejam atingidos, a máquina em questão para automaticamente. Já quanto à operação das resistências de aquecimento, sua importância já foi explicada na prevenção dos efeitos da corrosão em motores. Porém, problemas relativos ao dispositivo não são tão cruciais como uma elevação de temperatura. Assim, não é preciso realizar grandes atuações no sistema em caso de problemas nas resistências de aquecimento.

Portanto, uma ferramenta de alerta foi desenvolvida com o objetivo de enviar e-mails aos responsáveis sobre os eventos que eventualmente ocorram com cada motor. Com isso, não é necessário que um operador monitore os dados dos motores para os responsáveis saberem dos eventos de cada um e poderem atuar em suas causas. Foram desenvolvidos 5 alarmes, sendo eles:

- Alarme de Casquilho: A temperatura em algum dos casquilhos ou mancais de rolamentos (a depender do caso) do motor atingiu níveis de alarme;

- Parada de Casquilho: A temperatura em algum dos casquilhos ou mancais de rolamentos (a depender do caso) excedeu o limite superior e o motor foi desligado;

- Alarme de Bobinado: A temperatura em algum dos bobinados do motor atingiu níveis de alarme;

- Parada de Bobinado: A temperatura em algum dos bobinados excedeu o limite superior e o motor foi desligado por proteção;

- Alarme de Resistência: O motor foi desligado e sua resistência não entrou em operação.

4.8.1. Habilitação dos Alertas

Durante o ano são feitas várias intervenções de manutenção nos motores. A depender do caso, as máquinas podem, inclusive, ser retiradas e enviadas para empresas que prestam serviços especializados. Além disso, a depender da atividade a ser realizada, todo o sistema de aquisição dos dados do motor pode ter que ser desligado.

Para evitar alertas incoerentes, que podem ocorrer nas situações acima citadas, o primeiro passo feito no desenvolvimento da ferramenta de alertas é uma tela capaz de habilitar ou desabilitar os avisos individualmente para cada motor.

Figura 24 - Habilitação individual dos alertas

Habilitação do Alerta Por Email	
Motor	Alerta
111HC01M02 (Média)	Habilitar
113HC01M01 (Média)	Habilitar
113HC01M02 (Média)	Habilitar
213HC01M01 (Média)	Habilitar
321FN02M01 (Média)	Habilitar
321RM01M01 (Média)	Habilitar
331FN01U01	Habilitar
331FN02U01	Habilitar
331FN03U01	Habilitar
431MD01U01	Habilitar
431MD02U01	Habilitar
441FN01U01	Habilitar
441FN41U01	Habilitar
441FN52U01	Habilitar
461FN02M01 (Média)	Habilitar
461RM01U01	Habilitar
531BM01M01 (Média)	Habilitar
531FN02M01 (Média)	Habilitar
531SR01U01	Habilitar
532BM01M01 (Média)	Habilitar
532FN02M01 (Média)	Habilitar
532SR01M01	Habilitar

Fonte: Do Autor (2020)

Para evitar comandos desconhecidos, as células com a palavra “Habilitar” na Figura 24 foram preenchidas com uma lista suspensa, como pode ser observado a frente do motor 111HC01M02 na imagem acima. Assim, só existem duas opções de preenchimento na célula, uma para habilitar os alertas e outra para desabilitar.


Sabendo de todas as intervenções de manutenção que ocorrem na unidade, torna-se possível desativar o envio de e-mails considerando que não serão úteis naquele período.

Além disso, foi atribuído um hiperlink para cada nome de motor a fim de direcionar diretamente à aba da máquina em questão, podendo analisar o valor de suas variáveis em tempo real também nessa ferramenta.

4.8.2. Resumo de Cada Motor

Cada motor abordado no trabalho tem uma aba com todas as suas leituras e as condições que dispararam os alertas. Estas serão melhor explicadas a seguir.

Figura 25 - Resumo do motor 532FN02M01



532FN02M01 - Ventilador de Tiragem do Moinho de Cimento 2						
Status		Temperaturas				
Motor	Resistência	Casquilhos		Bobinados do Estator		
		N14	N15	Fase R	Fase S	Fase T
27-jan-20 14:51:36	27-jan-20 14:51:41					
Ligado	Parado	57,81 °c	47,86 °c	80,49 °c	79,36 °c	76,88 °c

Alarmes	
Resistência	0
Casquilhos	0
Bobinados	0
Email	532FN02M01
Condição	0
Diagnóstico	0

Fonte: Do Autor (2020)

A exemplo do que acontece para o motor 532FN02M01 da Figura 25 acima, foi elaborada uma aba para cada máquina. A casa no canto superior direito da imagem tem o hiperlink para voltar à tela inicial, onde estão as definições de habilitação de alarmes. Os motores que não possuem alguma das instrumentações ou não são equipados com resistência de aquecimento tiveram as variáveis relativas omitidas.

4.8.3. Alerta de Resistência

Na aba de Status, foi introduzida a informação de data e hora da amostra. Isso pois a resistência de aquecimento não necessariamente entra em operação imediatamente após o desligamento do motor, como pode ser observado abaixo:

Figura 26 - Resumo do motor 113HC01M01

113HC01M01 - Britador de Calcário SH						
Status		Temperaturas				
Motor	Resistência	Casquilhos		Bobinados do Estator		
28-jan-20 11:22:59	28-jan-20 11:23:00	N14	N15	Fase R	Fase S	Fase T
Parado	Ligado	30,35 °c	31,08 °c	46,51 °c	38,49 °c	45,32 °c

Alarmes	
Resistência	0
Casquilhos	0
Bobinados	0
Email	113HC01M01
Condição	0
Diagnóstico	0

Fonte: Do Autor (2020)

Nesse exemplo da Figura 26, a resistência demorou 1 segundo até retornar o sinal de “Ligado” após o desligamento efetivo do motor. Porém, foram observados intervalos maiores como os 5 segundos na Figura 25. A informação de data e hora para esses bits de status serviu, portanto, para criar uma condição que avalie se a resistência está operando corretamente, mas considere que ela pode demorar um pequeno intervalo para retornar como ligada.

A avaliação se a resistência está operando corretamente é binária, retornando 0 se tudo está conforme e 1 caso seja detectada alguma inconsistência. Essa operação ocorre na seção de alarmes que pode ser observada na Figura 26, na linha com nome de “Resistência”. Ainda analisando a Figura 26, foram deixadas as coordenadas de células do Excel pra melhor entendimento das células analisadas em cada condição.

Para avaliar se a resistência está operando corretamente, portanto, foi implementada uma análise condicional na célula D9. Sua função é fazer todas as verificações relativas a esse equipamento e alertar caso exista algum erro.

A célula C6 tem o status do motor. Caso ela apresente como “Ligado”, “Parando”, “Sensor de Movimento” ou “Ligado Local”, significa que o motor está girando e a resistência não precisa estar operando. Assim, a função “SE” do Excel retorna 0 pois a resistência com certeza está desligada, por intertravamento de software.

Caso essa condição não seja satisfeita, o motor está desligado, então a célula D6, que representa o status da resistência, precisa estar preenchida com “Ligado”, único estado correto da resistência para a situação. Além disso, a lógica “E” do Excel também verifica se já se passou mais de 1 minuto e meio entre o horário do último status do motor e o momento atual.

Para isso, a função “AGORA()” fornece data e hora atuais, e a subtração dela com o valor da célula C5 retorna um valor decimal que representa quantos dias de diferença existe entre os valores. Para comparar esse decimal com a tolerância de 1 minuto e meio definida, é preciso transformá-la em dias, dividindo 1,5 por 1440, que é o total de minutos em 1 dia.

Com essas duas condições satisfeitas, tem-se que a resistência realmente já deveria estar operando e não está. Nesse caso, a célula D9, onde ocorrem todas essas verificações, assume o valor de 1, mostrando que há algo errado com a resistência do motor. Caso alguma dessas condições não seja satisfeita, significa que a resistência está operando e/ou ainda não transcorreu o prazo de tolerância, fazendo com que a célula permaneça em 0, ou seja, não dispara alarmes relacionados ao funcionamento da resistência.

4.8.4. Alerta de Casquilhos

Como já foi amplamente explicado no trabalho, os casquilhos podem apresentar duas condições de aviso: alarme e parada. O nível de alarme diz que a temperatura nos casquilhos está alta, mas ainda não atingiu níveis críticos que exigiriam o desligamento do motor. Já no nível de parada a temperatura excedeu o limite definido, causando o desligamento do motor como forma de proteger os casquilhos.

Para verificar essas condições, uma função de verificação foi inserida da célula D10 de cada planilha individual de motor. Cada função tem parâmetros diferentes pois os limites de temperatura variam de acordo com o motor monitorado.

A função “SE” verifica inicialmente se os limites de parada foram excedidos, lendo as células E6 e F6, onde estão as temperaturas de casquilhos. Caso alguma das temperaturas esteja acima do limite de parada, a função retorna o valor 2, simbolizando que algum casquilho apresentou temperaturas que exigiram parada do motor. Caso as temperaturas estejam abaixo desse patamar, outra função “SE” verifica se os limites de alarme foram excedidos. Caso positivo, a função retorna 1. Caso contrário, as temperaturas nos casquilhos em questão estão

em conformidade com o estabelecido, retornando valor 0, ou seja, nenhum e-mail precisa ser enviado para informar sobre a situação dos casquilhos.

4.8.5. Alerta de Bobinados

Para os bobinados ocorre procedimento semelhante ao observado no item anterior. Uma função faz as verificações necessárias, operando na célula D11 de cada planilha.

Como procedimento, a função verifica primeiro se os bobinados, cujas temperaturas estão nas células G6, H6 e I6, apresentam valores acima dos determinados como níveis de parada. Caso positivo, a função retorna o valor 2.

Posteriormente, caso nenhum nível de parada tenha sido alcançado, a função compara as temperaturas dos bobinados com os níveis de alarme, retornando 1 caso algum dos bobinados esteja mais quente que o estipulado nessa etapa. Caso contrário, as temperaturas dos bobinados estão dentro de níveis aceitáveis e nenhum alerta deve ser emitido.

No caso de motores sem instrumentação nos bobinados, a célula D11 foi preenchida com 0 a fim de deixar o espaço para colocar as condições caso a instrumentação seja instalada posteriormente.

4.8.6. Diagnóstico

A célula D14 é responsável por exibir o diagnóstico do problema que deve ser informado aos responsáveis e foi preenchida com as verificações necessárias.

Foi definido um nível de prioridade onde o bobinado é mais importante. Isso se justifica, pois somente serviços especializados fora da empresa conseguem recuperar um bobinado danificado. Um nível abaixo são verificadas as condições de casquilhos e, por último, alguma anomalia na operação das resistências.

A verificação consiste em ler o valor da célula D11, que representa os bobinados. Caso ela esteja com valor 2, significa que o problema é de “Parada Bob”, ou seja, o motor parou pela temperatura dos bobinados. Já se a célula apresentar valor 1, significa que ocorre um “Alarme Bob”, mostrando que a temperatura de algum dos bobinados está em níveis de alarme.

Se nenhuma dessas opções for atendida, é feita a verificação das condições dos casquilhos, retornando “Parada Casq” caso o motor tenha desligado por temperatura alta de

casquilhos, representado pelo valor 2 na célula D10, ou “Alarme Casq” caso existe algum alarme de temperatura alta nesses elementos, o que caracteriza-se pelo valor 1 na célula D10.

Caso contrário, tudo opera corretamente com relação às temperaturas medidas, restando verificar se a resistência de aquecimento está funcionando corretamente. Se não estiver, a célula D9 terá valor de 1 e fará com que a célula D14 retorne “Resistencia”. Já se a célula D9 for 0, tudo está correto no que tange ao funcionamento das resistências de aquecimento e nenhum e-mail deve ser disparado.

4.8.7. Condição

Foi necessário criar uma outra célula chamada condição, localizada nas coordenadas D13 de cada planilha, com função dupla.

Inicialmente, ela verifica se para o motor da tabela existe a autorização para aviso por e-mail, caracterizado pela palavra “Habilitar” na linha correspondente ao motor, como elucidada a Figura 24. Se ela estiver como “Desabilitar”, significa que nenhum e-mail deve ser enviado, independente das condições do motor, e a célula D13 permanece com valor de 0.

Se o alerta por e-mail estiver habilitado para o motor, é feita a verificação se a resistência opera corretamente, na célula D9, se os casquilhos estão em conformidade, na célula D10, e se os bobinados estão com temperatura normal, por meio da célula D11. Os valores dessa célula já foram explicados nos itens anteriores.

Se alguma dessas células estiver com valor diferente de 0, algum alerta deve ser dado, simbolizado pelo retorno do valor 1 pela função. Caso contrário, não é preciso enviar nenhum comunicado, retornando o valor 0. Esse retorno 1 ajuda a disparar um único e-mail em caso de problemas, o que será melhor explicado no tópico a seguir.

4.8.8. Código das Planilhas

Os valores das células relacionadas na aba de alarmes da Figura abaixo servem para determinar o envio dos avisos via e-mail. Para isso, eles devem ser interpretados por códigos que funcionam separadamente para cada planilha.

Figura 27 - Seção de alarmes do motor 113HC01M01

Alarmes	
Resistência	0
Casquilhos	0
Bobinados	0
Email	113HC01M01
Condição	0
Diagnóstico	0

Fonte: Autor

O código abaixo foi utilizado na planilha referente ao motor 113HC01M01, que foi mostrada na Figura 27.

Figura 28 - Código da planilha do motor 113HC01M01

```
Dim oldval As Variant
Private Sub Worksheet_Calculate()

    If Range("D13").Value <> oldval Then

        If Range("D14").Value = "Parada Bob" Then
            Call EnvioParadaBob113HC01M01
        End If

        If Range("D14").Value = "Alarme Bob" Then
            Call EnvioAlarmeBob113HC01M01
        End If

        If Range("D14").Value = "Parada Casq" Then
            Call EnvioParadaCasq113HC01M01
        End If

        If Range("D14").Value = "Alarme Casq" Then
            Call EnvioAlarmeCasq113HC01M01
        End If

        If Range("D14").Value = "Resistencia" Then
            Call EnvioResist113HC01M01
        End If

        oldval = Range("D13").Value

    End If

End Sub
```

Fonte: Do Autor (2020)

A variável oldval recebe o valor da célula D13, ou seja, o bit binário que determina se deve ser enviado algum e-mail com alerta.

A comparação “If Range(“D13”).Value <> oldval Then” faz com que somente seja verificada a necessidade de um novo envio caso a variável mude seu estado. Caso ocorra essa mudança de valor, a célula D14 é lida a fim de verificar qual tipo de e-mail deve ser enviado.

Foram definidos códigos individuais para cada situação de problema e para cada motor, pois futuramente podem ser inseridas características particulares nos e-mails para algum motor específico e toda a divisão já estará disponível.

Como já foi visto anteriormente, os bobinados podem ter níveis de temperatura que configuram alerta ou parada. Os códigos para os avisos foram desenvolvidos para que o e-mail seja enviado a partir do programa do Outlook, que é o e-mail utilizado nos computadores da fábrica. A construção do código seguiu os moldes utilizados por Godoy (2016). A Figura 29 mostra o e-mail enviado caso ocorram alarmes de temperatura do bobinado do motor 431MD01M01.

Figura 29 - E-mail de alarme do bobinado 431MD01M01

```
Sub EnvioAlarmeBob431MD01M01()

Dim OutApp As Outlook.Application
Dim OutMail As Outlook.MailItem

' Criação e chamada do Objeto Outlook
Set OutApp = CreateObject("Outlook.Application")
Set OutMail = OutApp.CreateItem(olMailItem)

Application.DisplayAlerts = False

With OutMail

    .To = "alexandre.ladeiradesousa@gmail.com;xandelsousa@hotmail.com"
    .To = "alexandre.ladeiradesousa@gmail.com"
    .CC = ""
    .BCC = ""
    .Subject = "Alarme Bobinado 431MD01M01"
    .HTMLBody = "Motor 431MD01M01 está com alarme por temperatura alta de bobinado.<p/><p/>Esta é uma mensagem automática."

    .Send 'Ou .Display para mostrar o email

End With

Application.DisplayAlerts = True

'Resetando a sessão
Set OutMail = Nothing
Set OutApp = Nothing

End Sub
```

Fonte: Do Autor (2020)

Já caso alguma temperatura dos bobinados do motor 213HC01M01 apresentem valores que causem o desligamento do motor, o e-mail da Figura 30 é disparado.

Figura 30 - E-mail de parada do bobinado 213HC01M01

```
Sub EnvioParadaBob213HC01M01()  
  
Dim OutApp As Outlook.Application  
Dim OutMail As Outlook.MailItem  
  
'Criação e chamada do Objeto Outlook  
Set OutApp = CreateObject("Outlook.Application")  
Set OutMail = OutApp.CreateItem(olMailItem)  
  
Application.DisplayAlerts = False  
  
With OutMail  
  
'To = "alexandreladeiradesousa@gmail.com;xandelsousa@hotmail.com"  
.To = "alexandreladeiradesousa@gmail.com"  
.CC = ""  
.BCC = ""  
  
.Subject = "Parada Bobinado 213HC01M01"  
.HTMLBody = "Motor 213HC01M01 desligou por atingir temperatura alta no bobinado.<p/  
  
.Send 'Ou .Display para mostrar o email  
  
End With  
  
Application.DisplayAlerts = True  
  
'Resetando a sessão  
Set OutMail = Nothing  
Set OutApp = Nothing  
  
End Sub
```

Fonte: Do Autor (2020)

Assim como nos e-mails enviados em razão de anomalias nas temperaturas de bobinados, todos os e-mails sobre casquilhos são iguais, mudando somente o nome do motor. Em situações que a temperatura dos casquilhos supere níveis de alarme, tem-se o exemplo de e-mail da Figura 31.

Figura 31 - E-mail de alarme casquilho 441FN52M01

```
Sub EnvioAlarmeCasq441FN52M01()  
  
Dim OutApp As Outlook.Application  
Dim OutMail As Outlook.MailItem  
  
'Criação e chamada do Objeto Outlook  
Set OutApp = CreateObject("Outlook.Application")  
Set OutMail = OutApp.CreateItem(olMailItem)  
  
Application.DisplayAlerts = False  
  
With OutMail  
  
.To = "alexandreleiradesousa@gmail.com;xandelsousa@hotmail.com"  
.To = "alexandreleiradesousa@gmail.com"  
.CC = ""  
.BCC = ""  
.Subject = "Alarme Casquilho 441FN52M01"  
.HTMLBody = "Motor 441FN52M01 está com alarme por temperatura alta de Casquilho"  
  
.Send 'Ou .Display para mostrar o email  
  
End With  
  
Application.DisplayAlerts = True  
  
'Resetando a sessão  
Set OutMail = Nothing  
Set OutApp = Nothing  
  
End Sub
```

Fonte: Do Autor (2020)

Já nas situações em que a temperatura de algum dos casquilhos ou mancais esteja acima dos limites estipulados causando a parada do motor, outro modelo de e-mail é enviado e tem como exemplo a Figura 32.

Figura 32 - E-mail de parada de casquilho 531SR01M01

```
Sub EnvioParadaCasq531SR01M01()  
  
Dim OutApp As Outlook.Application  
Dim OutMail As Outlook.MailItem  
  
'Criação e chamada do Objeto Outlook  
Set OutApp = CreateObject("Outlook.Application")  
Set OutMail = OutApp.CreateItem(olMailItem)  
|  
Application.DisplayAlerts = False  
  
With OutMail  
  
'.To = "alexandreladeiradesousa@gmail.com;xandelsousa@hotmail.com"  
.To = "alexandreladeiradesousa@gmail.com"  
.CC = ""  
.BCC = ""  
.Subject = "Parada Casquilho 531SR01M01"  
.HTMLBody = "Motor 531SR01M01 desligou por atingir temperatura alta no Casquilho"  
  
.Send 'Ou .Display para mostrar o email  
  
End With  
  
Application.DisplayAlerts = True  
  
'Resetando a sessão  
Set OutMail = Nothing  
Set OutApp = Nothing  
  
End Sub
```

Fonte: Do Autor (2020)

Por fim, caso alguma resistência não entre em operação quando o motor desligar, os responsáveis também devem ser avisados, o que ocorre com códigos como o da Figura 33 que segue:

Figura 33 - E-mail de resistência 321RM01M01

```
Sub EnvioResist321RM01M01()  
  
Dim OutApp As Outlook.Application  
Dim OutMail As Outlook.MailItem  
  
'Criação e chamada do Objeto Outlook  
Set OutApp = CreateObject("Outlook.Application")  
Set OutMail = OutApp.CreateItem(olMailItem)  
  
Application.DisplayAlerts = False  
  
With OutMail  
  
'.To = "alexandreladeiradesousa@gmail.com;xandelsousa@hotmail.com"  
.To = "alexandreladeiradesousa@gmail.com"  
.CC = ""  
.BCC = ""  
  
.Subject = "Alarme Resistência 321RM01M01"  
.HTMLBody = "Motor 321RM01M01 está desligado mas sua resistência de aquecimento não entrou em operação"  
  
.Send 'Ou .Display para mostrar o email  
  
End With  
  
Application.DisplayAlerts = True  
  
'Resetando a sessão  
Set OutMail = Nothing  
Set OutApp = Nothing  
  
End Sub
```

Fonte: Do Autor (2020)

5. Análise dos Resultados

O desenvolvimento das ferramentas acima detalhadas gerou resultados antes mesmo de sua finalização, auxiliando diretamente nas rotinas de manutenção da unidade e também no controle dos parâmetros da operação.

Com o levantamento das datas dos últimos ensaios estáticos e dinâmicos, foi possível buscar dados de ordens de serviço que foram executadas e não haviam sido registradas, deixando seus prazos estourarem. A normalização do lançamento das datas e parâmetros de cada ensaio trouxe indicadores para estudar se a periodicidade é adequada para os motores. No caso dos motores de média tensão, foi possível assegurar que não é exagero realizar ensaios mensalmente ou até semanalmente, por serem máquinas muito grandes, de suma importância para o processo. Além disso, a isolação medida chega a variar muito entre uma semana e outra, o que pode levar o motor a níveis de instabilidade que impeçam seu funcionamento. Por isso, a partir dos dados levantados tornou-se possível justificar claramente a necessidade de deslocar um profissional com essa periodicidade para os motores.

Quanto aos estudos sobre a instrumentação, foi demonstrado que é possível monitorar todos os parâmetros dos motores sem demandar muita mão de obra e pessoal especializado. Assim, mostrou-se viável investir em mais sensores, gerando economia com manutenções, evitando quebras repentinas e, em caso de falhas, torna-se possível atuar desligando o motor precocemente, impedindo maiores danos. Dentre as possibilidades de instrumentação, a medição de vibrações se mostrou ser a mais importante por fornecer dados que revelam a saúde estrutural do motor (alinhamento, qualidade de rolamentos, etc.), bem como a qualidade do seu acionamento (desequilíbrio de tensões e correntes).

Além disso, os dados já levantados dos sensores serviram como indicadores para a manutenção. Considerando os bobinados do motor, por estarem em uma mesma carcaça costumam apresentar temperaturas similares. Assim, motores cujas temperaturas de bobinados diferem muito entre si foram listados e a situação informada para a equipe de planejamento da manutenção para posterior análise. Eles foram destacados em amarelo na Figura 34.

Figura 34 - Sinalização de temperaturas diferentes em bobinados

Motor	Status	Aquecimento	Potência		Temp Casquilhos [°C]		Temperatura dos Bobinados Estator		
			Teórica	Ativa	N14	N15	Fase R	Fase S	Fase T
441FN41U01	Ligado	Não possui	205 kW	92,50 kW	41,10 °C	0,16 °C			
441FN52U01	Ligado	Não possui	205 kW	102,50 kW	49,82 °C	50,76 °C			
113HC01M01 (Média)	Parado	Ligado	220 kW	0,02 kW	46,07 °C	35,57 °C	47,79 °C	43,43 °C	46,98 °C
113HC01M02 (Média)	Parado	Ligado	220 kW	0,04 kW	44,01 °C	34,30 °C	46,55 °C	43,50 °C	47,41 °C
213HC01M01 (Média)	Parado	Ligado	250 kW	0,08 kW	39,06 °C	32,26 °C	48,96 °C	48,17 °C	48,63 °C
441FN01U01	Ligado	Parado	355 kW	3,74 kW	48,84 °C	52,27 °C	69,85 °C	61,30 °C	48,64 °C
431MD01U01	Ligado	Sobrecarga	415 kW	420,82 kW	52,52 °C	50,38 °C	71,94 °C	70,89 °C	69,85 °C
431MD02U01	Ligado	Parado	415 kW	458,63 kW	50,04 °C	60,61 °C	69,87 °C	69,10 °C	70,77 °C
461RM01U01	Parado	Ligado	470 kW	0,00 kW	1,44 °C	0,30 °C			
461FN02M01 (Média)	Parado	Ligado	470 kW	0,01 kW	43,57 °C	37,43 °C	65,96 °C	66,91 °C	67,93 °C
531FN02M01 (Média)	Ligado	Parado	545 kW	503,64 kW	41,14 °C	46,85 °C	74,75 °C	74,63 °C	72,44 °C
532FN02M01 (Média)	Ligado	Parado	545 kW	484,58 kW	56,61 °C	44,58 °C	78,33 °C	77,07 °C	74,74 °C
531SR01M01	Ligado	Parado	560 kW	257,58 kW	56,57 °C	46,29 °C	32,90 °C	73,57 °C	70,69 °C
532SR01M01	Ligado	Parado	560 kW	103,00 kW	43,49 °C	15,22 °C	72,59 °C	61,62 °C	69,57 °C
331FN01U01	Ligado	Não possui	930 kW	88,76 kW	45,99 °C	50,77 °C			
331FN02U01	Ligado	Não possui	1240 kW	0,04 kW	61,14 °C	68,72 °C	76,27 °C	76,73 °C	75,88 °C
331FN03U01	Ligado	Não possui	1240 kW	0,00 kW	47,21 °C	45,16 °C	94,32 °C	92,68 °C	32,43 °C
111HC01M02 (Média)	Ligado	Parado	1025 kW	570,35 kW	55,14 °C	58,60 °C	62,16 °C	79,47 °C	84,43 °C
321RM01M01 (Média)	Ligado	Parado	2080 kW	2054,40 kW	73,14 °C	50,59 °C	65,30 °C	66,89 °C	65,96 °C
321FN02M01 (Média)	Ligado	Parado	3642 kW	2889,99 kW	71,33 °C	64,95 °C	77,65 °C	80,07 °C	81,25 °C
531BM01M01 (Média)	Ligado	Parado	7315 kW	6722,17 kW	73,39 °C	70,56 °C	80,96 °C	86,97 °C	84,98 °C
532BM01M01 (Média)	Ligado	Parado	7315 kW	6535,67 kW	63,40 °C	58,91 °C	88,00 °C	85,61 °C	88,11 °C

Fonte: Do Autor (2020)

Quanto às resistências de aquecimento, a Figura 34 já mostrou um exemplo de situação que foi encontrada no decorrer do desenvolvimento do trabalho. Algumas resistências acabam desarmando seus disjuntores, seja no momento do acionamento ou após algumas horas de operação.

A resistência do motor 431MD01M01 elucidada esse evento. Foi detectado que ela apresentava sobrecarga, ou seja, seu acionamento estava desarmando. Após análise in loco foi diagnosticado problema no seu disjuntor de comando, que foi substituído. Assim, ela passou a retornar o status de “Parado” e entrou em operação corretamente quando foi necessário.

Outro exemplo que foi detectado antes da finalização da ferramenta diz respeito à resistência 213HC01E01, que equipa o motor do britador de aditivos. No dia 17/12/2019 foi observado que o motor estava retornando status de “Parado” enquanto a resistência retornava “Parada Seleccionada”, ou seja, não estava ligada.

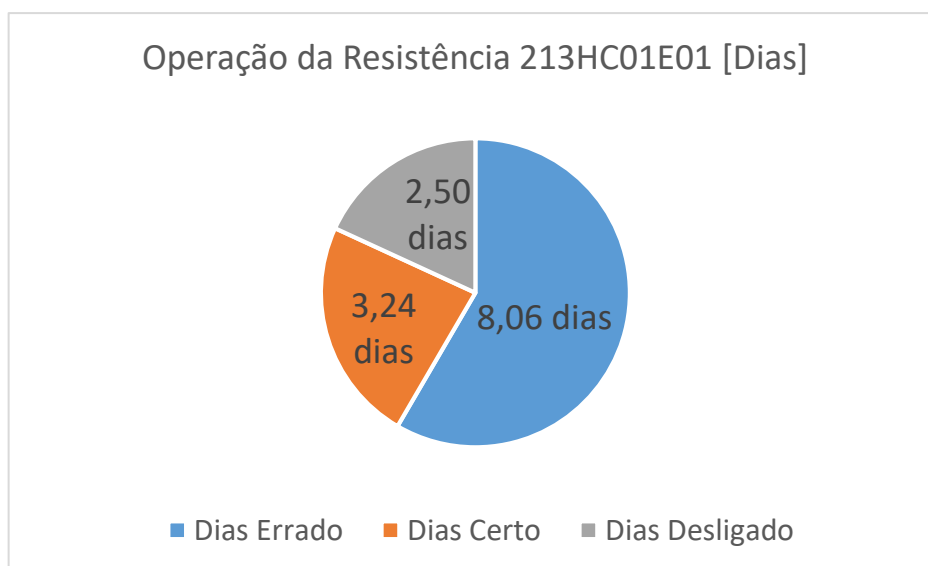
Figura 35 - Falha encontrada 213HC01E01

113HC01M02 (Média)	Parado	Ligado	220 kW
213HC01M01 (Média)	Parado	Parada Seleccionada	250 kW
441FN01U01	Ligado	Sobrecarga	355 kW

Fonte: Do Autor (2020)

O status da resistência de aquecimento só estava sendo salvo no servidor há 14 dias, e foi feito um levantamento da atuação da resistência nesse prazo. Após a comparação dos dados, foi construído o gráfico da Figura 36.

Figura 36 - Operação 213HC01E01



Fonte: Do Autor (2020)

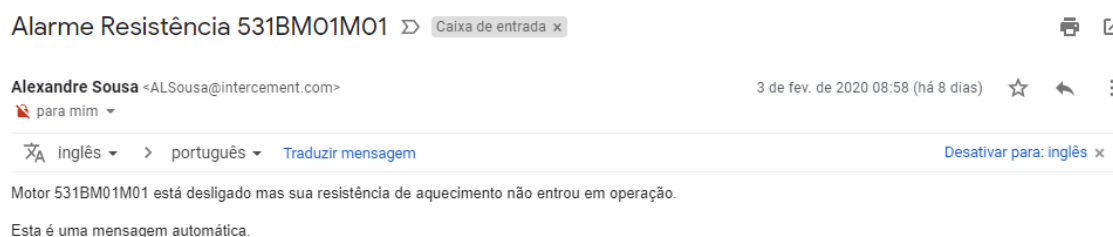
Ou seja, dos 13,8 dias avaliados, em 8,06 a resistência deveria estar operando e não estava, o que representa um erro em 58,4 % do tempo.

Para corrigir o problema, o profissional responsável pela automação da fábrica analisou os códigos da cadeia e detectou que a resistência foi erroneamente colocada na lista de equipamentos que deveriam responder à parada de grupo, ou seja, a parada de algum equipamento da cadeia exigia a parada de outros por razões de projeto, mas a resistência, apesar de não se enquadrar nesse grupo, estava nele inserido. O problema foi facilmente resolvido retirando o bit de parada de grupo da linha de acionamento da resistência. Dessa forma, a operação da resistência só depende da operação do motor.

Nesse caso, o código da cadeia estava funcionando desde o início da operação da unidade, há cerca de 17 anos, levando a conclusão de que a resistência operou de forma inadequada em todo esse tempo, a níveis que, estatisticamente, giram em torno de 58% de erro.

Já quando a ferramenta de avisos por e-mail entrou em operação, novas anomalias no funcionamento das resistências apareceram, como o alerta mostrado na Figura 37.

Figura 37 - E-mail recebido 531BM01M01

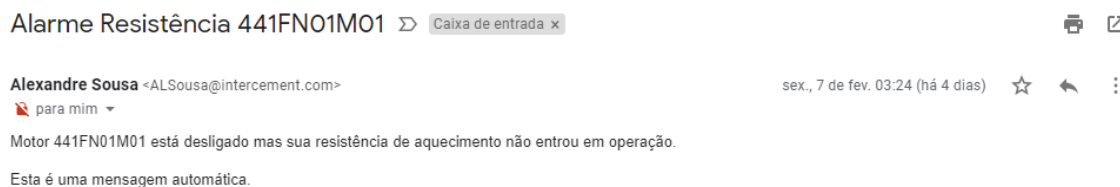


Fonte: Do Autor (2020)

Nesse caso, a gaveta da qual parte o acionamento da resistência 531BM01E01 foi armada novamente e não apresentou mais falhas. De qualquer forma, esse tipo de aviso é importante pois permite que a resistência volte a operar no menor prazo possível, evitando a proliferação de umidade no interior do motor, o que a longo prazo diminui sua vida útil.

Já na madrugada do dia 7 de fevereiro de 2020, outra resistência desarmou, e o alerta por e-mail atuou novamente, como mostra a Figura 38.

Figura 38 - E-mail recebido 441FN01M01



Fonte: Do Autor (2020)

Novamente, o seu acionamento foi religado. Nesse caso, o motor funciona continuamente e até a conclusão do trabalho ainda não tinha desligado novamente para possibilitar o teste da resistência.

Todos estes eventos serviram para mostrar que a ferramenta é capaz de monitorar motores com as mais variadas funções e regimes de operação. Além disso, a inserção de novos sensores é simples e intuitiva, podendo ampliar a gama de análises e alertas feitos pelos programas desenvolvidos. Com isso, os sensores de vibração podem ser adicionados para melhorar a análise da saúde dos motores sem demandar muito trabalho. Por fim, qualquer outro motor da planta pode ser monitorado desde que possua instrumentação suficiente, possibilitando expandir a ferramenta para mais máquinas, promovendo a melhoria contínua da confiabilidade da operação.

6. Conclusão

O desenvolvimento da ferramenta apresentou resultados satisfatórios para a organização. As anomalias encontradas na medição de temperaturas facilitaram a definição das estratégias de manutenção e colaboram para manter confiáveis as medidas e, conseqüentemente, os equipamentos.

A medição dos casquilhos pode servir como referencial para analisar necessidades e a qualidade de lubrificação, bem como reflete, assim como a medição de temperatura dos bobinados, a saúde geral do motor.

Da análise da operação das resistências de aquecimento, foi possível fornecer indicadores que possibilitem a operação correta na maior parte do tempo, fazendo com que a vida útil do motor possa ser prolongada considerando que os efeitos da corrosão nos motores são evitados.

Já o levantamento do cumprimento dos ensaios estáticos e dinâmicos auxilia a equipe de manutenção no monitoramento das rotinas e indicadores, fornecendo sempre os dados mais atualizados para tomadas de decisão.

Ainda, o desenvolvimento da plataforma de alertas por e-mail possibilita que o monitoramento pessoal das medições seja praticamente desnecessário, pois qualquer situação fora de padrões é informada imediatamente ao pessoal responsável. Considerando que os e-mails são recebidos nos computadores de trabalho, a visualização dos alertas é quase imediata, atestando a efetividade da ferramenta.

A centralização dos dados de sensores e sobre os ensaios em uma única aplicação facilita também a comunicação com esferas superiores da administração da empresa, pois torna-se simples resumir tudo o que vem sendo feito para a manutenção dos grandes motores elétricos, bem como justificar de maneira simples e objetiva investimentos na aquisição de novos sensores.

Com tudo o que foi realizado e interpretado, depreende-se que a medição de vibrações nos motores é o próximo passo a ser implementado, e a associação dessas novas medições com as ferramentas já desenvolvidas é simples e objetiva, pois tudo já está em condições de receber novos parâmetros.

Finalmente, é preciso ressaltar que todo o trabalho realizado foi também excelente maneira de solidificar os conhecimentos outrora adquiridos durante o curso de Engenharia de Controle e Automação e atestaram a formação sólida oferecida pela instituição de ensino.

Por fim, o presente trabalho foi uma excelente oportunidade de desenvolvimento pessoal do discente bem como forneceu para a fábrica uma ferramenta útil e que ainda pode ser muito desenvolvida futuramente, agregando mais operacionalidade principalmente para a equipe de manutenção, melhorando a confiabilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, os indicadores de produtividade.

7. Referências

A importância da eletricidade na indústria brasileira. Disponível em: <<https://canaltecnico.somosensinotecnico.com.br/importancia-eletricidade-industria/>>. Acesso em: 29 dez. 2019.

ALBUQUERQUE, Ana Claudia Medeiros Lins de. **A tecnologia DeviceNet.** 2018. Disponível em: <https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho3/trabalho3_9.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

Allen Bradley. **Rede ControlNet.** 2020. Disponível em: <<https://ab.rockwellautomation.com/pt/Networks-and-Communications/ControlNet-Network>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, controle e automação de processos.** 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **Confiabilidade e Manutenibilidade: NBR 5462.** 1994. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/eavargas2512/nbr-5462-2>>. Acesso em: 29 dez. 2019.

AUGUSTO, Álvaro. **Motor de Indução Trifásico.** 2006. Disponível em: <http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/professores/alvaug/MAQ2/motores_inducao_construcao.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

BEZERRA, Afonso Gomes. **Histórico da Função Manutenção.** 2011. Disponível em: <<https://manutencaoeficaz.wordpress.com/2011/05/18/historico-da-funcao-manutencao/>>. Acesso em: 08 jan. 2020.

BRANCÃO, Luiz. **Fluxogramas de Fabricação de Cimento Portland.** 2015. Disponível em: <<http://blogdocumento.blogspot.com/2015/09/fluxogramas-de-fabricacao-de-cimento.html>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

Cimento Mauá. **Como é feito o cimento, sua composição e nomenclatura no mercado.** 2017. Disponível em: <<https://cimentomaua.com.br/blog/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

CNI. **Indústria Brasileira de Cimento: Base para a Construção do Desenvolvimento.** 2013 Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002162355200901e.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2019.

DOMINIAK, Altivir Luiz. **Projeto de uma bancada didática para o estudo de redes industriais.** 2012. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1854/1/CT_CEAUT_III_2012_07.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

FIALHO, A. B. **Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises.** 7. ed. São Paulo: Ed. Érica, 2013.

FRANCHI, Cleiton Moro. **Instrumentação de Processos Industriais - Princípios e aplicações.** 1. Ed. São Paulo: Ed. Érica, 2015.

FUENTES, Rodrigo Cardozo. **Apostila de Automação Industrial.** 2011. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/beltrame/arquivos/disciplinas/medio_automacao_industrial/Apostila_Unidade_2-4.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2020.

FUENTES, Rodrigo Cardozo; BELTRAME, Rafael Concatto. **Automação Industrial: Unidade 2 - Controle Automático.** Disponível em: <http://coral.ufsm.br/beltrame/arquivos/disciplinas/medio_automacao_industrial/Aula03_Controlo_Automatico02.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2020.

GODOY, Douglas. **Aprendendo como enviar e-mail com VBA usando Excel.** 2016. Disponível em: <<http://douglasgoday.com.br/aprendendo-como-enviar-email-com-vba-usando-o-excel/>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

GOMES, Cinésio. **Partida de motor de rotor bobinado com aceleração rotórica**. 2017. Disponível em: <<http://comandoseletricosii.blogspot.com/2017/10/comandos-eletricos-aula-524-partida-de.html>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Parreira; SANTOS, Danielle Freitas; PRATA, Auricélio Barros. **Engenharia de manutenção**. [Minha Biblioteca]. 2018. Retirado de <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025493/>>. Acesso em 08 jan. 2020.

GUEDES, Luiz Affonso. **Redes de Comunicação para Aplicações Industriais**. 2007. Disponível em: <https://www.dca.ufrn.br/~affonso/PET0303/redes_industriais.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2020.

GUEDES, Manuel Vaz. **Reostato Líquido**. 1995. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/maquel/RH/Res_Hist-01.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

ISO 10816. **Mechanical Vibration - Evaluation of Machine Vibration by measurements on non-rotating parts**. 1995. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/DanielRua1/iso-10816-11995eimage600pdfdocument>>. Acesso em: 11 jan. 2020.

LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. **Redes Industriais para Automação Industrial**. [Minha Biblioteca]. 2019. Retirado de: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532042/cfi/1!/4/4@0.00:28.9>>. Acesso em 14 jan. 2020.

MARTINEWSKI, Alexandre. **Máquinas Elétricas: Motores, geradores e partidas**. [Minha Biblioteca]. 2007. Retirado de: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536531014/cfi/2!/4/4@0.00:0.00>>. Acesso em 08 jan. 2020.

MORAES, Everton. **Partida Indireta de Motores**. 2012. Disponível em: <<https://www.saladaeletrica.com.br/partida-indireta-motores/>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

MOREIRA NETO, Teófilo Cortizo. **A História da Evolução do Sistema de Gestão de Manutenção**. 2017. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/a-historia-da-evolucao-do-sistema-de-gestao-de-manutencao/75650>>. Acesso em: 08 jan. 2020.

MORO, Norberto. **Introdução à Gestão da Manutenção**. 2007. Disponível em: <<https://norbertocefetsc.pro.br/downloads/manutencao.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2020.

National Instruments. **Medição de vibração com acelerômetros**. 2019. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/06/measuring-vibration-with-accelerometers.html>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

Osi Soft. **PI System**. 2020. Disponível em: <<https://www.osisoft.com/pi-system/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

PAULILO, Gilson. **Desequilíbrios de Tensão**. 2013. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed86_fasc_qualidade_cap3.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2020.

PINHEIRO, Helio. **Motores Trifásicos de CA**. 2007. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/aula-de-motores-trifasicos-de-ca>>. Acesso em: 08 jan. 2020.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. **"Fluxo Magnético e a Lei de Faraday"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/fluxo-magnetico-lei-faraday.htm>. Acesso em 09 jan. 2020.

SILVA, Ana Paula Gonçalves da; SALVADOR, Marcelo. **O que são sistemas supervisórios?** 2005. Disponível em: <<http://academico.riogrande.ifrs.edu.br/~jose.eli/apostilas/OqueeSCADA.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

SILVA, Felipe Oliveira. **Slides de GNE382 – Instrumentação**. Lavras – MG – Brasil: UFLA, 2018.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Saiba Tudo Sobre CLP**. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/clp/>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **O que faz o Inversor de Frequência e como Especificar?** 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/inversor-de-frequencia/>>. Acesso em: 11 jan. 2020.

SKF. **Rolamentos, unidades e mancais**. 2020. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/index.html>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

STAUDT, Thiago. **Estudo de Transformadores de Corrente Utilizados em Instrumentação**. 2009. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30373423.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

TROJAN, Flavio; MARÇAL, Rui Francisco Martins; BARAN, Leandro Roberto. **CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO PELO MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO ELECTRE TRI**. 2013. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses. 3. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>. Acesso em: 13/07/20.

WEG. **Motores Elétricos de Indução Trifásicos de baixa e alta tensão**. 2016. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h67/hc5/WEG-motores-de-inducao-trifasicos-de-baixa-e-alta-tensao-rotor-de-aneis-11066443-manual-portugues-br-dc.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

WEG. **A história do motor elétrico que você precisa conhecer**. 2018. Disponível em: <<https://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>>. Acesso em: 29 dez. 2019.

WEG. **Guia de Especificação:** Motores Elétricos. 2019. Disponível em:
<<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

Apêndice A – Motores Abordados no Trabalho

113HC01M01 – Britador de Calcário Mina 1

Figura 39 - 113HC01M01



Fonte: Do Autor (2020)

Trata-se novamente de um motor de um britador de martelos. O prefixo 113 mostra que essa máquina está no departamento com este número, ou seja, a mina 1. Ainda, é o motor número 1 do equipamento em questão. Por processar um calcário utilizado em menor volume, não opera continuamente.

Tabela 17 - Dados Gerais do Motor - 113HC01M01

113HC01M01	
Britador de Calcário	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
220 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 18 - Dados de Instrumentação - 111HC01M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	113HC01M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	113HC01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	113HC01M01I01	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase S	113HC01M01I02	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase T	113HC01M01I03	TC 100 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	113HC01N11T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	113HC01N12T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	113HC01N13T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal LOA	113HC01N01T01	PT100	90 °C	100 °C
Temperatura Mancal LA	113HC01N02T01	PT100	85 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

113HC01M02 – Britador de Calcário Mina 1

Figura 40 - 113HC01M02



Fonte: Do Autor (2020)

Este é o segundo motor responsável pelo funcionamento do britador de calcário da mina 1. Assim como o 111HC01M01, não opera continuamente por processar um calcário usado como aditivo, em menor quantidade.

Tabela 19 - Dados Gerais do Motor - 113HC01M02

113HC01M02	
Britador de Calcário	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
220 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 20 - Dados de Instrumentação - 113HC01M02

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	113HC01M02_ST	Relé	-	-
Status Resistência	113HC01E02_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	113HC01M02I01	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase S	113HC01M02I02	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase T	113HC01M02I03	TC 100 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	113HC01M02N11T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	113HC01M02N12T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	113HC01M02N13T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal LOA	113HC01M02N01T01	PT100	90 °C	95 °C
Temperatura Mancal LA	113HC01M02N02T01	PT100	90 °C	95 °C

Fonte: Do Autor (2020)

213HC01M01 – Britador de Aditivos

Figura 41 - 213HC01M01



Fonte: Do Autor (2020)

Essa máquina segue a mesma funcionalidade das acima citadas. O prefixo 213 corresponde ao circuito de aditivos da fábrica enquanto a sigla HC denomina um britador de martelos. Assim, o motor é responsável pela britagem de aditivos utilizados no processo.

Tabela 21 - Dados Gerais do Motor - 213HC01M01

213HC01M01	
Britador de Aditivos	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
250 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 22 - Dados de Instrumentação - 213HC01M01(continua)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	213HC01M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	213HC01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	213HC01M01I01	TC 100 - 5A	-	-

Tabela 23 - Dados de Instrumentação - 213HC01M01(continua)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Corrente Fase S	213HC01M01I02	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase T	213HC01M01I03	TC 100 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	213HC01N11T01	PT100	70 °C	90 °C
Temperatura Bobinado S	213HC01N12T01	PT100	70 °C	90 °C
Temperatura Bobinado T	213HC01N13T01	PT100	70 °C	90 °C
Temperatura Mancal LOA	213HC01N14T01	PT100	70 °C	80 °C
Temperatura Mancal LA	213HC01N15T01	PT100	70 °C	80 °C

Fonte: Do Autor (2020)

321FN02M01 – Ventilador de Tiragem do Moinho de Cru

Figura 42 - 321FN02M01



Fonte: Do Autor (2020)

O motor em questão pode ser definido conforme seu TAG. O prefixo 321 denomina a área da moagem de cru. O termo FN significa ventilador, sendo este o segundo ventilador da moagem, motor 01. Ele é responsável pelo fluxo de ar que possibilita a tiragem no moinho, ou seja, ele retira o cru por meio de uma corrente de ar. Suas características são:

Tabela 24 - Dados Gerais do Motor - 321FN02M01 (continua)

321FN02M01	
Ventilador de Tiragem	
Fabricante	Rotação
Gevisa	900 rpm

Tabela 25 - Dados Gerais do Motor - 321FN02M01 (conclusão)

Potência	Rotor
3642 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 26 - Dados de Instrumentação - 321FN02M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	321FN02M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	321FN02E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	321FN02M01I01	TC 600 - 5A	-	-
Corrente Fase S	321FN02M01I02	TC 600 - 5A	-	-
Corrente Fase T	321FN02M01I03	TC 600 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	321FN02N11T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	321FN02N12T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	321FN02N13T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal LOA	321FN02N14T01	PT100	80 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	321FN02N15T01	PT100	85 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

321RM01M01 – Moinho de Cru

Figura 43 - 321RM01M01



Fonte: Do Autor (2020)

Trata-se do motor principal do moinho de cru. A identificação 321 se refere à área de mesmo nome, enquanto RM denomina que é um moinho e M01 mostra que é o motor principal. Ele recebe calcário, argila e aditivos, moendo e homogeneizando a mistura que é o cru. Este é armazenado em um silo e segue para o forno. O moinho para semanalmente para manutenção, que dura cerca de 10 horas, funcionando ininterruptamente no restante do tempo.

Tabela 27 - Dados Gerais do Motor – 321RM01M01

321RM01M01	
Moinho de Cru	
Fabricante	Rotação
Gevisa	900 rpm
Potência	Rotor
2080 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 28 - Dados de Instrumentação - 321RM01M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	321RM01M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	321RM01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	321RM01M01I01	TC 300 - 5A	-	-
Corrente Fase S	321RM01M01I02	TC 300 - 5A	-	-
Corrente Fase T	321RM01M01I03	TC 300 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	321RM01N11T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	321RM01N12T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	321RM01N13T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal LOA	321RM01N14T01	PT100	85 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	321RM01N15T01	PT100	75 °C	85 °C

Fonte: Do Autor (2020)

331FN01M01 – Ventilador de Tiragem do Filtro Eletrostático

Figura 44 - 331FN01M01



Fonte: Do Autor (2020)

Este ventilador pertence à área 331, ou seja, o setor do precipitador eletrostático e transporte de cru. É responsável pela tiragem do ar que passa por um filtro eletrostático que concentra os gases provenientes da torre de ciclones. Funciona 24 horas por dia e seu desligamento para toda a cadeia do forno.

Tabela 29 - Dados Gerais do Motor - 331FN01M01

331FN01M01	
Precipitador Eletrostático	
Fabricante	Rotação
Gevisa	600 rpm
Potência	Rotor
930 kW	Gaiola
Tensão	Partida
4160 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 30 - Dados de Instrumentação - 331FN01M01 (continua)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	331FN01U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	Não possui resistência	-	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-

Tabela 31 - Dados de Instrumentação - 331FN01M01 (conclusão)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	-	-	-	-
Temperatura Bobinado S	-	-	-	-
Temperatura Bobinado T	-	-	-	-
Temperatura Mancal LOA	331FN01N14T01	PT100	70 °C	80 °C
Temperatura Mancal LA	331FN01N15T01	PT100	70 °C	80 °C

Fonte: Do Autor (2020)

Por se tratar de um motor menor, não possui resistência de aquecimento e seus bits de leitura das correntes não estão acessíveis ao historiador. Além disso, o motor não possui sensoriamento de temperatura nos bobinados. Por ser acionado por um inversor de frequência, a TAG de status do motor termina com U01, sendo que “U” denomina inversores de frequência.

331FN02M01 – Ventilador de Tiragem da Torre 1

Figura 45 - 331FN02M01



Fonte: Do Autor (2020)

Esse ventilador é responsável pela tiragem de ar da torre 1. Ou seja, o fluxo de ar ascendente da torre, responsável pelo pré-aquecimento da farinha, é gerado por este motor. Sua falha também ocasiona a parada da cadeia do forno. Assim, ele funciona ininterruptamente.

Tabela 32 - Dados Gerais do Motor - 331FN02M01

331FN02M01	
Precipitador Eletrostático	
Fabricante	Rotação
ABB	900 rpm
Potência	Rotor
2000 kW	Gaiola
Tensão	Partida
4160 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 33 - Dados de Instrumentação - 331FN02M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	331FN02M01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	Não possui resistência	-	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	331FN02U01T01	PT100	95 °C	140 °C
Temperatura Bobinado S	331FN02U01T02	PT100	95 °C	140 °C
Temperatura Bobinado T	331FN02U01T03	PT100	95 °C	140 °C
Temperatura Mancal LOA	331FN02N14T01	PT100	80 °C	95 °C
Temperatura Mancal LA	331FN02N15T01	PT100	80 °C	95 °C

Fonte: Do Autor (2020)

331FN03M01 – Ventilador de Tiragem da Torre 2

Figura 46 - 331FN03M01



Fonte: Do Autor (2020)

Esse motor tem função idêntica ao anterior, gerando o fluxo de ar que sobe pela torre 2. Como os outros ventiladores da área 331, funciona ininterruptamente para garantir o funcionamento da cadeia do forno.

Tabela 34 - Dados Gerais do Motor - 331FN03M01

331FN03M01	
Precipitador Eletrostático	
Fabricante	Rotação
Gevisa	900 rpm
Potência	Rotor
1240 kW	Gaiola
Tensão	Partida
4160 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 35 - Dados de Instrumentação - 331FN03M01 (continua)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	331FN03U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	Não possui resistência	-	-	-

Tabela 36 - Dados de Instrumentação - 331FN03M01 (conclusão)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	331FN03U01T01	PT100	115 °C	125 °C
Temperatura Bobinado S	331FN03U01T02	PT100	115 °C	125 °C
Temperatura Bobinado T	331FN03U01T03	PT100	115 °C	125 °C
Temperatura Mancal				
LOA	331FN03N14T01	PT100	80 °C	85 °C
Temperatura Mancal LA	331FN03N15T01	PT100	70 °C	80 °C

Fonte: Do Autor (2020)

Como os outros ventiladores da área 331, ele é acionado por um inversor de frequência e todos os sinais de sensores trafegam por ele. Porém, o fluxo de dados é o mesmo, bem como a acessibilidade das medições a partir da ferramenta *PI System*.

431MD01M01 – Motor 1 do Giro Principal do Forno

Figura 47 - 431MD01M01



Fonte: Do Autor (2020)

O prefixo 431 denomina todas as máquinas e instrumentos que estão na área do forno. Já MD é a sigla que nomeia o motor principal do forno. Ao todo são 2 motores idênticos responsáveis por esse acionamento.

Para entender o grau de exigência desse motor basta analisar a dinâmica de operação do forno. Como elucidada a Figura 47, o forno é um cilindro com 62 metros e meio de comprimento e 5 metros de diâmetro, por onde fluem as 5000 toneladas diárias de clínquer. Além disso, pelas altíssimas temperaturas internas, possui uma espessa parede composta de tijolos refratários. Para movimentar todo esse conjunto, utilizam-se 2 motores controlados por inversores de frequência, o 431MD01M01 e 432MD02M01.

Como já foi dito anteriormente, o forno funciona 24 horas por dia, parando somente cerca de 2 vezes por ano para manutenção. Assim, é de suma importância o correto funcionamento dos motores de acionamento, bem como de toda a cadeia, para manter o processo operando conforme os padrões e assegurar o êxito no cumprimento das metas de produção propostas.

Tabela 37 - Dados Gerais do Motor - 431MD01M01

431MD01M01	
Motor Principal Forno	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
415 kW	Gaiola
Tensão	Partida
440 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 38 - Dados de Instrumentação - 431MD01M01 (continua)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	431MD01U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	431MD01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	431MD01U01T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	431MD01U01T02	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	431MD01U01T03	PT100	100 °C	120 °C

Tabela 39 - Dados de Instrumentação - 431MD01M01 (conclusão)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Temperatura Mancal LOA	431MD01N14T01	PT100	80 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	431MD01N15T01	PT100	80 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

431MD02M01 – Motor 2 do Giro Principal do Forno

Por se tratar de uma área de acesso restrito e perigoso, somente a Figura 47 foi obtida, mas já é capaz de mostrar o motor em seu local. O 431MD02M01 é montado da mesma forma, do outro lado do forno.

Tabela 40 - Dados Gerais do Motor - 431MD02M01

431MD02M01	
Motor Principal Forno	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
415 kW	Gaiola
Tensão	Partida
440 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 41 - Dados de Instrumentação - 431MD02M01 (continua)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	431MD02U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	431MD02E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	431MD02U01T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	431MD02U01T02	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	431MD02U01T03	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal LOA	431MD02N14T01	PT100	80 °C	90 °C

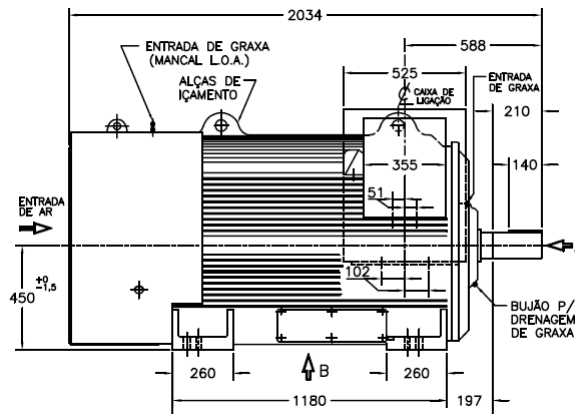
Tabela 42 - Dados de Instrumentação - 431MD02M01 (conclusão)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Temperatura Mancal LA	431MD02N15T01	PT100	80 °C	95 °C

Fonte: Do Autor (2020)

441FN01M01 – Ventilador do Resfriador de Clínquer

Figura 48 - 441FN01M01



Fonte: Do Autor (2020)

O resfriador, denominado pelo prefixo 441, é composto por 8 ventiladores no total. Eles são responsáveis por fornecer o fluxo de ar que possibilita o resfriamento rápido do clínquer que sai do forno. A rapidez do resfriamento é exigência para as reações químicas que ali ocorrem. A área do resfriador é de acesso controlado devido aos riscos da área (temperatura, principalmente). Assim, a Figura 48 mostra um desenho do motor.

Tabela 43 - Dados Gerais - 441FN01M01

441FN01M01	
Ventilador do Resfriador	
Fabricante	Rotação
Gevisa	900 rpm
Potência	Rotor
355 kW	Gaiola
Tensão	Partida
440 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

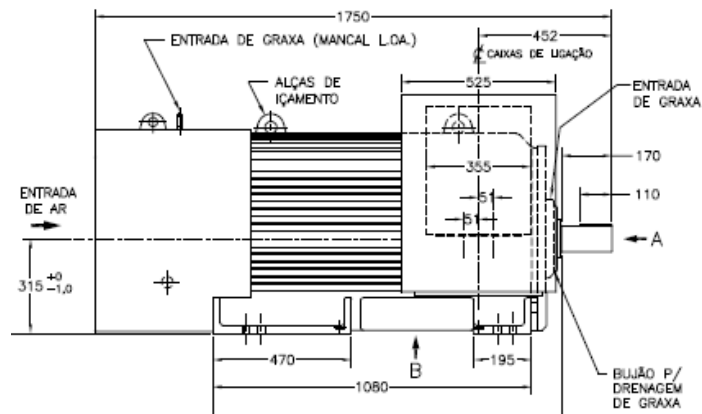
Tabela 44 - Dados de Instrumentação - 441FN01M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	441FN01U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	441FN01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	441FN01U01T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	441FN01U01T02	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	441FN01U01T03	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal				
LOA	441FN01N14T01	PT100	70 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	441FN01N15T01	PT100	77 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

441FN41M01 – Ventilador do Resfriador de Clínquer

Figura 49 - 441FN41M01



Fonte: Do Autor (2020)

Novamente, o prefixo 441 denomina que o motor está na área do resfriador. FN simboliza um ventilador, denominado como 41, sendo o motor 1 do item em questão. Novamente foi disponibilizado somente o desenho do motor pelos riscos de adentrar à área somente para fotografar.

Tabela 45 - Dados Gerais do Motor - 441FN41M01

441FN41M01	
Ventilador do Resfriador	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
205 kW	Gaiola
Tensão	Partida
440 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

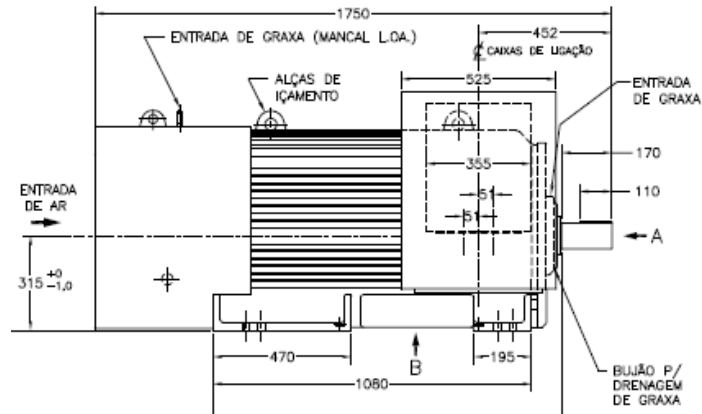
Tabela 46 - Dados de Instrumentação - 441FN41M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	441FN41U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	Não possui resistência	-	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado S	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Mancal				
LOA	441FN41N14T01	PT100	70 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	441FN41N15T01	PT100	70 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

441FN52M01 – Ventilador do Resfriador de Clínquer

Figura 50 - 441FN52M01



Fonte: Do Autor (2020)

Este motor é idêntico ao 441FN41M01, abordado anteriormente. A única diferença é a posição. Ventiladores com identificação menor, como o FN01, ficam no início do equipamento enquanto os de número maior encontram-se no final do percurso do clínquer.

Tabela 47 - Dados Gerais do Motor - 441FN52M01

441FN52M01	
Ventilador do Resfriador	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
205 kW	Gaiola
Tensão	Partida
440 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 48 - Dados de Instrumentação - 441FN52M01 (continua)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	441FN52U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	Não possui resistência	-	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-

Tabela 49 - Dados de Instrumentação - 441FN52M01 (conclusão)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado S	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Mancal LOA	441FN52N14T01	PT100	75 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	441FN52N15T01	PT100	80 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

461FN02M01 - Ventilador de Tiragem do Moinho de Coque

Figura 51 - 461FN02M01



Fonte: Do Autor (2020)

A exemplo do que acontece nos moinhos de Cru e Cimento, no moinho de coque o material também é extraído por meio de uma corrente de ar. Nesse caso, o prefixo 461 denomina o setor de moagem de coque e o FN mostra que é um ventilador. Portanto, trata-se do ventilador de tiragem do moinho de coque.

Tabela 50 - Dados Gerais do Motor - 461FN02M01 (continua)

461FN02M01	
Tiragem Moinho de Coque	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm

Tabela 51 - Dados Gerais do Motor - 461FN02M01 (concussão)

Potência	Rotor
470 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 52 - Dados de Instrumentação - 461FN02M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	461FN02M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	461FN02E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	461FN02M01I01	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase S	461FN02M01I02	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase T	461FN02M01I03	TC 100 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	461FN02N11T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	461FN02N12T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	461FN02N13T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal				
LOA	461FN02N14T01	PT100	70 °C	80 °C
Temperatura Mancal LA	461FN02N15T01	PT100	70 °C	80 °C

Fonte: Do Autor (2020)

461RM01M01 – Moinho de Coque

Figura 52 - 461RM01M01



Fonte: Do Autor (2020)

O combustível principal do forno é o coque de petróleo. Ele é transportado até a fábrica em pequenas pedras que, antes de serem injetadas no forno, passam pelo processo de moagem, a cargo desse moinho. Novamente, o número 461 denomina a cadeia de moagem de coque e RM mostra que trata-se de um moinho.

Tabela 53 - Dados Gerais do Motor - 461RM01M01

461RM01M01	
Motor Moinho de Coque	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
470 kW	Gaiola
Tensão	Partida
440 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 54 - Dados de Instrumentação - 461RM01M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	461RM01U01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	461RM01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	-	-	-	-
Temperatura Bobinado S	-	-	-	-
Temperatura Bobinado T	-	-	-	-
Temperatura Mancal				
LOA	461RM01N14T01	PT100	70 °C	80 °C
Temperatura Mancal LA	461RM01N15T01	PT100	70 °C	80 °C

Fonte: Do Autor (2020)

531BM01M01 – Moinho de Cimento 1

Figura 53 - 531BM01M01



Fonte: Do Autor (2020)

O número 531 denomina a cadeia de moagem de cimento 1. Este é maior motor da fábrica e é responsável pelo giro do moinho de cimento 1. A capacidade nominal do equipamento varia entre 180 e 220 toneladas por hora, a depender do tipo de cimento em produção. Ainda, corresponde a 22 % da demanda de energia contratada em horário fora de ponta. Funciona a depender dos estoques de cimento, mas jamais em horário de ponta. Para fins de mensuração, entre 23 e 30 de janeiro de 2020, o motor operou em 70% do tempo.

Tabela 55 - Dados Gerais do Motor - 531BM01M01

531BM01M01	
Moinho de Cimento 1	
Fabricante	Rotação
Gevisa	900 rpm
Potência	Rotor
7315 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 56 - Dados de Instrumentação - 531BM01M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	531BM01M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	531BM01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	531BM01M01I01	TC 1000 - 5A	-	-
Corrente Fase S	531BM01M01I02	TC 1000 - 5A	-	-
Corrente Fase T	531BM01M01I03	TC 1000 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	531BM01N21T01	PT100	111 °C	125 °C
Temperatura Bobinado S	531BM01N22T01	PT100	111 °C	125 °C
Temperatura Bobinado T	531BM01N23T01	PT100	111 °C	125 °C
Temperatura Mancal				
LOA	531BM01N24T01	PT100	81 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	531BM01N25T01	PT100	85 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

531FN02M01 – Ventilador de Tiragem do Moinho de Cimento 1

Figura 54 - 531FN02M01



Fonte: Do Autor (2020)

A exemplo do que ocorre com 321FN02M01 e 461FN02M01, este também é um ventilador de tiragem, pertencente ao departamento 531, ou seja, a moagem de cimento 1. Sua função é retirar o cimento do moinho e opera em conjunto com o 531BM01M01.

Tabela 57 - Dados Gerais do Motor - 531FN02M01

531FN02M01	
Tiragem M. Cimento 1	
Fabricante	Rotação
Gevisa	900 rpm
Potência	Rotor
550 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

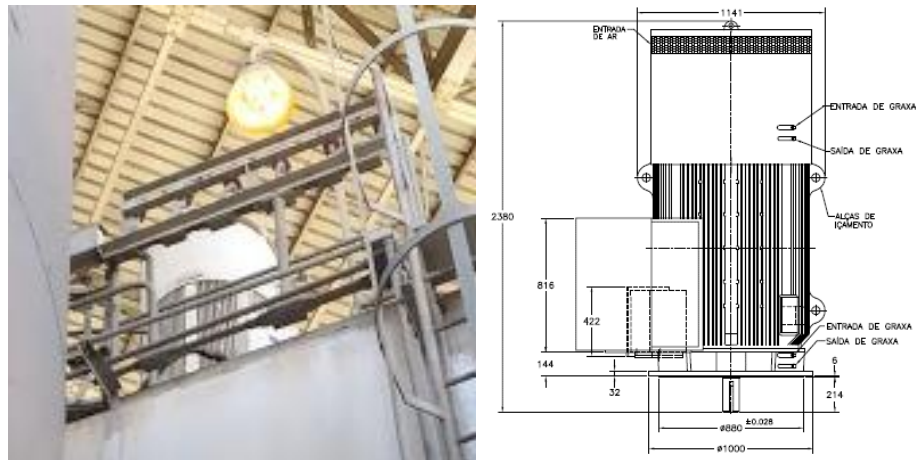
Tabela 58 - Dados de Instrumentação - 531FN02M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	531FN02M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	531FN02E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	531FN02M01I01	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase S	531FN02M01I02	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase T	531FN02M01I03	TC 100 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	531FN02N11T01	PT100	90 °C	95 °C
Temperatura Bobinado S	531FN02N12T01	PT100	90 °C	95 °C
Temperatura Bobinado T	531FN02N13T01	PT100	90 °C	95 °C
Temperatura Mancal				
LOA	531FN02N14T01	PT100	85 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	531FN02N15T01	PT100	85 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

531SR01M01 – Separador Dinâmico

Figura 55 - 531SR01M01



Fonte: Do Autor (2020)

Este motor é responsável pelo separador dinâmico do moinho de cimento 1. Sua velocidade determina a espessura do cimento a ser extraído para o silo, conforme determinação da ABNT para o produto em questão. Ou seja, sua função é análoga a uma peneira. Encontra-se em local alto e exige permissões especiais para acesso. Por isso o desenho acompanha a Figura 25.

Tabela 59 - Dados Gerais do Motor - 531SR01M01

531SR01M01	
Separador M. Cimento 1	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
560 kW	Gaiola
Tensão	Partida
440 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 60 - Dados de Instrumentação - 531SR01M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	531SR01U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	531SR01E02_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	531SR01U01T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	531SR01U01T02	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	531SR01U01T03	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal				
LOA	531SR01U01T04	PT100	80 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	531SR01U01T05	PT100	80 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

532BM01M01 – Moinho de Cimento 2

Figura 56 - 532BM01M01



Fonte: Do Autor (2020)

A fábrica possui duas moagens de cimento idênticas e o prefixo 532 mostra que este é o motor da segunda moagem de cimento. Suas características são as mesmas do moinho de cimento 1 e operou 74 % do tempo entre 23 e 30 de janeiro de 2020.

Tabela 61 - Dados Gerais do Motor - 532BM01M01

532BM01M01	
Moinho de Cimento 2	
Fabricante	Rotação
Gevisa	900 rpm
Potência	Rotor
7315 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 62 - Dados de Instrumentação - 532BM01M01

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	532BM01M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	532BM01E01_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	532BM01M01I01	TC 1000 - 5A	-	-
Corrente Fase S	532BM01M01I02	TC 1000 - 5A	-	-
Corrente Fase T	532BM01M01I03	TC 1000 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	532BM01N21T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	532BM01N22T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	532BM01N23T01	PT100	100 °C	120 °C
Temperatura Mancal				
LOA	532BM01N24T01	PT100	81 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	532BM01N25T01	PT100	81 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)

532FN02M01 – Ventilador de Tiragem do Moinho de Cimento 2

Figura 57 - 532FN02M01



Fonte: Do Autor (2020)

Este motor tem a mesma função de todos os outros FN02 abordados no trabalho, ou seja, tiragem de material do moinho. No caso do motor em questão, pertence ao circuito 532, operando na moagem de cimento 2. Para melhor definição, operou por 75,5% do tempo entre 23 e 30 de janeiro de 2020.

Tabela 63 - Dados Gerais do Motor - 532FN02M01

532FN02M01	
Tiragem M. Cimento 2	
Fabricante	Rotação
Gevisa	900 rpm
Potência	Rotor
550 kW	Bobinado
Tensão	Partida
6600 V	Reostato

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 64 - Dados de Instrumentação - 532FN02M01 (continua)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	532FN02M01_ST	Relé	-	-
Status Resistência	532FN02E01_ST	Relé	-	-

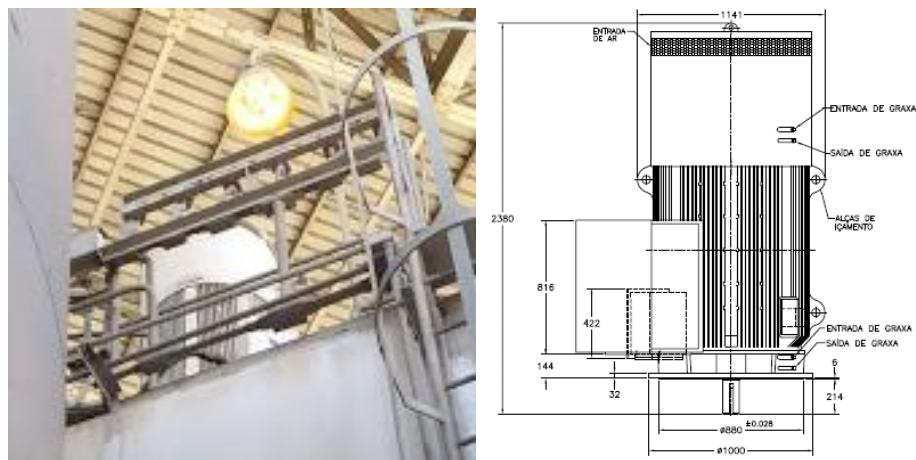
Tabela 65 - Dados de Instrumentação - 532FN02M01 (conclusão)

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Corrente Fase R	532FN02M01I01	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase S	532FN02M01I02	TC 100 - 5A	-	-
Corrente Fase T	532FN02M01I03	TC 100 - 5A	-	-
Temperatura Bobinado R	532FN02N11T01	PT100	90 °C	95 °C
Temperatura Bobinado S	532FN02N12T01	PT100	90 °C	95 °C
Temperatura Bobinado T	532FN02N13T01	PT100	90 °C	95 °C
Temperatura Mancal				
LOA	532FN02N14T01	PT100	70 °C	80 °C
Temperatura Mancal LA	532FN02N15T01	PT100	70 °C	80 °C

Fonte: Do Autor (2020)

532SR01M01 – Separador Dinâmico

Figura 58 - 532SR01M01



Fonte: Do Autor (2020)

Resta falar do último motor monitorado no presente trabalho. Conforme já dito no item 4.3.19, o acesso ao motor exige permissão especial para trabalho em altura e por isso acompanha o desenho detalhado. Sua função é determinar a espessura dos “grãos” de cimento extraídos do moinho de cimento 2.

Tabela 66 - Dados Gerais do Motor - 532SR01M01

532SR01M01	
Separador M. Cimento 2	
Fabricante	Rotação
Gevisa	1800 rpm
Potência	Rotor
560 kW	Gaiola
Tensão	Partida
440 V	Inversor

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 67 - Dados de Instrumentação

Sinal	TAG	Tipo de Sensor	Alarme	Parada
Status Motor	532SR01U01_ST	Bits do Inversor	-	-
Status Resistência	532SR01E02_ST	Relé	-	-
Corrente Fase R	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase S	Não possui medição	-	-	-
Corrente Fase T	Não possui medição	-	-	-
Temperatura Bobinado R	532SR01U01T01	PT100	110 °C	120 °C
Temperatura Bobinado S	532SR01U01T02	PT100	110 °C	120 °C
Temperatura Bobinado T	532SR01U01T03	PT100	110 °C	120 °C
Temperatura Mancal				
LOA	532SR01U01T04	PT100	80 °C	90 °C
Temperatura Mancal LA	532SR01U01T05	PT100	80 °C	90 °C

Fonte: Do Autor (2020)