Revista Eletrônica de Tecnologia, Humanidades e Inovação
ISSN: 3086-4135

Estudo de Implementação de Soluções para Partida de Motobombas na Caema de Santa Inês

Study on the Implementation of Motor Pump Starting Solutions at Caema in Santa Inês

Gustavo Bandeira Ferreira [1]; Profa. Dra. Thatyane Pereira de Sousa[2]

[1] Trainee do Programa de Aperfeiçoamento em Saneamento, Vinculado à Regional de Santa Inês. Caema- Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão. gustavobafe@gmail.com
[2] Professora Orientadora no Programa de Aperfeiçoamento em Saneamento. Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL. thatyane.sousa@uemasul.edu.br.

DOI: https://doi.org/00000000000

Resumo

O presente Trabalho de Conclusão do Programa (TCP) aborda o estudo de implementação de soluções eletromecânicas voltadas para a modernização dos sistemas de partida de motobombas operados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) na gerência do município de Santa Inês. A infraestrutura atual dos poços tubulares profundos enfrenta um elevado índice de paralisações e custos com manutenções corretivas, motivados primordialmente por falhas elétricas devido a picos de corrente na partida e danos mecânicos causados pelo fenômeno do golpe de aríete. O objetivo geral deste trabalho consiste em propor a reestruturação e substituição dos métodos de acionamento obsoletos e diretos por tecnologias de partida suave (soft-starters) e partidas compensadas, priorizando os ativos com maior criticidade operacional e histórico de ordens de serviço. A metodologia fundamentou-se no levantamento técnico e estatístico das ocorrências de manutenção nos poços, seguida do dimensionamento e especificação dos novos equipamentos de manobra e proteção baseados nas potências das motobombas instaladas. Os resultados esperados compreendem a mitigação das correntes de pico em até oito vezes em relação à corrente nominal, a estabilização da tensão na rede elétrica interna, a proteção contra queimas de componentes e a redução significativa do estresse mecânico em tubulações, eixos e rolamentos através do controle das rampas de aceleração e desaceleração. Conclui-se que a transição proposta viabiliza maior eficiência energética, garante a continuidade e a confiabilidade do abastecimento público de água na região e proporciona um retorno sustentável do investimento financeiro através do prolongamento da vida útil dos ativos operacionais.

Palavras-chave: Abastecimento de água. Controle de corrente. Redução de falhas. Motobombas. Partidas de motores. Soft-starter.

Abstract

This Program Completion Project (PCP) addresses the implementation of electromechanical solutions aimed at modernizing the motor-pump starting systems operated by the Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) in the municipality of Santa Inês. The current infrastructure of deep tube wells faces high rates of downtime and corrective maintenance costs, primarily driven by electrical failures—caused by starting current surges—and mechanical damage resulting from water hammer. The general objective of this work is to propose restructuring and replacing obsolete direct-start methods with soft-starter and autotransformer starter technologies, prioritizing assets with the highest operational criticality and service order history. The methodology was based on a technical and statistical survey of well maintenance incidents, followed by the sizing and specification of new switching and protection equipment tailored to the power ratings of the installed motor-pumps. Expected results include mitigating peak currents (reducing them by up to eight times the rated current), stabilizing internal grid voltage, protecting against component burnout, and significantly reducing mechanical stress on piping, shafts, and bearings through the control of acceleration and deceleration ramps. The study concludes that the proposed transition enables greater energy efficiency, ensures the continuity and reliability of the public water supply in the region, and provides a sustainable return on financial investment by extending the service life of operational assets.

Keywords: Water supply. Current control. Fault reduction. Motor-pump sets. Motor starting. Soft starter.

1. Introdução

Em busca de otimização e redução de custos com manutenção e energia elétrica por parte da CAEMA, devem ser consideradas todas as possíveis intervenções que possam contribuir para este objetivo. Uma das formas de reduzir esse custo é modernizando a forma de partida dos motores, muitos dos quais são acionados por partida direta, que é um método que causa picos de energia e desgaste mecânico desnecessário.

A solução proposta será a implementação de dois métodos diferentes para cada situação específica: Partida Compensada (Autotransformador) e Soft-starter (Partida Suave Eletrônica). A Partida Compensada utiliza um autotransformador para reduzir a tensão nos terminais do motor durante o arranque, geralmente através de derivações (taps) fixas de 65% ou 80% da tensão nominal.

Essa técnica permite que o motor inicie o movimento com uma corrente reduzida, evitando sobrecargas severas na rede elétrica local, o que é fundamental em regiões onde a estabilidade da rede é limitada (MAMEDE FILHO, 2017). Entre as suas principais características está a robustez puramente eletromecânica, o que facilita a manutenção por funcionários, pois é menos dependente de eletrônica sensível. No entanto, sua principal desvantagem é o tamanho físico elevado do conjunto, exigindo painéis volumosos para comportar o autotransformador e os contatores de bypass (FRANCHI, 2008).

Além disso, a transição para a tensão plena ocorre em "degraus", o que ainda gera pequenos picos de torque e corrente no momento da comutação. É um método indicado para motores que operam com carga constante e onde não há necessidade de controle de velocidade, servindo como uma solução de transição para evitar a partida direta em motores de grande porte (FRANCHI, 2008; MAMEDE FILHO, 2017).

A Soft-starter, por sua vez, representa uma evolução eletrônica significativa, operando através do controle da tensão via tiristores (SCRs) para realizar rampas graduais de aceleração e desaceleração. Diferente dos métodos eletromecânicos, ela permite um ajuste fino do tempo de partida, o que é vital para eliminar o fenômeno do golpe de aríete nas tubulações dos poços da CAEMA, preservando as válvulas, flanges e conexões contra rompimentos causados por mudanças bruscas de pressão (WEG, 2021).

As vantagens incluem o tamanho compacto, a proteção eletrônica integrada contra falta de fase e sobrecarga, e a redução drástica do estresse mecânico no conjunto motobomba (FRANCHI, 2008). Por outro lado, como ela não altera a frequência da rede, o motor operará sempre em 60Hz após completar a partida, o que impede a variação da vazão de água.

É a aplicação ideal para poços onde a prioridade é a integridade física da rede hidráulica e a redução da corrente de partida com um investimento equilibrado entre custo e tecnologia (WEG, 2021; MAMEDE FILHO, 2017). Estima-se que a implantação de soft starters nos poços mais críticos possa gerar benefícios econômicos associados à redução da quantidade de intervenções corretivas, diminuição do número de queimas de motores, aumento da vida útil dos conjuntos motobomba, redução de custos com reposição de componentes, diminuição do tempo de indisponibilidade operacional e melhoria da confiabilidade do sistema de abastecimento.

Na imagem abaixo (figura 1), podemos ver o gráfico do pico da corrente em um motor acionado por uma soft starter comparado à partida direta.

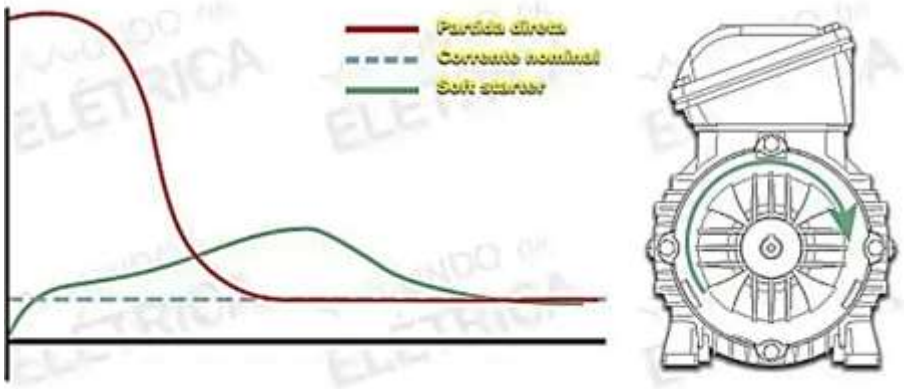


Figura 1 – Corrente no acionamento de motor por soft starter e por partida direta

Portanto, a adoção de métodos de partida suave apresenta potencial para redução tanto dos custos operacionais relacionados ao sistema elétrico quanto das despesas de manutenção dos equipamentos, contribuindo para maior eficiência e confiabilidade operacional do sistema de abastecimento de água.

Ao realizar estas implementações, a CAEMA estará se modernizando, se tornando mais eficiente e mais econômica, alcançando parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

2. Identificação do Problema

O problema central abordado neste projeto é a ineficiência operacional e técnica do sistema de partida direta, que resulta em gastos excessivos de energia elétrica e desgaste nos componentes dos CMBs e que atualmente é utilizado em 9 poços de captação de água do sistema de Santa Inês.

Segundo informações repassadas por funcionários da companhia, esses poços chegam a parar 6 vezes ao mês, portanto cada parada é um momento de desgaste dos componentes do motor e geração de picos de corrente.

A partida direta exige que o motor saia do repouso para a rotação nominal de forma instantânea, o que causa um pico de corrente elétrica (corrente de partida) que pode chegar a 6 ou 8 vezes o valor da corrente nominal (NBR 5410, 2004).

Essa demanda abrupta sobrecarrega a rede elétrica local, causa quedas de tensão e pode elevar os custos com multas por excesso de demanda na fatura de energia. Além disso, a aceleração instantânea gera o golpe de aríete — uma onda de choque hidráulica que percorre as tubulações, causando vibrações excessivas, rompimento de juntas e desgaste prematuro dos rolamentos e eixos das motobombas.

Os principais impactos deste problema recaem sobre dois grupos: a CAEMA e a comunidade local. Para a companhia, as consequências são o aumento dos custos operacionais (OPEX) devido ao alto consumo de energia e à necessidade de manutenções corretivas frequentes para reparo de vazamentos e substituição de componentes mecânicos.

Para a comunidade, o impacto é sentido na instabilidade do abastecimento, uma vez que as falhas mecânicas ou elétricas provocadas pela partida bruta resultam em paradas não programadas dos poços, deixando bairros inteiros desassistidos durante o período de reparo.

A resolução deste problema é crucial porque promove a modernização da infraestrutura hídrica e a sustentabilidade do serviço, além de trazer economia de energia, reduzindo os custos operacionais da companhia.

Inicialmente, a melhor solução considerada foi a utilização de inversores de frequência, que é um equipamento que controla a velocidade de rotação da bomba e, consequentemente, controla a vazão. Porém, para que este método fosse eficaz, deveríamos identificar os horários onde o consumo é menor e neles reduzir a rotação, mas a demanda no sistema de abastecimento de Santa Inês é muito grande, não tendo a possibilidade de reduzir a vazão dessas bombas, segundo informações colhidas com funcionários da CAEMA.

Diante disso, se optará pela sugestão de dois métodos de partida: Soft-starters ou Partidas Compensadas. Através disso busca-se suavizar o estresse mecânico e elétrico, garantindo a continuidade do serviço de distribuição de água. Os efeitos práticos de cada método estão dispostos na tabela 1.

Característica	Partida Direta	Partida Compensada	Soft Starter
Corrente de partida	Muito alta	Média	Baixa
Esforço mecânico	Alto	Médio	Baixo
Golpe de aríete	Alto	Médio	Baixo
Custo de implantação	Baixo	Médio	Médio
Vida útil do equipamento	Menor	Intermediária	Maior
Proteções eletrônicas	Não	Limitadas	Sim
Controle de aceleração	Não	Parcial	Sim
Controle de desaceleração	Não	Não	Sim

Tabela 1 - Orçamento dos componentes

Resolver essa questão significa reduzir o desperdício de recursos financeiros com reparos emergenciais e faturas de energia ineficientes, permitindo que a CAEMA ofereça um sistema de abastecimento mais robusto, confiável e com menor custo ambiental e financeiro para a sociedade.

3. Objetivo

3.1 objetivo geral

Este projeto tem como objetivo propor e analisar soluções de partida para motobombas da CAEMA de Santa Inês, Maranhão, visando obter eficiência energética, redução de custos operacionais e aumento da confiabilidade dos sistemas de bombeamento através dos seguintes objetivos específicos.

3.2 objetivos específicos

- Diagnosticar o cenário atual de partida dos conjuntos motobomba (CMBs) da CAEMA de Santa Inês, identificando a ocorrência de manutenções relacionadas dos poços que operam com partida direta.;

- Estudar a viabilidade técnica e econômica da implementação de chaves compensadoras (autotransformadores) em CMBs de menor potência;
- Avaliar a aplicação de soft-starters em CMBs de maior potência, considerando benefícios como partida suave e aumento da vida útil dos componentes mecânicos;
- Comparar os impactos energéticos e operacionais entre os métodos de partida direta, compensada e por soft-starter;
- Estimar a redução de custos e ganhos de eficiência decorrentes da modernização dos sistemas de bombeamento;
- Propor um plano de implementação gradual, priorizando unidades com maior impacto no consumo energético e na confiabilidade do abastecimento;
- Contribuir para a sustentabilidade da companhia, alinhando o projeto às metas de eficiência energética e responsabilidade ambiental.

4. Descrição das Atividade Realizadas

As atividades realizadas na execução deste projeto se iniciaram com a análise das necessidades da companhia. Isto foi feito para que o projeto tivesse relevância institucional com impacto financeiro e operacional positivo.

A partir disso, foi definido que uma intervenção no método de partida de alguns poços que operam com partida direta, um método ineficiente, pois gera picos de corrente e desgaste nos rotores e tubulações por conta do golpe de aríete.

Definido a intervenção a ser proposta, foi realizada um levantamento dos poços que operam com método de partida direta e de seus históricos de manutenção a partir das ordens de serviço de 2024 e 2025. A partir disso se pôde fazer a correlação entre o tipo de partida utilizada e as falhas apresentadas no sistema.

Foi também feita uma pesquisa bibliográfica para se obter os parâmetros de economia que poderiam ser alcançados com essa alteração, de acordo com as pesquisas e informações disponíveis sobre o assunto.

Após isso foram definidas as especificações técnicas dos equipamentos a serem implementados para que pudesse ser feito o orçamento do investimento necessário.

Com o orçamento em mãos, foi feita a análise de pay-back, para que se obtivesse o tempo de retorno do investimento.

5. Metodologia de Execução

Ao longo dos meses as atividades relacionadas ao projeto foram conciliadas com as atividades rotineiras da CAEMA. A metodologia adotada para este estudo foi composta por etapas sequenciais que visaram diagnosticar, analisar e propor soluções de eficiência energética aplicadas aos conjuntos motobomba (CMBs) da CAEMA. O processo foi desenvolvido conforme descrito abaixo.

5.1 Levantamento e coleta de dados

- Coleta de informações técnicas sobre os conjuntos motobomba em operação (potência, tipo de partida, regime de funcionamento, histórico de falhas e manutenção);
- Análise do consumo energético atual, utilizando registros de medição e faturas de energia elétrica da companhia;
- Identificação dos pontos críticos de maior impacto no consumo e na confiabilidade operacional.

5.2. Diagnóstico do sistema

- Caracterização dos métodos de partida existentes (partida direta, compensada, soft-starters e inversores já instalados);
- Avaliação dos impactos elétricos e mecânicos decorrentes da partida direta, como picos de corrente, quedas de tensão e desgaste dos equipamentos;
- Mapeamento das bombas de menor e maior potência, definindo critérios para aplicação das soluções propostas.

5.3. Estudo das soluções tecnológicas

- Análise técnica da aplicação de chaves compensadoras (autotransformadores) em CMBs de menor potência, considerando redução da corrente de partida e impacto na rede elétrica;
- Avaliação da viabilidade de Soft-starter em CMBs de maior potência, com foco em partida suave, e otimização do consumo energético;
- Comparação entre os métodos de partida (direta, compensada e por soft-starter), destacando vantagens, limitações e custos associados.

5.4. Análise de viabilidade

- Estudo econômico-financeiro, estimando custos de aquisição e instalação das tecnologias propostas;
- Avaliação dos benefícios ambientais, considerando redução de consumo energético.

6. Resultados e Impactos Obtidos

Serão apresentados os resultados das análises realizadas e os passos para se chegar à esses resultados. As etapas seguintes foram: Estimativa de Economia, com levantamento e análise de dados, Dimensionamento de Equipamentos e Orçamento e Resultados Esperados.

6.1 estimativa de economia

A estimativa de economia decorrente da implantação de partidas compensadas ou soft starters nos conjuntos motobomba (CMB) do sistema de Santa Inês pode ser analisada sob duas principais perspectivas: a redução dos impactos elétricos provocados pela corrente de partida e a diminuição dos custos de manutenção associados ao desgaste eletromecânico dos equipamentos.

A primeira ótica considera a redução da corrente de pico durante a partida dos motores. Em sistemas onde os motores são acionados por partida direta, a corrente de partida pode atingir valores

entre seis e oito vezes a corrente nominal do equipamento, provocando elevado esforço sobre cabos, contatores, transformadores, disjuntores e demais componentes elétricos do sistema.

Além disso, esses picos contribuem para quedas de tensão, aquecimento excessivo e aumento das perdas elétricas na rede.

Com a utilização de partidas compensadas ou soft starters, a corrente de partida é reduzida significativamente, promovendo uma aceleração gradual do motor e diminuindo os esforços elétricos sobre a instalação. Essa redução contribui para maior estabilidade operacional do sistema elétrico, menor incidência de desligamentos por sobrecorrente e aumento da vida útil dos componentes de proteção e acionamento.

Do ponto de vista econômico, embora a redução do consumo de energia elétrica durante o regime permanente não seja expressiva no caso do soft starter, existe redução indireta de custos operacionais devido à minimização de perdas associadas aos transitórios de partida e à redução de penalidades relacionadas à demanda elétrica e afundamentos de tensão.

A segunda ótica da economia está associada à redução dos custos de manutenção corretiva e preventiva dos conjuntos motobomba. Durante partidas bruscas, comuns em sistemas com acionamento direto, ocorrem elevados esforços mecânicos e hidráulicos, resultando em desgaste prematuro de rolamentos, fadiga mecânica do eixo, danos em luvas e acoplamentos, aumento da vibração do conjunto, desgaste dos selos mecânicos e ocorrência de golpe de aríete nas tubulações.

A adoção de métodos de partida suave reduz significativamente esses impactos, proporcionando maior suavidade na aceleração e desaceleração do conjunto motobomba. Consequentemente, há redução da frequência de falhas e aumento da vida útil dos equipamentos.

Considerando as ordens de serviço registradas nos anos de 2024 e 2025 para o sistema de Santa Inês, e desconsiderando os poços P-24 e P-17 por se tratarem de ocorrências específicas não representativas da operação normal, observa-se que os poços P-20, P-07 e P-08 concentram a maior incidência de manutenções corretivas do sistema.

A análise do histórico de ordens de serviço (O.S.) da regional de Santa Inês demonstra claramente que os poços P-07, P-08 e P-20 constituem os principais gargalos operacionais do sistema. Juntos, esses três ativos concentram 44,45% de todas as manutenções corretivas registradas na localidade. Esse dado revela que quase metade de todo o esforço das equipes de campo, da aplicação de peças de reposição e dos custos operacionais está direcionada a apenas três pontos de captação.

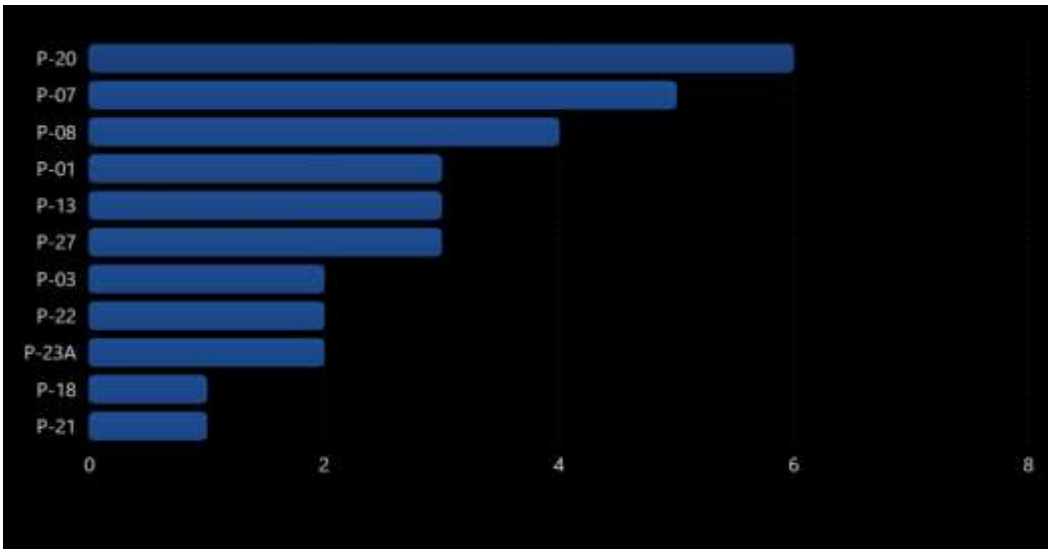


Figura 2 - Gráfico de Pareto das ordens de serviço dos poços do sistema de Santa Inês (2024–2025).

A análise de Pareto demonstra que as ocorrências de manutenção se encontram concentradas em um número reduzido de unidades operacionais. Os poços P-20, P-07 e P-08 apresentam os maiores quantitativos de ordens de serviço, totalizando 15 intervenções corretivas, o que corresponde a aproximadamente 46,88% das ocorrências registradas entre os poços analisados.

Esse comportamento evidencia que a priorização de investimentos nessas unidades possui elevado potencial de retorno operacional, uma vez que a redução das falhas nesses ativos tende a produzir impacto significativo na confiabilidade do sistema como um todo.

Poço	O.S.	Participação (%)	Participação Acumulada (%)
P-20	6	18,75	18,75
P-07	5	15,63	34,38
P-08	4	12,5	46,88
P-01	3	9,38	56,25
P-13	3	9,38	65,63
P-27	3	9,38	75
P-03	2	6,25	81,25
P-22	2	6,25	87,5
P-23A	2	6,25	93,75
P-18	1	3,13	96,88
P-21	1	3,13	100

Tabela 2 - Resumo da composição das Ordens de Serviço

Além dos danos elétricos, a partida direta acelera o motor instantaneamente até a rotação máxima, impulsionando a água de forma violenta pela tubulação. Esse impacto gera o fenômeno hidráulico conhecido como golpe de aríete, que provoca choques de pressão em toda a rede. Essa energia dinâmica reverbera diretamente no conjunto motobomba (CMB), acelerando o desgaste

mecânico de eixos e rolamentos, além de causar a queima de motores submersos, como verificado de no poço P-20.

Diante desse cenário, a transição para chaves eletrônicas do tipo Soft-starter nesses ativos é uma medida a ser considerada. A tecnologia permite que o motor arranque de forma suave e gradual, eliminando os picos de corrente nos painéis e os choques de pressão nas tubulações.

Essas O.Ss tem como principais causas relé defeituoso, fusível queimado, disjuntor e cabos sobreaquecido queima de CMB.

Quando comparados individualmente com a média dos demais poços do sistema, também apresentam frequência significativamente superior. O P-20 possui cerca de 140% mais ocorrências que a média dos demais poços. O P-07 possui aproximadamente 100% mais ocorrências e o P-08 apresenta aproximadamente 60% mais ocorrências.

Esses resultados indicam que os três poços, que são operados com partida direta, apresentam comportamento operacional fora do padrão médio do sistema, sugerindo maior criticidade operacional e maior recorrência de falhas eletromecânicas.

Para os três poços mencionados, recomenda-se a instalação de soft-starts para reduzir picos de corrente e desgaste mecânico. Além disso, os poços P-14 e P-18 também devem receber essa instalação devido à sua maior potência de CMB, que aumenta os riscos de sobrecarga elétrica e deterioração dos componentes mecânicos. O autotransformador para o poço P-22 (11cv) teria um custo de semelhante ao de uma soft starter sendo, portanto, mais vantajoso a instalação desta última.

6.2 Dimensionamento de equipamentos e orçamento

6.2.1 Grupo soft-starters (controle eletrônico)

Para as unidades P-7A (55 cv), P-8 (10 cv), P-20 (37,5 cv), P-18 (22,5 cv), P-22 (11 cv) e P-14 (16 cv) com tensão de Operação: 380V / 60Hz. Corrente Nominal (In): O equipamento deve ser dimensionado com uma margem de segurança de 20% sobre a corrente nominal do motor (devido ao Fator de Potência das bombas submersas, geralmente 1.15).

Será necessário instalar um contator de bypass e um relé de sobrecarga.

O contator de bypass serve para assumir a condução da corrente após o motor atingir a rotação nominal. Como ele fecha sem carga (a Soft-starter já realizou a partida e a tensão já está em 100%), os critérios mudam. A corrente de emprego do contator em regime contínuo deve ser maior ou igual à corrente nominal do motor (I contator >= I n).

O Relé de Sobrecarga é um dispositivo de proteção essencial em painéis de acionamento de motores, atuando como um "guardião" térmico do conjunto motobomba. Sua principal finalidade é monitorar a corrente elétrica e interromper o circuito antes que uma condição anômala cause danos irreversíveis ao isolamento do motor.

6.2.2. Grupo partida compensada (autotransformadores)

Para as unidades P-3 (9 cv), P-21 (9 cv) e P-23A (7 cv) será adotado um autotransformador Trifásico. A potência será dimensionada conforme a carga (ex: autotransformador de 15 cv para o poço de 11 cv para garantir robustez e margem de segurança).

- Taps de Saída: Derivações em 65% e 80% da tensão de rede (o tap de 80% é recomendado se o poço estiver operando com coluna d'água muito alta);

- Conjunto de Contatores (K1, K2, K3): Bloco de manobra composto por três contatores tripolares eletromecânicos (K1 - Linha, K2 - Estrela, K3 - Circuito de Partida). Intertravamento mecânico e elétrico entre o contator de estrela e o de linha para evitar curto-circuito na comutação;

- Relé Temporizador: Com ajuste de 0 a 30 segundos para controle preciso do tempo de comutação entre a tensão reduzida e a tensão plena. O ajuste fino deve ser calibrado para efetuar a transição automática de circuitos no momento exato em que a corrente de partida decrescer próxima à estabilização (aproximadamente 80% da rotação síncrona), minimizando os transientes elétricos na rede de distribuição.

A seguir, a tabela 3 mostra os componentes que foram dimensionados para cada bomba de cada poço. Além dos equipamentos principais – soft start e autotransformador – também foram dimensionados e orçados os componentes complementares.

O dimensionamento foi feito com base em levantamento de dados e pesquisa técnica.

O valor de R$ 21.105,00 que será apresentado refere-se ao custo direto dos equipamentos, sendo recomendável a aplicação do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas), que inclui impostos, encargos sociais, lucro e custos administrativos (geralmente entre 20% a 30% sobre o custo direto).

Unidade	Potência (cv)	Método Sugerido	Corrente Est. (In)	Equipamento Principal		Equipamentos complementares	
				Equipamento Recomendado	Preço	Equipamento Recomendado	Preço
P-7A	55 cv	Soft-starter	~82A	Soft Starter 90a Trifásico 220-460vca	R$ 2.831,00	Contator Tripolar Trifásico Decorlux 95A	R$ 357,57
						Relé Térmico De Sobrecarga 63-80a	R$ 250,62
P-20	37,5 cv	Soft-starter	~58A	Soft-Starter Trifásica WEG SSW05 40hp 60A	R$ 2.229,00	Contator Trifásico 65a 30kw 380v Ac3	R$ 264,99
						Relé Térmico / Sobrecarga Jng 37-50a	R$ 144,68
P-18	22,5 cv	Soft-starter	~36A	Soft Starter 45a - 30cv	R$ 2.755,00	Contator De Potência Tripolar Jng Jx2-4011 40a	R$ 199,04
						Relé JNG 40A Trifásico com Proteção Sobrecarga AC3	R$ 211,94
P-14	16 cv	Soft-starter	~25A	Soft-starter 30A	R$ 1.609,00	Contator Tripolar 32a WEG	R$ 228,19
						Rele Térmico De Sobrecarga 23-32a Soprano	R$ 100,60
P-22	11 cv	Soft-starter	~18A	Soft-starter WEG SSW06 23A 15CV	R$ 2.811,00	Contator Tripolar 22a	R$ 111,15
						Relé térmico sobrecarga 17 a 25A.	R$ 71,00
P-8	10 cv	Soft-starter	~16A	Soft-starter WEG SSW06 23A 15CV	R$ 2.811,00	Contator Tripolar 22a	R$ 111,15
						Rele Termico 12-18a	R$ 60,90
P-3/21	9 cv	Compensada	~15A	AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE PARTIDA 10CV 380V 10PH	R$ 993,00	Relé Temporizador WEG RTW17 6-60s	R$ 118,65
						(x3) Contator Tripolar IC1810 18A	R$ 197,49
P-21	9 cv	Compensada	~15A	AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE PARTIDA 10CV 380V 10PH	R$ 993,00	Relé Temporizador WEG RTW17 6-60s	R$ 118,65
						(x3) Contator Tripolar IC1810 18A	R$ 197,49
P-23A	7 cv	Compensada	~12A	AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE PARTIDA 10CV 380V 10PH	R$ 993,00	Relé Temporizador WEG RTW17 6-60s	R$ 118,65
						(x3) Contator Tripolar IC1810 18A	R$ 197,49
					R$ 18.025,00		R$ 3.080,25

Tabela 3 – Orçamento dos Componentes

6.3 Resultados esperados

6.3.1 Análise de confiabilidade e impacto operacional baseado no histórico de falhas

A avaliação da eficiência das melhorias propostas fundamenta-se nos registros de ordens de serviço (OS) dos anos de 2024 e 2025 para a Coordenadoria de Operações de Santa Inês.

A análise estatística desse histórico permitiu identificar a possibilidade de benefícios diretos associados à redução da anormalidade operacional nos poços críticos (P-20, P-07 e P-08)

O mapeamento das OS revelou que a operação por partida direta gera um comportamento fora do padrão médio do sistema nas unidades P-20, que apresenta 140% mais ocorrências que a média dos demais poços; P-07 que apresenta 100% mais ocorrências que a média; e P-08 que apresenta 60% mais ocorrências que a média.

A implementação das Soft-starters pode reduzir essa discrepância. Ao remover o estresse eletromecânico da partida direta que submete os motores a correntes de pico e conjugados bruscos, o benefício imediato é trazer a frequência de falhas dessas três unidades para a média normal de operação dos demais poços do sistema.

6.3.2. Mitigação de quase metade das intervenções totais do sistema

Do universo de 63 ordens de serviço analisadas no biênio 2024–2025, a soma das ocorrências do P-20 (18,75%), P-07 (15,63%) e P-08 (12,50%) resulta em 46,88% de todas as manutenções corretivas do sistema.

Ao modernizar essas três unidades que representam apenas uma pequena parcela dos poços operacionais, mas concentram quase metade dos problemas, poderá se obter uma grande redução na necessidade de serviços de manutenção corretiva emergencial no sistema. Porém a modernização deve ser estendida a todos os poços com partida direta.

6.3.3. Garantia da continuidade do abastecimento público

A alta concentração de ordens de serviço nos poços P-20, P-07 e P-08 indica que essas comunidades sofrem com interrupções frequentes no fornecimento de água devido ao tempo de parada para manutenção corretiva.

Como a substituição ou reparo eletromecânico em partidas diretas exige indisponibilidade prolongada do poço, a redução dessas ocorrências específicas estabiliza o volume de água injetado na rede de Santa Inês, assegurando a regularidade do abastecimento e minimizando o tempo em que o sistema opera em capacidade reduzida.

Ao correlacionar o orçamento total de R$ 15.344,00 com o mapa de falhas, demonstra-se que o investimento é direcionado aos pontos de maior criticidade. A eliminação do regime de partida direta nos poços do sistema de Santa Inês corrigirá uma grande vulnerabilidade operacional da Coordenadoria, transformando dados históricos de quebra em indicadores de estabilidade e preservação de ativos e facilitando o dia a dia dos operadores.

Haverá também ganho social e reputacional. O resultado mais importante para a ponta final do sistema CAEMA é a regularidade. Com menos paradas para manutenção corretiva, o tempo de indisponibilidade do sistema de Santa Inês cai drasticamente, garantindo a continuidade do abastecimento público e reduzindo as reclamações por falta de água na comunidade.

6.4 Plano de implementação gradual

A implementação das soluções propostas deve ocorrer de forma gradual, priorizando inicialmente os ativos que apresentam maior impacto sobre a confiabilidade operacional do sistema e maior potencial de redução de custos com manutenção e energia elétrica. Essa estratégia permite distribuir os investimentos ao longo do tempo, reduzindo o impacto financeiro imediato e possibilitando a avaliação contínua dos resultados obtidos em cada etapa.

Com base no levantamento realizado, foram considerados três critérios principais para definição das prioridades de implantação: histórico de falhas e manutenções corretivas, potência instalada dos conjuntos motobomba e relevância operacional para a continuidade do abastecimento.

A primeira etapa deverá contemplar os poços P-20, P-07A e P-08, que apresentaram os maiores índices de ocorrências de manutenção dentre os poços operados por partida direta. A análise das ordens de serviço dos anos de 2024 e 2025 demonstrou que essas três unidades concentram aproximadamente 46,88% das intervenções corretivas registradas no sistema.

Além disso, os principais problemas identificados nesses poços estão relacionados a falhas elétricas, queima de componentes de proteção, superaquecimento de condutores e danos nos conjuntos motobomba.

Dessa forma, recomenda-se a instalação prioritária de soft-starters nessas unidades, visando reduzir os picos de corrente, minimizar os esforços mecânicos e aumentar a confiabilidade operacional.

Na segunda etapa, recomenda-se a modernização dos poços P-18, P-14 e P-22. Embora essas unidades não apresentem frequência de falhas tão elevada quanto os poços da primeira fase, possuem conjuntos motobomba de potência significativa, o que implica maiores correntes de partida e maior solicitação dos componentes elétricos e mecânicos.

A instalação de soft-starters nesses poços permitirá reduzir os esforços eletromecânicos durante os transitórios de partida, aumentando a vida útil dos equipamentos e reduzindo a probabilidade de falhas futuras.

A terceira etapa deverá contemplar os poços P-03, P-21 e P-23A, que possuem motores de menor potência e menor criticidade operacional. Para essas unidades, a utilização de partidas compensadas por autotransformador apresenta uma relação custo-benefício adequada, proporcionando redução da corrente de partida e melhoria das condições de operação com investimento inferior ao necessário para a aplicação de tecnologias eletrônicas mais sofisticadas.

Após a conclusão das etapas de implantação, recomenda-se um período de monitoramento contínuo dos indicadores operacionais, incluindo quantidade de ordens de serviço, ocorrências de falhas elétricas, indisponibilidade dos poços, queima de componentes e reclamações relacionadas à interrupção do abastecimento.

Esse acompanhamento permitirá mensurar os ganhos efetivos obtidos com a modernização dos sistemas de partida e fornecer subsídios para futuras expansões do projeto para outras unidades da companhia.

A adoção desse cronograma de implementação gradual possibilita concentrar inicialmente os investimentos nos ativos de maior criticidade, proporcionando resultados mais rápidos em termos de confiabilidade operacional, redução de custos de manutenção e melhoria da continuidade do abastecimento.

Ao mesmo tempo, cria-se uma base técnica para a expansão futura da solução, contribuindo para a modernização dos sistemas de bombeamento da CAEMA e para o aumento da eficiência operacional da Coordenadoria de Operações de Santa Inês.

6.6 indicadores de desempenho para avaliação pós-implantação

A implantação de novas tecnologias de partida nos conjuntos motobomba deve ser acompanhada por meio de indicadores de desempenho que permitam avaliar objetivamente os resultados obtidos e verificar a efetividade dos investimentos realizados. O monitoramento sistemático desses indicadores possibilita identificar ganhos operacionais, econômicos e de confiabilidade, além de fornecer subsídios para futuras decisões relacionadas à expansão das soluções para outras unidades operacionais da companhia.

A avaliação pós-implantação deverá considerar indicadores relacionados à manutenção, operação, disponibilidade dos equipamentos e continuidade do abastecimento, permitindo a comparação entre a situação anterior e posterior à instalação das soft starters e partidas compensadas.

6.6.1 Frequência de manutenções corretivas

Um dos principais indicadores a serem monitorados é a quantidade de ordens de serviço corretivas registradas para cada poço. A redução da frequência de intervenções representa um indicativo direto da diminuição dos esforços eletromecânicos provocados pelas partidas dos motores e da melhoria das condições operacionais dos equipamentos.

Esse indicador pode ser calculado pela Equação 1.

$$FMC = \frac{N_{OS}}{T} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

FMC = Frequência de Manutenções Corretivas;

NOS = Número de ordens de serviço registradas;

T = Período de análise.

Espera-se que os poços contemplados pelo projeto apresentem redução progressiva do número de ocorrências ao longo dos meses subsequentes à implantação.

6.6.2 Disponibilidade operacional dos poços

A disponibilidade operacional representa o percentual de tempo em que o poço permanece apto a operar em relação ao tempo total considerado.

Esse indicador pode ser calculado pela equação 2.

$$D = \frac{T_O}{T_T} \times 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

D = Disponibilidade operacional (%);

TO = Tempo em operação;

TT = Tempo total do período analisado.

A redução das falhas elétricas e mecânicas deverá resultar em aumento da disponibilidade operacional dos poços, contribuindo para maior segurança no abastecimento.

6.6.3 Tempo médio entre falhas (mtbf)

O indicador MTBF (Mean Time Between Failures) mede o intervalo médio entre falhas sucessivas de um equipamento.

Esse indicador pode ser calculado pela equação 3.

$$MTBF = \frac{T_O}{N_F}$$ (Equação 3)

Onde:

MTBF = Tempo médio entre falhas;

TO = Tempo total de operação;

NF = Número de falhas registradas.

Após a implantação dos novos sistemas de partida, espera-se aumento do MTBF, indicando maior confiabilidade dos conjuntos motobomba.

6.6.4 Tempo médio para reparo (mttr)

O MTTR (Mean Time To Repair) mede o tempo médio necessário para restabelecimento do equipamento após uma falha.

Esse indicador pode ser calculado pela equação 4.

$$MTTR = \frac{T_R}{N_F}$$ (Equação 3)

Onde:

MTTR = Tempo médio para reparo;

TR = Tempo total gasto em reparos;

NF = Número de falhas registradas.

Embora a implantação dos sistemas de partida não atue diretamente sobre o tempo de reparo, a redução das ocorrências tende a diminuir o impacto operacional associado às manutenções corretivas.

6.6.5 Ocorrências de falhas elétricas

Outro indicador importante consiste no monitoramento específico das falhas de origem elétrica, tais como:

- queima de contatores;
- atuação indevida de proteções;

- aquecimento excessivo;
- falhas em cabos e conexões;
- queima de motores elétricos.

A comparação dos registros anteriores e posteriores à implantação permitirá verificar os benefícios proporcionados pela redução dos picos de corrente de partida.

6.6.6 Continuidade do abastecimento

A melhoria da confiabilidade dos poços deve refletir diretamente na continuidade do abastecimento à população. Dessa forma, recomenda-se acompanhar indicadores relacionados a:

- número de interrupções de abastecimento;
- duração das interrupções;
- reclamações de usuários;
- necessidade de manobras emergenciais.

A redução desses eventos constitui um dos principais objetivos da modernização proposta.

6.6.7 Avaliação econômica dos resultados

Também deverá ser realizado o acompanhamento dos custos de manutenção antes e após a implantação das melhorias. A análise deve considerar:

- gastos com reposição de motores;
- substituição de contatores e componentes elétricos;
- contratação de serviços especializados;
- utilização de equipes de manutenção;
- custos associados às paralisações operacionais.

A redução desses custos permitirá quantificar o retorno do investimento realizado e demonstrar a viabilidade econômica da solução adotada.

6.6.8 Metas de desempenho

Para avaliar o sucesso da implantação, recomenda-se estabelecer metas mínimas para os principais indicadores monitorados.

Indicador	Meta Proposta

Redução das ordens de serviço	≥ 50%
Redução das falhas elétricas	≥ 60%
Redução de queima de motores	≥ 70%
Aumento da disponibilidade operacional	≥ 20%
Aumento do MTBF	≥ 30%
Redução de interrupções de abastecimento	≥ 30%

Tabela 4 – Indicadores de meta

Dessa forma, o monitoramento contínuo dos indicadores de desempenho permitirá avaliar a efetividade da implantação dos sistemas de partida propostos, fornecendo informações técnicas para a gestão dos ativos e para futuras decisões de investimento na modernização dos sistemas de bombeamento da CAEMA.

7. Produtos Técnicos Gerados

Durante a execução deste trabalho foram desenvolvidos diversos produtos técnicos que subsidiaram o diagnóstico do sistema de abastecimento de água da Coordenadoria de Operações de Santa Inês e a elaboração da proposta de modernização dos sistemas de partida dos conjuntos motobomba.

7.1 Levantamento e consolidação do histórico de manutenção

Foi elaborada uma base de dados contendo as ordens de serviço registradas nos anos de 2024 e 2025 para os poços do sistema de abastecimento de Santa Inês. Os registros foram organizados, padronizados e analisados, permitindo a identificação dos poços com maior frequência de falhas e manutenção corretiva.

7.2 Planilha de análise de criticidade dos poços

A partir dos dados coletados foi desenvolvida uma planilha técnica para quantificação das ocorrências por unidade operacional. Essa ferramenta permitiu identificar os poços P-20, P-07 e P-08 como os ativos mais críticos do sistema, fornecendo subsídios para a definição das prioridades de investimento.

7.3 Dimensionamento dos sistemas de partida

Foi realizado o dimensionamento técnico dos equipamentos necessários para substituição dos métodos de partida direta atualmente existentes. O estudo contemplou a especificação de soft-starters para os poços de maior potência e criticidade operacional e de partidas compensadas por autotransformadores para os poços de menor porte.

Além dos equipamentos principais, também foram especificados os componentes complementares necessários para garantir a operação segura dos sistemas, incluindo dispositivos de proteção, contatores, relés temporizadores e acessórios de instalação.

7.4 Orçamento técnico dos equipamentos

Foi elaborada uma planilha orçamentária contendo os custos estimados dos equipamentos e componentes necessários para implantação da solução proposta. O orçamento permitiu avaliar a viabilidade econômica do projeto e subsidiar futuras etapas de aquisição e implantação.

7.5 Análise estatística das ocorrências de manutenção

Foi realizada uma análise quantitativa das ordens de serviço, permitindo determinar a participação percentual dos poços mais críticos nas ocorrências do sistema. Os resultados demonstraram que os poços P-20, P-07 e P-08 concentram aproximadamente 46,88% das intervenções corretivas registradas no período analisado.

7.6 Proposta técnica de modernização dos sistemas de partida

Como produto final do trabalho foi elaborada uma proposta técnica para substituição gradativa dos sistemas de partida direta por tecnologias de partida suave, contemplando critérios de priorização, dimensionamento dos equipamentos, estimativa de benefícios operacionais e diretrizes para implantação gradual.

Essa proposta constitui um instrumento de apoio à tomada de decisão da CAEMA, contribuindo para a redução de falhas operacionais, aumento da confiabilidade do abastecimento e preservação dos ativos eletromecânicos do sistema.

8. Atores Envolvidos

Os atores envolvidos neste projeto foram o próprio trainee bolsista, a orientadora, o supervisor e os colaboradores da CAEMA.

O bolsista teve o papel de planejar, organizar, elaborar e executar todas as partes do projeto, realizando os levantamentos, as pesquisas, as análises e sendo um elo de ligação entre as partes envolvidas.

A orientadora, profª Drª Thatyane Pereira de Sousa, foi responsável pela orientação acadêmica de todo o projeto, realizando as correções necessárias e conduzindo a parte normativa acadêmica.

O supervisor deu todo apoio logístico e de informações necessárias à obtenção de dados que foram usados no projeto.

Os colaboradores da CAEMA, como eletromecânico e operadores de poços ajudaram bastante no fornecimento de informações técnicas e práticas dos poços e dos sistemas de partida utilizados.

9. Conclusões E Recomendações

A execução deste trabalho permitiu realizar um diagnóstico técnico detalhado dos sistemas de partida utilizados nos conjuntos motobomba dos poços da Coordenadoria de Operações de Santa Inês, identificando oportunidades concretas de melhoria capazes de aumentar a confiabilidade operacional, reduzir custos de manutenção e contribuir para a continuidade do abastecimento público de água.

A análise do parque instalado demonstrou que parte significativa dos poços ainda opera por meio de partida direta, método que, embora apresente baixo custo de implantação, submete os motores elétricos, equipamentos de manobra e sistemas hidráulicos a elevados esforços durante os transitórios de partida.

Os picos de corrente gerados nesse processo podem atingir múltiplas vezes a corrente nominal dos motores, ocasionando aquecimento excessivo dos componentes elétricos, desgaste prematuro dos dispositivos de proteção, sobrecarga dos circuitos de alimentação e maior solicitação dos transformadores e condutores da instalação.

Além dos impactos elétricos, verificou-se que as partidas bruscas também provocam esforços mecânicos e hidráulicos significativos, aumentando a incidência de vibrações, desgaste de rolamentos, danos em acoplamentos, fadiga dos componentes dos conjuntos motobomba e ocorrência de transientes hidráulicos capazes de reduzir a vida útil das tubulações e acessórios da rede de recalque.

Os resultados obtidos a partir da análise das ordens de serviço registradas nos anos de 2024 e 2025 evidenciaram que as falhas não se distribuem de forma homogênea entre os poços do sistema. Após a exclusão das ocorrências extraordinárias associadas aos poços P-17 e P-24, constatou-se que os poços P-20, P-07 e P-08 apresentam frequência de manutenção significativamente superior à média das demais unidades operacionais. Em conjunto, esses três poços concentram aproximadamente 46,88% das intervenções corretivas registradas no período analisado, demonstrando que uma parcela reduzida dos ativos responde por uma parcela substancial dos problemas operacionais observados.

A análise comparativa revelou ainda que o poço P-20 apresenta aproximadamente 140% mais ocorrências que a média dos demais poços, enquanto o P-07 apresenta cerca de 100% mais ocorrências e o P-08 aproximadamente 60% mais ocorrências. Esses resultados indicam que tais unidades constituem pontos críticos do sistema e devem receber prioridade em futuras ações de modernização e melhoria da infraestrutura eletromecânica.

Com base nesse diagnóstico, foi proposta a substituição gradual dos sistemas de partida direta por tecnologias mais adequadas às características operacionais dos poços. Para os motores de maior potência e maior criticidade operacional, recomenda-se a utilização de soft-starters dotadas de bypass integrado e proteções eletrônicas avançadas. Para os motores de menor potência, propõe-se a adoção de partidas compensadas por autotransformador, solução tecnicamente adequada e economicamente viável para essa faixa de aplicação.

A implementação dessas tecnologias proporcionará benefícios que vão além da simples redução da corrente de partida. Espera-se a diminuição dos esforços eletromecânicos aplicados aos equipamentos, a redução dos impactos hidráulicos decorrentes das partidas e paradas abruptas, o aumento da vida útil dos conjuntos motobomba, a redução da frequência de manutenção corretiva e a melhoria das condições gerais de operação do sistema.

Sob a ótica econômica, embora o investimento inicial envolva a aquisição de equipamentos e componentes complementares, os benefícios decorrentes da redução de intervenções corretivas, da diminuição de queimas de equipamentos e da maior disponibilidade operacional tendem a compensar os custos de implantação ao longo do tempo.

Além disso, a redução das paradas não programadas contribui para otimizar a utilização das equipes de manutenção, permitindo que os recursos humanos sejam direcionados para atividades preventivas e de melhoria contínua.

Do ponto de vista operacional, a proposta apresenta potencial para aumentar significativamente a confiabilidade do sistema de abastecimento de Santa Inês. A redução das falhas nos poços mais críticos resultará em maior estabilidade na produção e distribuição de água, minimizando interrupções no fornecimento e reduzindo a necessidade de manobras emergenciais para atendimento da população.

Os benefícios também se estendem ao aspecto social, uma vez que a melhoria da continuidade do abastecimento impacta diretamente a qualidade de vida da população atendida. A redução das interrupções no fornecimento de água contribui para aumentar a satisfação dos usuários, reduzir reclamações operacionais e fortalecer a imagem institucional da companhia perante a sociedade.

Dessa forma, conclui-se que a modernização dos sistemas de partida dos poços da Coordenadoria de Operações de Santa Inês constitui uma medida tecnicamente justificável, economicamente viável e operacionalmente necessária.

A implantação gradual das soluções propostas representa uma oportunidade de aumentar a confiabilidade dos ativos, reduzir custos de manutenção, preservar equipamentos estratégicos e elevar a qualidade dos serviços prestados pela CAEMA.

Por fim, recomenda-se que a metodologia empregada neste trabalho seja aplicada futuramente a outras unidades operacionais da companhia, permitindo a construção de uma política corporativa de modernização dos sistemas de acionamento de motores elétricos baseada em indicadores de desempenho, histórico de falhas e criticidade operacional.

Recomenda-se ainda a continuidade do monitoramento das ordens de serviço e dos indicadores de manutenção, de modo a possibilitar a avaliação objetiva dos resultados obtidos após a implantação das melhorias propostas.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5356-1: Transformadores de potência - Parte 1: Generalidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. (Versão corrigida 2008).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 60947-4-2: Dispositivos de manobra e comando de baixa tensão - Parte 4-2: Contatores e de partida de motores - Controladores e de partida de motores semicondutores de corrente alternada. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

FRANCHI, Claiton Moro. Acionamentos elétricos. 4. ed. São Paulo: Érica, 2008.

MAMEDE FILHO, João. Instalações elétricas industriais. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MUNDO DA ELÉTRICA. Bypass: como funciona? Quando usar? [S. l.: s. n.], [20--?]. Disponível em: https://www.mundodaeletrica.com.br/bypass-como-funciona-quando-usar/. Acesso em: 02 maio 2026.

SILVA, A. P.; SOUZA, M. R. Partida compensada em motores elétricos: análise de desempenho e aplicações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, 2019, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: CBEEL, 2019.

WEG. Manual de Motores Elétricos. Jaraguá do Sul: WEG, 2021. Disponível em: https://www.weg.net. Acesso em: 15 mai. 2026.