

## **638 - Regulador Baixa Tensão / Baixa Tensão, móvel para uso nas instalações operacionais de Água e Esgoto com problemas de qualidade de energia**

**Rodrigo Masayuki Yamano** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) – Analista de Saneamento na Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. Trabalha na Gerência de Suporte à Manutenção Eletromecânica da Superintendência Sul.

**Leandro Pereira dos Santos** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Eletricista pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBH) – Analista de Saneamento na Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. Trabalha na Gerência de Suporte à Manutenção Eletromecânica da Superintendência Norte.

**Marcos Cesar de Souza Brito** <sup>(3)</sup>

Engenheiro Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC) - Especialista em Gestão de Ferrovia pela Faculdade Santo Agostinho – Técnico em Eletrotécnica pela Escola Técnica Federal de Sergipe – Assistente de Saneamento na Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. Trabalha na Gerência da Divisão de Manutenção Eletromecânica da USA - Superintendência Sul.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: 4ª Avenida, 420, Centro Administrativo da Bahia - CAB, Salvador, Bahia – CEP: 41745-002 – Brasil - Tel.: +55 (71) 3372-4816 - [rodrigo.yamano@embasa.ba.gov.br](mailto:rodrigo.yamano@embasa.ba.gov.br)

### **RESUMO**

Este trabalho avalia a viabilidade da utilização de um regulador de tensão móvel e portátil, com capacidade de entrada e saída de 220/380 Vca (voltagem corrente alternada), para a estabilização da tensão em unidades operacionais críticas, frequentemente afetadas por problemas de fornecimento de energia elétrica. No contexto dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, as estações de bombeamento, dispersas geograficamente ao longo das áreas de serviço, estão frequentemente localizadas a grandes distâncias dos alimentadores e subestações de energia. Esta condição as torna particularmente vulneráveis a falhas em reguladores de média tensão e a sobrecargas no sistema elétrico, comprometendo a continuidade operacional.

A implementação do regulador de tensão móvel e portátil visa garantir a operação ininterrupta dessas instalações essenciais, minimizando os impactos adversos decorrentes de falhas prolongadas na qualidade do fornecimento de energia. A análise proposta considerará os benefícios técnicos e econômicos da tecnologia, sua aplicabilidade em cenários reais e os potenciais ganhos operacionais para o setor de saneamento.

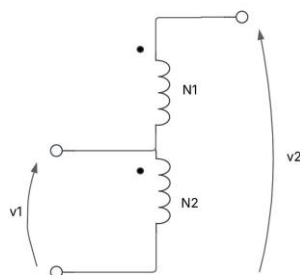
**PALAVRAS-CHAVE:** Regulador de Tensão, Qualidade de Energia, Manutenção Eletromecânica, Disponibilidade Operacional.

### **INTRODUÇÃO**

Um regulador de tensão é um dispositivo projetado para manter a tensão em uma rede de distribuição, seja urbana ou rural, dentro de limites especificados, mesmo quando ocorrem variações na tensão. (MAMEDE, 2013).

Os reguladores de tensão utilizados em redes de distribuição geralmente são compostos por autotransformadores, dispositivos que utilizam um único enrolamento tanto para o primário quanto para o secundário (SADIKU, 2013), os quais são acoplados magneticamente. Essa configuração permite que o autotransformador funcione como elevador ou abaixador de tensão.

Um autotransformador elevador é aquele que eleva a tensão de entrada conforme Figura 1:



**Figura 1: Autotransformador elevador ideal**  
**Produção própria**

$$v1/v2 = N1/(N1+N2)$$

Equação (1)

v1: Tensão de entrada em Volts (V);

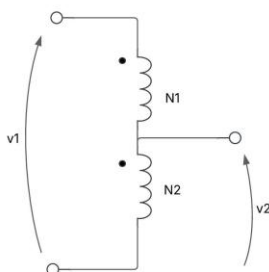
v2: Tensão de saída em Volts (V);

N1: Quantidade de Espiras;

N2: Quantidade de Espiras;

Onde a tensão de entrada v1 se relaciona com a tensão de saída v2 através da relação da quantidade de espiras N1 e N2. Pela equação (1), temos que a tensão de saída v2 será sempre maior que a tensão de entrada v1.

Um autotransformador abaixador é aquele que abaixa a tensão de entrada conforme Figura 2:



**Figura 2: Autotransformador abaixador ideal**  
**Produção própria**

$$v1/v2 = (N1+N2) / N2$$

Equação (2)

v1: Tensão de entrada em Volts (V);

v2: Tensão de saída em Volts (V);

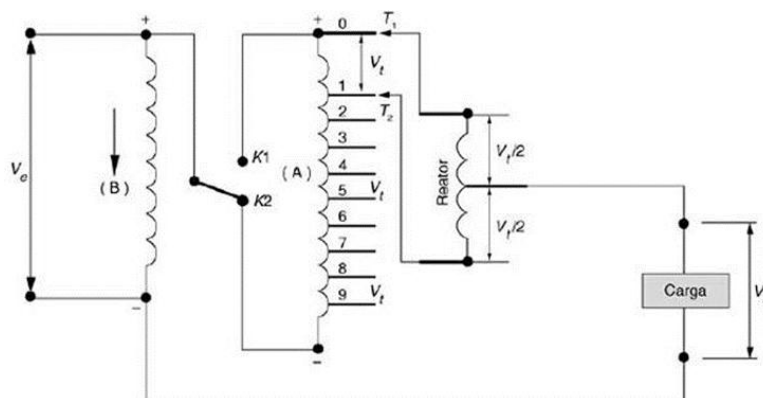
N1: Quantidade de Espiras;

N2: Quantidade de Espiras;

Onde a tensão de entrada v1 se relaciona com a tensão de saída v2 através da relação da quantidade de espiras N1 e N2. Pela equação (2), temos que a tensão de saída v2 será sempre menor que a tensão de entrada v1.

Os reguladores para rede de distribuição utilizados pelas concessionárias de energia são projetados com saída regulável de acordo com o diagrama de funcionamento básico da Figura 3. Estes equipamentos possuem diversos TAP's (derivações) na bobina secundária possibilitando alterar a relação de transformação das espiras e consequentemente a tensão de saída.

A chave com duas posições com terminais K1 e K2 da Figura 3 é responsável pela elevação ou redução da tensão nos terminais da carga. Sensores de tensão e corrente instalados no lado secundário em conjunto com a placa de controle realizam a comutação automática entre os TAP's, variando a entrada do reator de modo a manter a tensão na carga constante.



**Figura 3: Esquema básico de um Regulador de tensão**  
MAMEDE, J.F., 2013

As concessionárias de energia elétrica instalam reguladores de tensão nas redes de média tensão, ao longo dos alimentadores de distribuição, para assegurar a manutenção da tensão dentro dos limites especificados.

Conforme ilustrado na Figura 4, essas instalações fixas são aplicadas em sistemas de distribuição nas classes de tensão 15 a 34,5 kV. Embora projetados para serem robustos, esses equipamentos eletromecânicos, com componentes cujo funcionamento é dinâmico, estão sujeitos a falhas operacionais. A manutenção corretiva é de responsabilidade exclusiva da concessionária e exige mão de obra altamente capacitada e qualificada, devido à classe de tensão envolvida.



**Figura 4: Regulador de tensão instalado na rede de distribuição**  
<https://meshengenharia.com/2023/12/19/regulador-de-tensao/>

As instalações operacionais de água e esgoto da EMBASA são compostas por conjuntos motobombas que funcionam através da energia elétrica disponibilizado pela Concessionária de Energia.

As empresas de saneamento ao contrário de uma planta industrial onde todos os equipamentos estão localizados em um único local, possuem seu parque de produção de forma descentralizada de modo que as instalações operacionais estão afastadas umas das outras e da Estação de Tratamento de Água ou Estação de Tratamento de Esgoto.

Com essa topologia de operação, as unidades operacionais atendidas em baixa tensão e mais afastadas dos centros urbanos são mais suscetíveis a problemas de qualidade de energia como subtensão e desequilíbrio de tensão.

Destaca-se também que instalações localizadas em regiões turísticas que recebem população flutuante sofrem com a qualidade de energia nos períodos em que rede é sobrecarregada (eventos sazonais e periódicos), resultando em piora na qualidade de energia distribuída.

É fato que esses distúrbios no fornecimento de energia podem sensibilizar o relé de proteção de falta de fase / subtensão / desequilíbrio de tensão e as proteções internas dos drives como Inversores e Soft Starters, provocando o desarme automático da Instalação. Nesta situação os equipamentos ficam impedidos de serem acionados até que a rede normalize ocasionando desabastecimento de água ou extravasamento de esgoto.

Em certas ocasiões, os problemas de qualidade de energia persistem por horas, e em alguns casos, por dias, até serem resolvidos.

Nas estações elevatórias de esgoto equipados com geradores de emergência, a operação contínua desses geradores, quando a rede elétrica apresenta tensão inadequada, é uma preocupação significativa. Esses geradores, projetados para uso temporário, do tipo stand-by, sofrem desgaste mecânico e maior risco de falhas quando operados em regime contínuo.

Frequentemente, em cenários de contingência generalizada, a concessionária não consegue disponibilizar um técnico no tempo necessário para evitar problemas como desabastecimento de água ou extravasamento de esgoto em estações elevatórias.

Embora uma unidade operacional possa, em certas situações, funcionar sob níveis precários de tensão, tal operação não é recomendável. Níveis críticos de subtensão e desequilíbrio de tensão provocam aquecimento e aumento da vibração nos motores elétricos, reduzindo drasticamente sua vida útil.

Além disso, o desequilíbrio de tensão pode danificar componentes eletrônicos mais sensíveis, como fontes chaveadas, nobreaks, relés eletrônicos e controladores resultando na parada da unidade.

## OBJETIVOS

Este trabalho propõe uma alternativa para os problemas de energia que afetam sistematicamente as instalações operacionais da EMBASA.

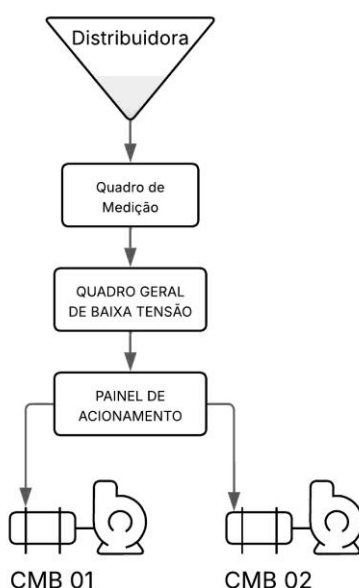
Para mitigar esses problemas, sugere-se testar um regulador de tensão móvel, com entrada e saída em baixa tensão, para atender de forma pontual e periódica as unidades com problemas de qualidade de energia.

Trata-se de um regulador de pequeno porte que, diferentemente dos reguladores de média tensão de instalação fixa utilizados pelas concessionárias, pode ser instalado e transportado pela equipe de manutenção da EMBASA em um veículo utilitário, conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6.

Dessa forma, a EMBASA poderá atuar de forma planejada, restabelecendo a operação de qualquer instalação afetada por problemas na qualidade da energia elétrica. O equipamento proposto foi dimensionado para atender motores de até 50 CV, abrangendo mais de 90% das instalações de baixa tensão.

## METODOLOGIA

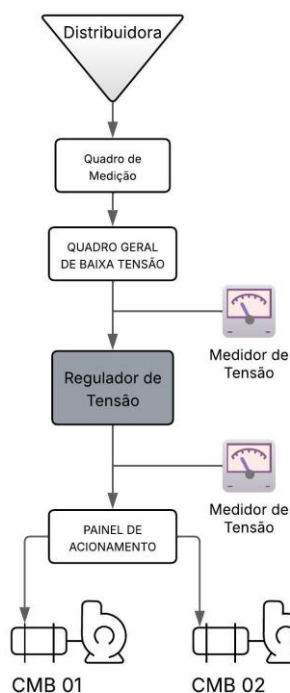
Para este trabalho foi utilizado o método experimental consistindo no posicionamento do regulador de tensão entre o quadro geral de baixa tensão e o painel de acionamento dos conjuntos motos-bombas. A Figura 5 representa o esquema básico simplificado de uma instalação operacional de água e esgoto atendidos na baixa tensão.



**Figura 5: Esquema básico de uma instalação operacional**  
**Produção própria**

**Legenda: CMB – Conjunto Moto Bomba**

Neste procedimento serão medidas as tensões de entrada e saída do regulador para análise comparativa, nível de regulação e performance do equipamento conforme configuração de instalação da Figura 6.



**Figura 6: Posicionamento de Regulador de Tensão na instalação operacional**  
**Produção própria**  
**Legenda: CMB – Conjunto Moto Bomba**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados três testes em campo com o equipamento.

Teste 01:

Local: Captação de Cações, Figuras 7 e 8.



**Figura 7: Transporte do regulador BT/BT**  
**Produção própria**





**Figura 8: Instalação do regulador BT/BT**
  
**Produção própria**

Na captação de Cações pertencente à unidade regional de Santo Antônio de Jesus o equipamento não operou de forma esperada. Como o equipamento estava muito próximo ao inversor de frequência de 50 CV, existe a suspeita de que os harmônicos e sinais eletromagnéticos gerados pelo inversor que não tinha filtro de entrada provocaram interferências no circuito de controle do regulador.

Ressalta-se que os harmônicos na rede elétrica podem provocar interferências nos circuitos eletrônicos e afetar o seu funcionamento.

Teste 02:

Local: Captação de Ouriçangas, Figuras 9 e 10.

Na captação de Ouriçangas Cações, o equipamento operou de forma esperada. As tensões medidas na entrada e saída foram:

Entrada:

$V_{an} = 211,8 \text{ Vac}_{rms}$   $V_{bn} = 218,4 \text{ Vac}_{rms}$   $V_{cn} = 220,6 \text{ Vac}_{rms}$

Fator de Desequilíbrio de tensão: 4,05%, fora do limite estabelecido pelo módulo 08 da Prodist, tabela 1. Para a instalação em teste, o limite estabelecido em norma seria de 3,0%.

**Tabela 1 - Limites para os desequilíbrios de tensão.**

Indicador	Tensão nominal	
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$
FD95%	3,0%	2,0%

Legenda: FD – fator de desequilíbrio.

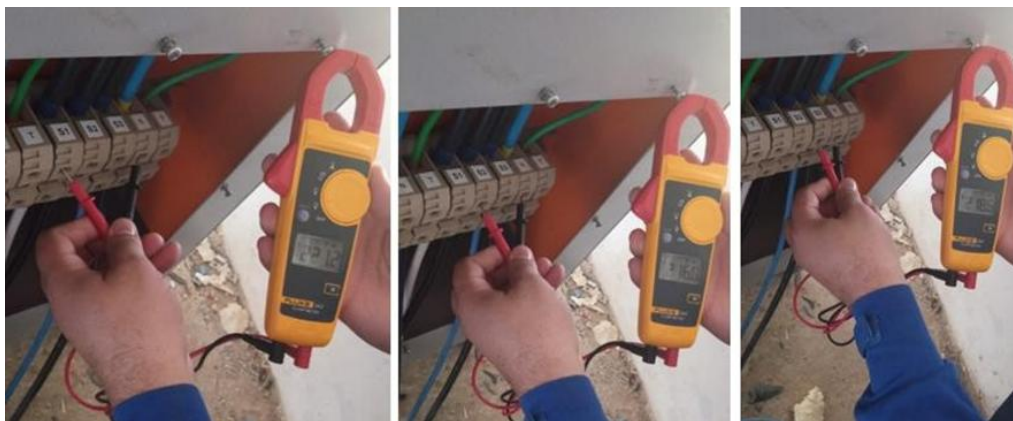


**Figura 9: Medições na entrada o Regulador**
  
**Produção própria**

Saída:

$V_{an} = 221,2 \text{ Vac}_{rms}$   $V_{bn} = 216,4 \text{ Vac}_{rms}$   $V_{cn} = 218,6 \text{ Vac}_{rms}$

Fator de Desequilíbrio de tensão: 2,38% dentro do limite estabelecido pelo módulo 08 da Prodist, tabela 1.



**Figura 10: Medições na saída o Regulador  
Produção própria**

Teste 03:

Local: Captação de Rio Real, Figura 11



**Figura 11: Regulador BT/BT (P1 Rio Real)  
Produção própria**

Na captação de Rio Real, o regulador de tensão operou de forma esperada. As tensões medidas na entrada foram:



**Figura 12: Medições na entrada o Regulador  
Produção própria**

$V_{ab} = 398,7$  Vac\_rms  $V_{ac} = 406,6$  Vac\_rms  $V_{bc} = 393,1$  Vac\_rms

Fator de Desequilíbrio de tensão: 3,38%, fora do limite estabelecido pelo módulo 08 da Prodist, tabela 1 cujo limite estabelecido em norma seria de 3%.



**Figura 13: Medições na saída o Regulador  
Produção própria**

Saída:

$V_{an} = 368,8$  Vac\_rms  $V_{bn} = 378,8$  Vac\_rms  $V_{cn} = 372,2$  Vac\_rms

Fator de Desequilíbrio de tensão: 2,68% dentro do limite estabelecido pelo módulo 08 da Prodist, tabela 1.

Observa-se que a referida instalação apresentava sobre tensão fora dos limites considerados adequados pela Norma Prodist, tabela 2, provocando atuação da proteção da Soft starter por sobretensão.

Destaca-se que as bombas operam em função do sistema de controle e força contidos no painel de acionamento. Este painel é responsável pelo controle, proteção e acionamento das bombas e caso haja uma sobre carga na rede ou problemas de qualidade, as proteções internas serão sensibilizadas e desligarão os equipamentos.

**Tabela 2 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220).**

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399) / (202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350 \text{ ou } 399 < TL \leq 403) / (191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403) / (TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

Legenda: TL – tensão de leitura.

Vale destacar que a intermitência na operação do sistema/instalação não é desejável pois os sistemas de abastecimento de água precisam de continuidade operacional para estabelecer níveis adequados de pressão e vazão da rede adutora e distribuidora.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O regulador de tensão é um equipamento utilizado pelas concessionárias de energia elétrica para estabilizar a tensão de fornecimento, garantindo que ela permaneça em níveis adequados para os clientes.

Este trabalho propõe o aproveitamento dessa tecnologia, já incorporada e consolidada nas empresas do setor elétrico, adaptando-a para um formato móvel e portátil. O objetivo é ampliar seu uso em instalações operacionais de água e esgoto de empresas de saneamento, que frequentemente ficam inoperantes devido à baixa qualidade do fornecimento de energia.

O equipamento, atualmente em fase de testes, tem atendido às expectativas e demonstra potencial para ser utilizado em situações de precarização do fornecimento de energia, tanto de forma contínua quanto pontual. Essa proposta visa solucionar um problema recorrente nas instalações operacionais da EMBASA, especialmente nas unidades situadas no interior da Bahia, onde a qualidade da energia frequentemente se apresenta em níveis críticos.



Oportunidades de melhoria no projeto do regulador de tensão para aplicação em sistemas de saneamento:

- Otimizar os espaços internos para a redução do tamanho para facilitar o transporte;
- Incluir olhais de suspensão nas arestas superiores para facilitar o carregamento e o descarregamento do equipamento;
- Aumentar o grau de proteção para garantir maior confiabilidade em ambientes externos;
- Colocar sinalização dos TAP's (derivações) para verificar funcionamento do equipamento;
- Avaliar viabilidade de substituição dos contadores eletromecânicos convencionais por relés de estado sólido para aumentar o número de ciclos de operação e MTBF (tempo médio entre falhas) do sistema de comutação;
- Melhorar a conexão dos terminais para deixá-los mais firmes e seguros;
- Implementar proteção e sinalização contra operações sucessivas e sobreaquecimento;
- Diferenciar de forma clara a sinalização de by-pass e posição neutra;
- Incluir filtro de harmônicos na entrada do regulador afim de evitar possíveis interferências no sistema de controle;
- Sinalizar falha nos ventiladores e intertravamento com o equipamento;
- Aplicar verniz de proteção classe 3C2 ou 3C3 nas placas de controle.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FILHO, J.M. *Manual de Equipamentos Elétricos*. 4 ed. Rio de Janeiro: Travessa do Ouvidor, 11. 2013, 686 p.

SADIKU, M.M.O. *Fundamentos de Circuitos Elétricos*. 5 ed. Porto Alegre: Av. Jerônimo de Ornelas, 670, Santana, 670. 2013, 896 p.

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, revisão 11, 89 p.