

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Técnico em Eletrotécnica

**Avaliação Comparativa da Eficiência Energética em Sistemas
de Bombeamento de Poços Artesianos:
Partida Direta, Soft Starter e Inversor de Frequência**

***Comparative Evaluation of Energy Efficiency in Artesian Well
Pumping Systems:
Direct Start, Soft Starter, and Frequency Inverter***

Cleber Engler Rodrigues¹

Resumo: O estudo compara o desempenho energético da partida direta, da soft-starter e do inversor de frequência em um poço artesiano do SAAE Palmital–SP, motivado pelo alto consumo específico registrado (1,46 kWh/m³). A pesquisa utilizou medições reais durante cinco dias e cálculos analíticos para avaliar o impacto de cada tecnologia no consumo e na eficiência do sistema de bombeamento. O objetivo deste estudo é comparar o comportamento elétrico e energético das três alternativas de acionamento, identificando qual tecnologia oferece o melhor potencial de economia e desempenho para sistemas de abastecimento público. A metodologia utilizada combinou medições reais realizadas durante cinco dias consecutivos de operação do poço, totalizando 744 kWh consumidos para o bombeamento de 509,4 m³ de água, com cálculos analíticos baseados em equações de rendimento, índice energético e projeções de redução no consumo. Foram também consideradas referências técnicas especializadas que apontam reduções de até 22 % no consumo de energia quando se adota controle eletrônico de velocidade. Os resultados indicam que a soft-starter reduz apenas esforços mecânicos, sem impacto significativo na economia de energia, enquanto o inversor de frequência apresenta melhor desempenho, podendo reduzir o consumo para 580,32 kWh e o índice energético para 1,14 kWh/m³, resultando em economia mensal aproximada de R\$ 1.020,00. Assim, o inversor de frequência se destaca como a solução mais eficiente, econômica e sustentável para sistemas públicos de abastecimento.

¹Técnico em Química pela ETEC Pedro Arcadia Neto, Assis/SP - cleber.rodrigues19@etec.sp.gov.br

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Palavras-chave: Eficiência Energética; Bombeamento; Inversor de Frequência; Soft-Starter; Saneamento.

Abstract: The study compares the energy performance of direct-on-line starting, soft starters, and variable frequency drives in an artesian well operated by SAAE Palmital-SP, motivated by the high specific consumption recorded (1.46 kWh/m³). The research used real measurements taken over five days and analytical calculations to assess the impact of each technology on the system's energy consumption and pumping efficiency. The objective of this study is to compare the electrical and energy behavior of the three drive alternatives, identifying which technology offers the best potential for savings and performance in public water supply systems. The methodology combined real measurements collected during five consecutive days of operation, totaling 744 kWh consumed for pumping 509.4 m³ of water, along with analytical calculations based on efficiency equations, energy indices, and projected reductions in consumption. Specialized technical references indicating energy reductions of up to 22% with the adoption of electronic speed control were also considered. The results indicate that the soft starter only reduces mechanical stress, with no significant impact on energy savings, whereas the variable frequency drive shows superior performance, potentially reducing consumption to 580.32 kWh and the energy index to 1.14 kWh/m³, resulting in an estimated monthly savings of R\$ 1,020.00. Thus, the variable frequency drive stands out as the most efficient, economical, and sustainable solution for public water supply systems.

Keywords: Energy Efficiency; Water Pumping; Variable Frequency Drive; Soft-Starter; Public Sanitation.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de bombeamento de água representam uma parcela significativa do consumo energético em autarquias de saneamento, especialmente em municípios que dependem de poços artesianos para garantir o abastecimento público. O desempenho desses sistemas está diretamente relacionado ao tipo de acionamento empregado nos motores elétricos, que influencia fatores como consumo de energia, desgaste mecânico e custos operacionais.

No caso analisado, observou-se um elevado consumo específico em um sistema operando em partida direta, método tradicionalmente utilizado em instalações de pequeno e médio porte. Essa forma de acionamento, embora simples e de baixo custo inicial, impõe altos picos de corrente e esforços mecânicos ao conjunto motobomba, comprometendo o rendimento global e resultando em valores de desempenho acima dos recomendados pela literatura técnica para sistemas bem dimensionados.

A necessidade de reduzir custos operacionais e promover o uso eficiente da energia elétrica torna essencial a avaliação de alternativas tecnológicas que melhorem o desempenho dos sistemas de bombeamento. Em autarquias municipais, onde a energia elétrica representa parcela expressiva do orçamento, identificar soluções que elevem a eficiência e reduzam desperdícios contribui diretamente para uma gestão mais sustentável do recurso hídrico e financeiro.

Diante desse cenário, o objetivo deste artigo é comparar o comportamento elétrico, mecânico e energético das tecnologias de partida direta, soft-starter e inversor de frequência, identificando qual delas oferece maior potencial de economia e melhor adequação para sistemas públicos de abastecimento de água. A análise busca fornecer subsídios técnicos para decisões de modernização do sistema de bombeamento operado pelo SAAE Palmital-SP.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

A metodologia adotada baseou-se na coleta de dados reais de consumo e volume bombeado ao longo de cinco dias consecutivos de operação do poço artesiano, complementada por análises técnicas e cálculos de eficiência energética com base em referências especializadas. O artigo está organizado da seguinte forma: o Referencial Teórico apresenta conceitos fundamentais e características das tecnologias de acionamento; a Metodologia descreve os procedimentos adotados; os Resultados e Discussão abordam os cálculos, projeções e comparações; e, por fim, as Considerações Finais sintetizam as conclusões e implicações práticas do estudo.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

Este capítulo apresenta uma análise comparativa das principais tecnologias de acionamento aplicadas em sistemas de bombeamento de poços artesianos, destacando seus efeitos sobre o consumo de energia, a eficiência operacional e a durabilidade dos equipamentos. O uso racional da energia elétrica é fundamental para reduzir desperdícios e custos, sendo as tecnologias de controle eletrônico importantes aliadas nesse processo (FERREIRA; et al, 2008).

A busca por maior eficiência tem levado os serviços públicos de saneamento a substituir a partida direta por soluções eletrônicas mais modernas, como a Soft-Starter e o Inversor de Frequência. Conforme Salvadori, Campos e Dal Forno (2012), compreender o comportamento dos motores elétricos sob diferentes condições de partida é essencial para identificar perdas e otimizar o desempenho.

Assim, são analisados três métodos de acionamento: a partida direta, caracterizada pela simplicidade e baixo custo; a Soft-Starter, que controla eletronicamente a tensão de partida; e o Inversor de Frequência, capaz de ajustar a rotação do motor conforme a demanda do sistema, promovendo eficiência e sustentabilidade no bombeamento de água.

2.2 Partida direta

A partida direta é um método simples e de baixo custo para acionar motores elétricos, muito utilizado em poços artesianos e pequenos sistemas de bombeamento, por sua facilidade de instalação e manutenção. Contudo, esse tipo de acionamento provoca correntes de partida muito elevadas entre cinco e nove vezes a nominal

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

causando maior esforço mecânico, desgaste acelerado do conjunto motobomba e aumento no consumo de energia (OLIVEIRA, 2011); (ESTEVAN 2017).

2.3 Soft-Starter

A soft-starter é uma alternativa moderna à partida direta, pois controla gradualmente a tensão aplicada ao motor, evitando picos de corrente e reduzindo esforços elétricos e mecânicos no conjunto motobomba. Esse acionamento, realizado por tiristores, proporciona partidas suaves, diminuindo vibrações, choques mecânicos e sobrecargas, o que contribui para aumentar a vida útil do motor e a confiabilidade do sistema, especialmente em poços artesianos com partidas frequentes (VILAÇA, 2022); (ROCHA, 2025).

2.4 Inversor de Frequência

O inversor de frequência é a tecnologia mais eficiente para acionar motores em sistemas de bombeamento, pois converte e modula a energia elétrica de forma a controlar simultaneamente a tensão e a frequência, permitindo ajustar a velocidade do motor conforme a demanda. Sua estrutura é composta por retificador, barramento CC, inversor e circuito de controle possibilita partidas suaves, estabilidade de torque e redução de esforços mecânicos e térmicos (ROCHA, 2025).

2.5 Análise Comparativa das Tecnologias de Acionamento

A análise comparativa entre a partida direta, a soft-starter e o inversor de frequência evidencia diferenças expressivas em desempenho, eficiência energética e impacto operacional. Cada tecnologia apresenta características próprias que

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

influenciam diretamente o consumo elétrico, a durabilidade dos componentes e a confiabilidade do sistema. Compreender essas distinções é essencial para a escolha adequada do tipo de acionamento, sobretudo em instalações de bombeamento contínuo operadas por autarquias municipais de saneamento.

A partida direta continua presente em sistemas de pequeno porte principalmente pelo custo inicial reduzido. No entanto, segundo, Oliveira (2011) e Estevam (2017), os esforços elétricos e mecânicos associados à energização direta aumentam o desgaste do conjunto motobomba e reduzem a eficiência operacional. Além disso, esse método não permite controle de velocidade, levando o motor a operar continuamente em rotação nominal, o que pode resultar em desperdício de energia.

De acordo com Oliveira e colaboradores (2011), as correntes de partida são elevadas, acentuando o estresse imposto ao sistema. A soft-starter, conforme observam Vilaça (2022) e Gomes (2009), representa um avanço significativo em relação à partida direta, pois suaviza a aceleração e reduz as solicitações elétricas e mecânicas durante o acionamento. O controle eletrônico da tensão permite menor impacto sobre o sistema elétrico e maior preservação dos motores.

O inversor de frequência, por sua vez, constitui a alternativa mais eficiente e completa entre os métodos de acionamento. De acordo com Cherem (2016) e Rocha (2025), esse equipamento ajusta continuamente a velocidade de rotação do motor conforme a demanda de vazão, reduzindo o consumo de energia em até 22% e garantindo maior controle de pressão e estabilidade hidráulica. Além da economia de energia, o inversor proporciona menores impactos mecânicos e elétricos, prolongando a vida útil do conjunto motobomba e aumentando a confiabilidade dos sistemas de abastecimento.

Dessa forma, a análise integrada confirma que a partida direta é indicada apenas para aplicações de pequeno porte e baixo custo; a soft-starter é recomendada para instalações que necessitam de proteção e suavidade de partida; e o inversor de frequência representa a opção mais adequada para operações contínuas e de alta eficiência. Essa hierarquia tecnológica reforça a importância da modernização dos

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

sistemas de bombeamento e da adoção de dispositivos que promovam o uso racional e sustentável da energia elétrica.

Tabela 1: Comparação entre tecnologias de acionamento

Tecnologia	Vantagens	Limitações	Classificação
Partida Direta (PD)	Baixo custo inicial; Simplicidade de instalação	Correntes de 5–9x In; Maior desgaste; Sem controle de velocidade	Básica, pouco eficiente
Soft Starter (SS)	Partida suave; Reduz estresse mecânico e elétrico; Prolonga vida útil do motor	Não reduz consumo em regime contínuo; Custo maior que a PD	Intermediária, foco em proteção
Inversor de Frequência (VFD)	Economia até 22%; Controle de velocidade; Confiabilidade; Atende normas de energia	Maior custo inicial; Requer conhecimento técnico	Avançada, mais eficiente

Fonte: Elaboração própria com base em estudos de Cherem, 2016 e Oliveira; et al, 2011.

A tabela 1 mostra que, embora a partida direta apresente o menor investimento inicial, apresenta os maiores impactos operacionais e os menores índices de eficiência. A Soft Starter surge como alternativa intermediária, oferecendo proteção e confiabilidade, mas sem ganhos energéticos diretos. O Inversor de Frequência, apesar do custo inicial elevado, garante expressiva economia de energia e maior durabilidade dos equipamentos, justificando-se como a tecnologia mais indicada para modernização de sistemas de abastecimento.

2.6 Descrição do Caso Estudado: Poço Artesiano em Palmital–SP

O estudo foi desenvolvido a partir da análise de um poço artesiano operado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Palmital–SP, localizado no interior do estado de São Paulo. Esse poço foi selecionado como

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

unidade representativa para avaliação do acionamento em partida direta (PD), ainda que represente apenas uma pequena parcela do sistema total de abastecimento, composto por mais de trinta poços artesianos em operação. A escolha dessa unidade justifica-se pela possibilidade de observar, de maneira prática, as limitações do método tradicional de acionamento e projetar cenários de modernização aplicáveis ao conjunto do sistema.

Durante a operação em partida direta, o motor recebe imediatamente toda a tensão da rede elétrica, ocasionando correntes de partida muito altas, conforme Oliveira e colaboradores (2011). Esse comportamento resulta em sobrecarga para cabos, disjuntores e contadores, além de acelerar o desgaste do motor, aumentando o risco de falhas e a necessidade de manutenções. Além disso, como destacado por Estevam (2017), a partida suave evita torções mecânicas nos rotores, preservando a integridade do conjunto. Assim, quando o motor é acionado em partida direta, sem controle gradual de velocidade, o conjunto motobomba fica sujeito a esforços elétricos e mecânicos elevados, o que acelera o desgaste dos componentes e contribui para a redução da vida útil dos equipamentos.

A ausência de controle de velocidade faz com que o motor opere continuamente em rotação nominal, mesmo em situações em que a demanda poderia ser atendida com menor esforço energético o que compromete a eficiência global do sistema.

As medições utilizadas neste estudo foram realizadas no período de 01 a 05 de setembro de 2025, com o objetivo de registrar o desempenho real do poço em operação contínua. Nesse intervalo, foram bombeados 509,40 m³ de água, com consumo total de 744 kWh, resultando em um índice de eficiência energética de 1,46 kWh / m³. Esse valor indica que, para cada metro cúbico de água produzido, o sistema consumiu, em média, 1,46 kWh de energia elétrica, valor considerado elevado diante das possibilidades de otimização oferecidas por tecnologias mais modernas.

Portanto, a descrição do caso evidencia que a partida direta, amplamente utilizada em sistemas convencionais, apresenta desvantagens significativas relacionadas ao consumo de energia e à durabilidade dos equipamentos. Essa

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

constatação fundamenta a análise comparativa entre as tecnologias Soft-Starter e Inversor de Frequência, abordada nas seções seguintes, sob a ótica da eficiência energética e da modernização dos sistemas de bombeamento.

2.7 Materiais e Métodos

A metodologia adotada neste estudo baseou-se em uma abordagem quantitativa, utilizando dados reais de operação do poço artesiano analisado e projeções fundamentadas em referências técnicas. O objetivo foi comparar o desempenho do acionamento em partida direta (PD) com cenários de utilização de Soft-Starter (SS) e Inversor de Frequência (VFD), de modo a identificar ganhos potenciais em eficiência energética e economia financeira.

As medições foram realizadas entre 01 e 05 de setembro de 2025, período em que o sistema operou em regime contínuo com partida direta. Nesse intervalo, registrou-se um consumo total de 744 kWh e um volume bombeado de 509,40 m³, resultando em um índice de eficiência energética de 1,46 kWh / m³. O índice de eficiência energética foi obtido pela razão entre o consumo de energia elétrica e o volume de água bombeado, conforme a Equação (1):

$$I_{ee} = E_c \div V_b$$

Equação (1) – Cálculo do índice de eficiência energética

onde:

I_{ee} — índice de eficiência energética (kWh/m³);

E_c — energia elétrica consumida (kWh);

V_b — volume bombeado (m³).

Com base em Cherem (2016), estimou-se a aplicação de um inversor de frequência, tecnologia que pode reduzir significativamente o consumo energético em sistemas de bombeamento, conforme a Equação (2):”

$$CP = Ca * (1 - Tr)$$

Equação (2) – Cálculo do consumo projetado com aplicação de taxa de redução

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

onde:

C_p — consumo projetado (kWh);

C_a — consumo atual (kWh);

Tr — taxa de redução (%).

Aplicando essa taxa ao consumo registrado, o valor projetado seria de 580,32 kWh para o mesmo período, o que corresponderia a um índice de eficiência de 1,14 kWh / m³.

A análise econômica considerou a fatura real de setembro de 2025, no valor de R\$ 1,0422 por kWh, para o cálculo dos custos operacionais. Nesse cenário, o custo de operação em partida direta (744 kWh) foi estimado em R\$ 775.39, conforme a Equação (3):”

$$C = E * T$$

Equação (3) – Cálculo do custo total de energia

onde:

C — custo total (R\$);

E — consumo de energia (kWh);

T — tarifa de energia elétrica (R\$/kWh).

Enquanto no cenário com VFD (580,32 kWh) o custo cairia para R\$ 604,80, representando uma economia de R\$ 170,59 em cinco dias. Em escala mensal, a economia chegaria a R\$ 1.023,54, podendo ser ainda maior durante períodos de bandeira tarifária vermelha – patamar 1A Soft-Starter também foi considerada, mas seus benefícios são principalmente mecânicos, diferentemente do inversor de frequência, cujo controle dinâmico de velocidade permite ganhos energéticos efetivos. Seus benefícios foram avaliados de forma qualitativa, especialmente quanto à redução de esforços mecânicos, prolongamento da vida útil dos equipamentos e diminuição dos custos de manutenção preventiva.

Portanto, a metodologia adotada combinou medições práticas com projeções baseadas em literatura técnica, permitindo não apenas avaliar o desempenho atual do sistema em partida direta, mas também estimar os ganhos técnicos e econômicos

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

reais associados à modernização com Soft-Starter e, sobretudo, com Inversor de Frequência, aplicáveis aos sistemas de abastecimento de água do SAAE Palmital-SP.

2.8 Resultados, Discussão

As medições realizadas entre 01 e 05 de setembro de 2025 permitiram avaliar o desempenho energético do poço artesiano operando em partida direta (PD) e projetar cenários de modernização com Soft-Starter (SS) e Inversor de Frequência (VFD). O levantamento indicou consumo total de 744 kWh para um volume bombeado de 509,40 m³, resultando em um índice de eficiência energética de 1,46kWh/m³.

Com base em Cherem (2016), a aplicação de inversores de frequência em sistemas de bombeamento pode reduzir o consumo elétrico em até 22 %, sem comprometer a vazão. Para representar diferentes níveis de desempenho, foram elaboradas projeções progressivas de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % e 22 %, tomando como base o consumo real medido. A Tabela 2 apresenta os resultados consolidados, incluindo o cenário atual e as projeções de economia para cada faixa percentual.

Tabela 2 – Projeções de economia de energia para diferentes percentuais de redução

CENÁRIO	REDUÇÃO ESTIMADA (%)	CONSUMO PROJETADO (KWH)	ECONOMIA (KWH)	CUSTO ESTIMADO (R\$)	ECONOMIA (R\$)
PD (ATUAL)	0	744,0	–	775,39	–
VARIAÇÃO 1	5	706,8	37,2	736,62	38,77
VARIAÇÃO 2	10	669,6	74,4	697,85	77,54
VARIAÇÃO 3	15	632,4	111,6	659,08	116,31
VARIAÇÃO 4	20	595,2	148,8	620,31	155,08
VARIAÇÃO 5	22	580,3	163,6	604,78	170,61

Fonte: Elaboração própria com base em dados do SAAE (2025) e em Cherem (2016). Tarifa considerada: R\$ 1,0422/kWh.

A fatura de setembro de 2025 indicou tarifa de R\$ 1,0422/kWh, já incluindo impostos e bandeiras tarifárias.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Mesmo em cenários conservadores, observa-se que a adoção do inversor de frequência resulta em economias expressivas, conforme indicado pela literatura, a Soft-Starter oferece benefícios mecânicos e de confiabilidade.

Conclui-se que a Partida Direta apresenta menor desempenho e maior custo operacional; a Soft-Starter contribui para o prolongamento da vida útil dos equipamentos; e o Inversor de Frequência reúne os melhores resultados, conciliando eficiência, economia e sustentabilidade no abastecimento de água do SAAE Palmital.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos**3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo avaliou a eficiência energética do sistema de bombeamento operado em partida direta no SAAE de Palmital–SP, identificando baixo desempenho (1,46 kWh/m³) e alto estresse elétrico e mecânico devido às correntes de partida elevadas. A soft starter mostrou-se útil ao reduzir esses esforços, aumentando a confiabilidade e a vida útil dos equipamentos, embora ofereça ganhos apenas mecânicos e de manutenção. O inversor de frequência apresentou os melhores resultados, reduzindo o índice energético para 1,14 kWh/m³ e proporcionando economia mensal superior a R\$ 1.023,00, além de atender às normas de qualidade de energia e garantir maior sustentabilidade ao sistema. Assim, o inversor de frequência é a alternativa mais recomendada para modernizar o sistema de bombeamento, promovendo economia financeira e maior eficiência operacional.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEREM, M. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento: estudo de caso em estação elevatória.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/330/1/Lucas%20Braga%20Cherem%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso: 6 nov. 2025.

ESTEVAM, M. A. **Análise de desempenho de bombas hidráulicas operando com rotores de disco para diferentes concentrações de polpa.** 2017. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

FERREIRA, R. A.; et al. **Metodologia para a Utilização de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento sob o Enfoque da Eficiência Energética.** SBSE – Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belo Horizonte, 2008.

GOMES, H. P. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento: análise econômica de projetos.** 2. ed. João Pessoa: Editora Universitária–UFPB, 2009.

OLIVEIRA, J. B.; et al. **Aplicação de soft-start e conversores de frequência no acionamento de motores assíncronos.** In: SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2011, Resende. Anais [...]. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2011.

ROCHA, M. M. **Ganho de eficiência energética em estações de bombeamento de água: uma revisão.** Redenção: Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB, 2025.

SALVADORI, F; CAMPOS, M; DAL FORNO, R. H. **Estudo comparativo entre o acionamento de motores de indução trifásicos, com Soft-Starter e Inversor de Frequência.** Projeto de Iniciação Científica – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí, 2012.

VILAÇA, A. L. A. **Sistemas eletrônicos de partidas de motores elétricos e seus efeitos sobre a qualidade da energia elétrica.** Uberlândia: Faculdade Pitágoras, 2022. 32 p.