



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

RENATO OLIVEIRA GUIMARÃES	ANTONIO DE PADUA RIBEIRO COURA	RAUL JOSE SOUZA FILHO
Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S.A.	Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S.A.	Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S.A.
renatoguimaraes@enersul.com.br	antonio.padua@enersul.com.br	raul.souza@enersul.com.br

ROMULO LIMA DE BARROS	FERNANDO ESPINDULA CORRADI
Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S.A.	Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S.A.
romulo.barros@enersul.com.br	fernando.corradi@enersul.com.br

Redução de Perdas Técnicas em redes de 34,5 kV com a aplicação de reatores para compensação reativa

Palavras-chave

ENERSUL

Reatores

Redes de 34,5 kV

Redução de perdas

Resumo

Nos sistemas de distribuição de Média Tensão existem vários circuitos que operam sob tensão de 34,5 kV e atendem grandes extensões territoriais com predominância de cargas tipicamente rurais, como fazendas e sítios. A configuração destes sistemas caracteriza-se por grandes extensões de rede elétrica, elevada relação de potência instalada de transformação por consumidor atendido, e baixo consumo de energia. Conseqüentemente, nestes circuitos há a predominância de potência reativa capacitiva frente à potência ativa circulante, onde é comum as redes operarem com fator de potência entre 0,3 e 0,4 capacitivo e perdas totais acima de 50%. Como projeto piloto, foram instalados dois reatores trifásicos de 34,5 kV com módulos de 500 kVar na rede rural do município de Bonito – MS, área de concessão da Empresa Energética de Mato Grosso do Sul, ENERSUL S/A. Os resultados obtidos no primeiro mês de operação, mesmo que de forma preliminar, foram satisfatórios. Baseando-se numa componente *flat* da memória de massa do alimentador,

calculou-se um *pay-back* de sete meses, apesar de erros embutidos na extrapolação devido à variação de demanda ao longo do dia.

1. Introdução

Num estado com grandes extensões territoriais e pequenas cargas nos pontos periféricos, como é o caso de Mato Grosso do Sul, tornam-se indispensáveis medidas para minimizar as perdas nos sistemas de distribuição das concessionárias de energia elétrica. Tais medidas focam as linhas que operam em 34,5 kV, onde as perdas de energia por efeito *Joule* e efeito *Ferranti* aliadas às grandes extensões dos circuitos geram um reativo capacitivo independente de carga, mas característico da linha. Ou seja, qualquer intervenção no reativo da rede influencia direta e constantemente na redução de perdas do sistema.

Neste cenário foi proposto um projeto piloto de instalação de reatores na linha de distribuição de 34,5 kV em Bonito-MS, onde o alimentador BON51 atendia aos pré-requisitos estabelecidos pela empresa para a instalação dos equipamentos. Todos os estudos e avaliações, bem como as dificuldades encontradas para a execução do projeto piloto são comentados neste artigo.

Tendo em vista o impacto causado nas finanças da concessionária devido a redução das perdas, propõe-se a divulgação dos resultados como incentivo para projetos semelhantes em outras concessionárias com sistemas de distribuição semelhantes ao da ENERSUL, onde as linhas de 34,5 kV atendem as regiões mais periféricas da área de sua concessão.

2. Desenvolvimento

É característica das redes aéreas de distribuição ter parâmetros de resistência, indutância e capacitância associados às linhas. Cada um desses fatores pode tornar-se predominante conforme a tensão de distribuição de linha, tipo de cabo, bitola, geometria dos condutores, e extensão do circuito. Com relação a esses pontos, percebe-se que a rede de média tensão que atende o estado de Mato Grosso do Sul possui certas particularidades. A economia do estado inspira-se principalmente no setor agropecuário, que exige grandes extensões territoriais e baixa potência demandada, isso implica num sistema de distribuição de linhas longas, carga leve, baixo fator de potência e altas perdas por efeito Joule e efeito Ferranti. Visando compensar esses fenômenos e também limitar a corrente de curto circuito foi proposta pela Empresa Energética de Mato Grosso do Sul, ENERSUL S/A, a instalação de reatores nas linhas de 34,5 kV de sua concessão.

PROJETO PILOTO

De um elenco de cento e um circuitos que operam em 34,5 kV, foram analisados aqueles com elevadas perdas técnicas, elevada potência reativa capacitiva circulante, e com infra-estrutura de medição no *bay* de entrada de linha para possibilitar a comparação com o histórico de medição. Chegou-se a conclusão de que o alimentador BON51 atendia aos pré-requisitos necessários para o projeto piloto. Convém destacar que o reativo capacitivo do circuito em questão é gerado pela própria rede em função do nível de tensão em relação ao solo e às grandes extensões, independentemente das condições de carga. Isso torna a busca por soluções técnicas atrativas tanto no aspecto técnico quanto econômico.

BON51

O alimentador BON51 tem a maior parte de seus 677 clientes na zona rural espalhados em aproximadamente

1.336 km de rede, ou seja, uma média de um cliente a cada dois quilômetros. Ainda disponibiliza uma demanda ativa média de 1,2 MW e uma demanda reativa capacitiva média de 2,7 MVar. A figura 1 ilustra a extensão do tronco alimentador sob uma visão macro.

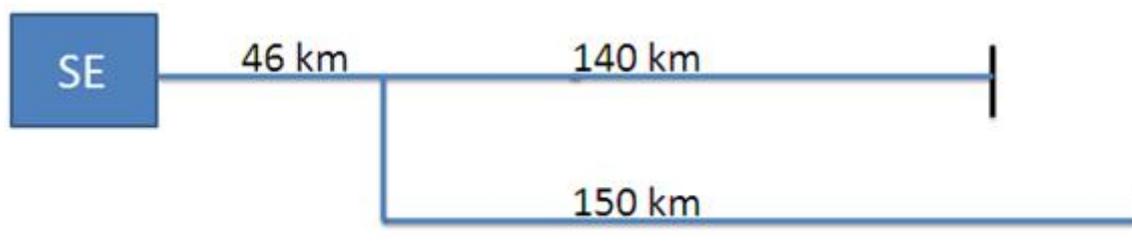


Figura 1 – Visão macro da extensão do tronco do alimentador BON51

Para os estudos e simulações, foram levantados dados históricos de medições no alimentador num período de doze meses. Em simulações de *loadflow* foi constatado que, num cenário otimista, as reduções nas perdas de energia no alimentador eram da ordem de 47%, como mostra a tabela 1.

Tabela 01 – Recuperação das perdas no alimentador BON51 em 12 meses

Alimentador BON51 (Bonito - CEDERB)			Histórico Consumo	Perda Estimada	Impacto nas Perdas			
Mês	MWh (Consumo+Perdas)	Mvarh cap (Consumo+Perdas)	MWh Medido	MWh	Otimista - 47%		Pessimista - 25%	
					MWh	R\$	MWh	R\$
mai/10	663,91	1.936,48	256,13	407,78	191,65	22.998,57	101,94	12.233,28
jun/10	738,28	1.990,47	238,75	499,53	234,78	28.173,66	124,88	14.985,99
jul/10	757,95	2.072,91	250,79	507,16	238,37	28.603,88	126,79	15.214,83
ago/10	746,92	2.004,71	264,30	482,62	226,83	27.219,88	120,66	14.478,66
set/10	711,39	1.184,38	234,08	477,31	224,34	26.920,23	119,33	14.319,27
out/10	730,64	1.957,41	259,26	471,38	221,55	26.585,94	117,85	14.141,46
nov/10	685,99	1.782,89	295,19	390,80	183,68	22.041,01	97,70	11.723,94
dez/10	776,30	1.887,47	295,07	481,23	226,18	27.141,54	120,31	14.436,99
jan/11	646,89	1.727,90	323,18	323,72	152,15	18.257,58	80,93	9.711,48
fev/11	694,45	1.743,36	270,49	423,96	199,26	23.911,40	105,99	12.718,83
mar/11	747,31	1.885,10	273,43	473,88	222,73	26.727,06	118,47	14.216,52
abr/11	706,63	1.822,95	295,08	411,55	193,43	23.211,53	102,89	12.346,56
TOTAL	8.606,67	21.996,02	3.255,74	5.350,93	2.514,94	301.792,28	1.337,73	160.527,81

MERCADO FORNECEDOR

Foi pesquisada entre os fabricantes nacionais e instituições de pesquisas a existência de reatores trifásicos já padronizados e comercializados no setor elétrico, porém não foram encontrados quaisquer fabricantes do equipamento. É válido ressaltar que já existem projetos de P&D para a construção de reatores em linhas de 34,5 kV, porém são estruturas avantajadas, semelhantes à subestações, não atendendo, pois, a necessidade da empresa, que é a construção de uma estrutura simples, fácil de adequar à linha e de fácil manutenção.

Considerando-se as características da rede de distribuição da empresa, foi necessário contratar um projeto específico junto à indústria para desenvolver o equipamento. Parceiramente ao fabricante MAG TRANSFORMADORES foi desenvolvido um modelo de reator de 500 kVar excepcionalmente projetado

para atuar nas linhas de 34,5 kV. Os dados técnicos do reator estão listados na tabela 2.

Também houve a necessidade do desenvolvimento de uma estrutura específica de postes e plataforma para a instalação destes equipamentos em áreas rurais sob a rede de distribuição, assim como os arranjos de chaves, pára-raios e conexões em geral. A estrutura definida para instalação do equipamento na rede conta com a utilização de religador telecomandado que irá operar como chave telecomandada, assim como proteção quanto a defeitos internos do equipamento, como ilustrado na figura 2. A instalação do equipamento em campo é conferida na figura 3.

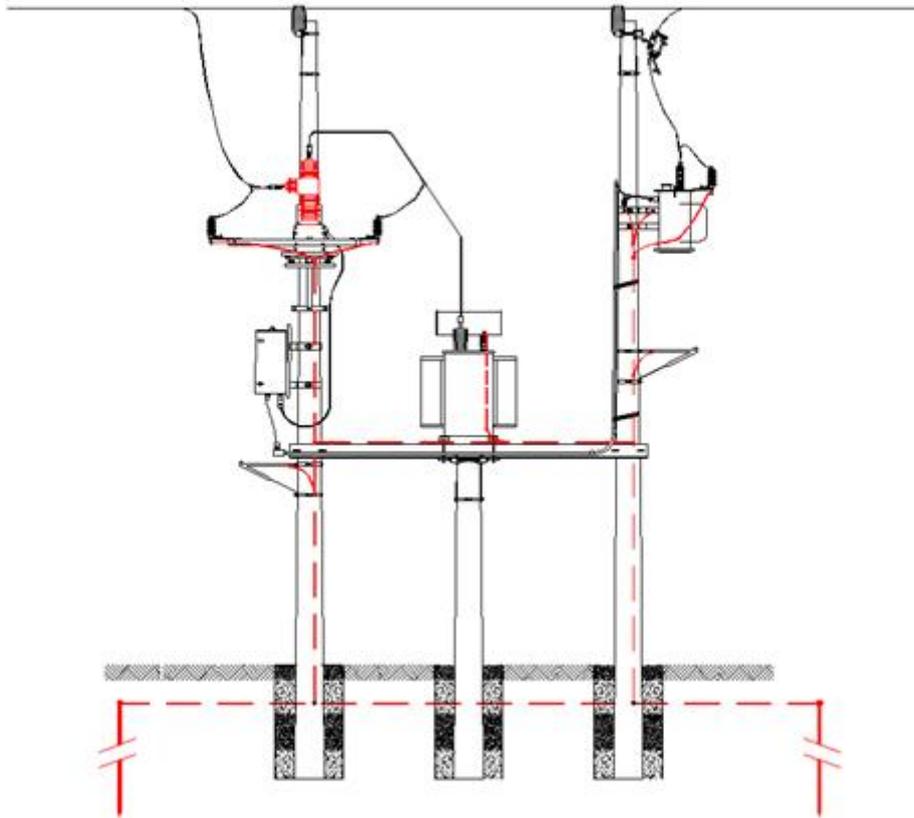


Figura 2 – Estrutura para instalação do reator



Figura 3 - Instalação do equipamento em campo

Nota-se que a estrutura de instalação do reator é muito semelhante à montagem de bancos de reguladores de tensão.

Tabela 2 – Dados técnicos do reator

Potência nominal	500 kVAr
Tensão nominal	34,5 kV
NBI	200 kV
Tensão aplicada 1 min	70 kV
Frequência	60 Hz
Uso	Externo
Isolante	Óleo isolante naftênico
Conexão	Estrela aterrada
Sobretensão dinâmica (2 seg)	1,43 pu
Sobretensão dinâmica (1 h)	1,1 pu
Neutro	Aterrado
Impedância	2.380,50 ohm
Distância de escoamento	20 kV/mm
Montagem	Plataforma suspensa em postes
Peso máximo permitido	3.500 kG
Dimensões máximas permitidas (H x L x P)	2.000 x 1.500 x 1.500MM
Acessórios:	
Válvula de alívio	Sim
Indicador de nível de óleo	Sim
Terminal de linha	2 Furos nema
Conector de aterramento	35 à 120 mm ²

ESTUDOS E AVALIAÇÕES

Foram feitos diversos estudos para alocar os reatores estrategicamente, de maneira que pudessem atender as necessidades operacionais, facilitassem o acesso à manutenção, e possibilitassem as condições de comunicação com os pontos instalados. Adicionalmente, ainda foram instalados medidores de qualidade na barra de 34,5 kV da subestação de Bonito para acompanhar os impactos na qualidade do produto. Como tentativa de amenizar o impacto de tensão no sistema envolvido, foi realizada uma mudança no *tap* do transformador da subestação.

Concomitantemente aos estudos, algumas avaliações e medições tiveram sucesso. Foram realizadas medições de resistividade do solo em um dos pontos de instalação do reator, análises do comportamento do equipamento sob condições de religamentos automáticos da rede, da corrente *infeed* em situações de curto-circuito, dos impactos da compensação reativa capacitiva no suporte de tensão na subestação, avaliações quanto ao dispositivo de chaveamento e proteção, e quanto a necessidade de supervisão e automação.

IMPACTO NAS PERDAS

Segundo os estudos de fluxo de potência executados, verificou-se que as melhores localizações para a instalação dos reatores coincidiram com os pontos onde a o reativo capacitivo acumulado na linha estava pouco acima da potência dos módulos dos reatores, ou seja, 500 kVAr, como mostra a figura 4.

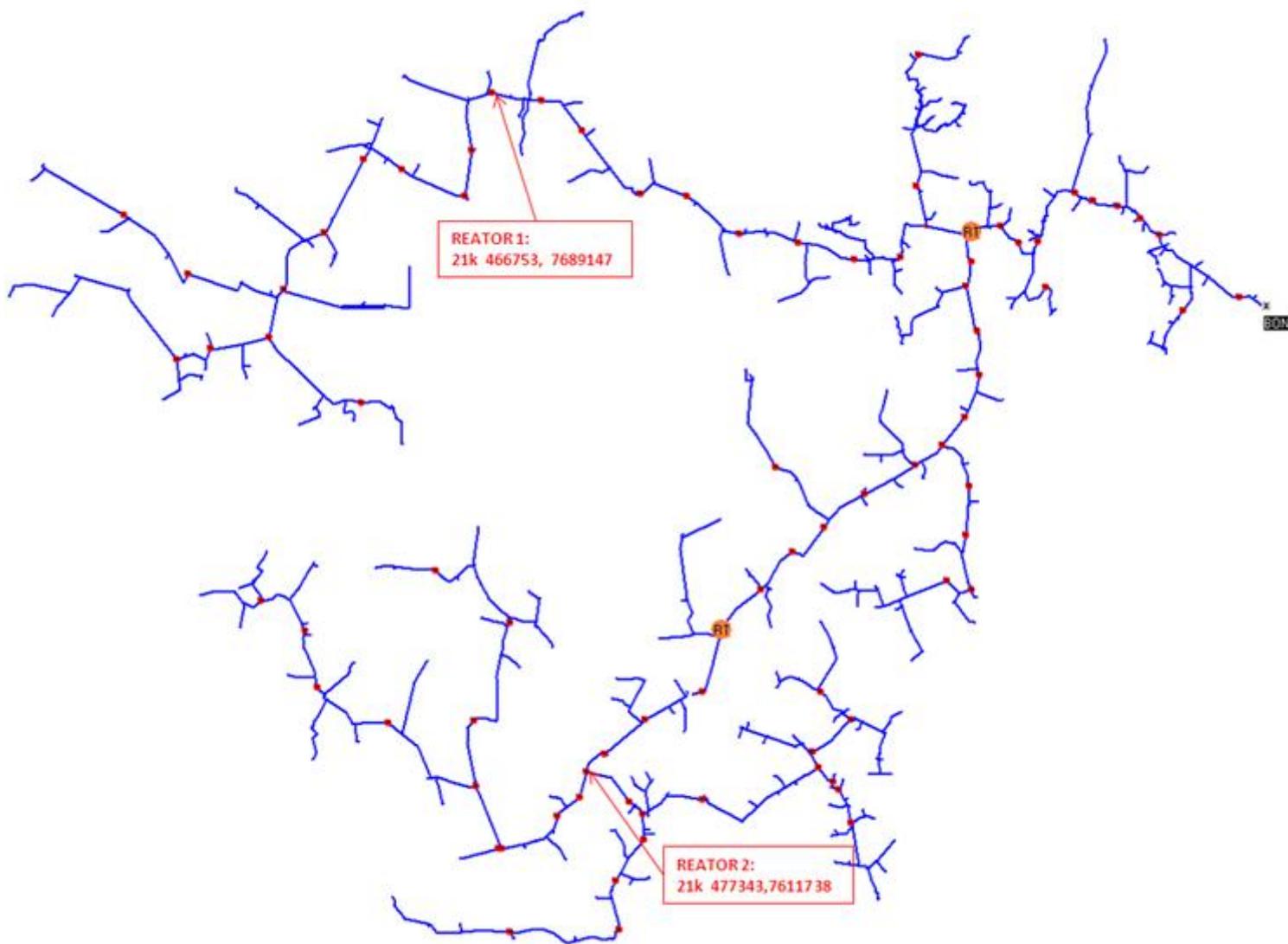


Figura 4 – Localização dos Reatores

Num primeiro teste em campo, o reator foi energizado por aproximadamente trinta minutos e o impacto pôde ser verificado tanto na redução da potência reativa capacitiva quanto na redução da potência ativa, como ilustrado na figura 5.

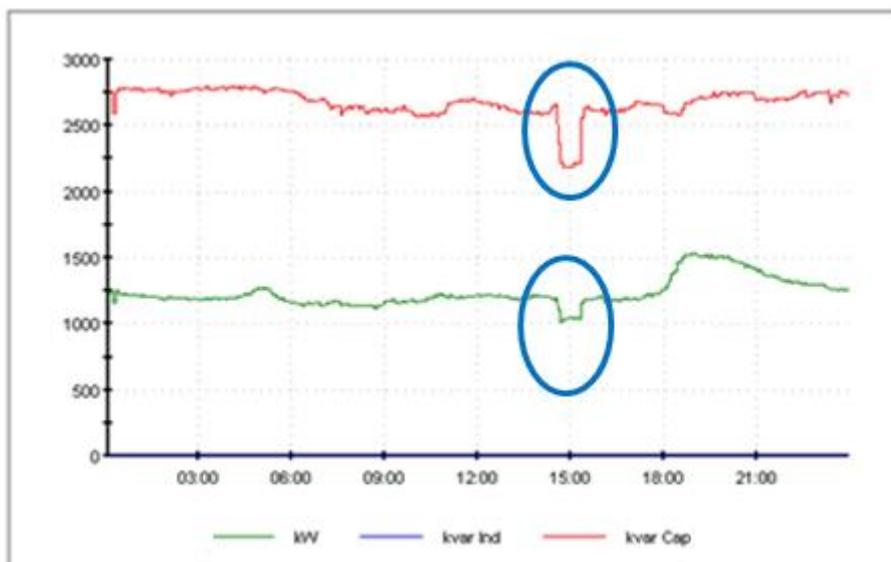


Figura 5 – Impacto nas demandas ativa e reativa durante trinta minutos

Em 21 de outubro de 2011, os dois reatores instalados no alimentador BON51 ficaram energizados ao longo de todo o dia, permitindo-se fazer análises preliminares do impacto nas perdas no alimentador. A figura 6 compara a memória de massa do dia 21 com outros três dias de demanda *flat*, onde o impacto na parcela ativa da demanda representou 31%.

Extrapolando o impacto na redução de perdas, obtém-se um *pay-back* de sete meses, para um investimento de R\$ 260.000,00 e um benefício anual calculado da ordem de R\$ 450.000,00. Apesar do erro embutido nesta extrapolação por conta da variação diária de demanda ativa, o trabalho foi exercido sobre uma componente *flat*, que é a potência capacitiva da rede, o que não inviabiliza totalmente esta extrapolação.

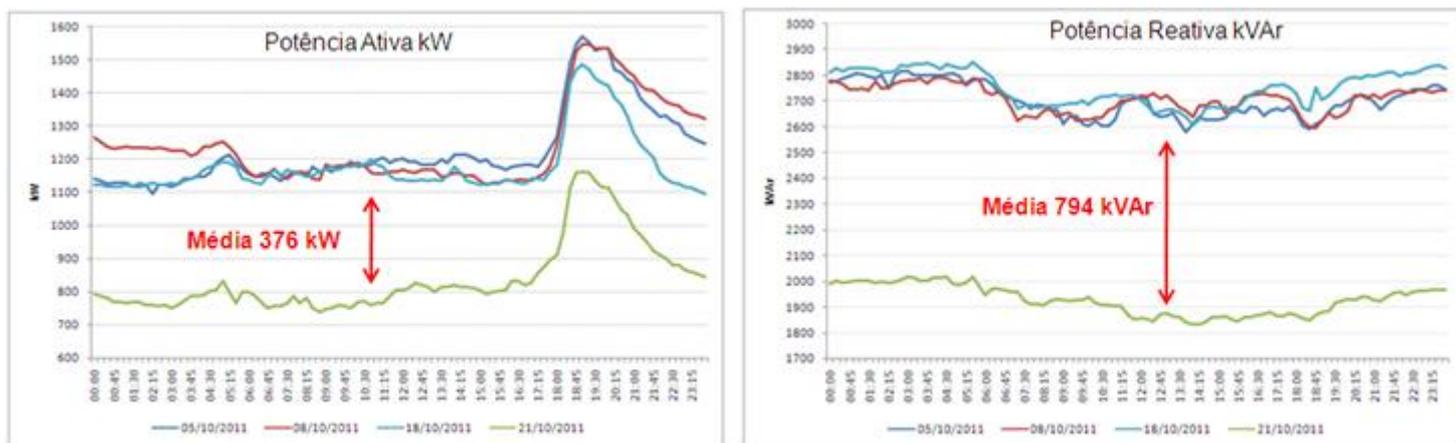


Figura 6 – Memória de massa do dia 21/10/2011

3. Conclusões

Diante dos expressivos resultados alcançados nas medições do projeto piloto, principalmente no que diz respeito às perdas técnicas, a empresa considerou a implantação do reator na linha de 34,5 kV um sucesso. Focando outros alimentadores com características semelhantes à BON51, a Enersul planeja continuar com o

projeto em outros pontos da área de concessão.

É fato que no Brasil existem outras concessionárias com um sistema de distribuição semelhante ao da Enersul, onde existem alimentadores de 34,5 kV com grandes extensões, elevadas perdas técnicas e elevada potência reativa capacitiva circulante. Frente a esse cenário, este artigo é a descrição de uma solução eficaz para o impacto causado nas finanças das concessionárias devido ao elevado nível de perdas destes sistemas característicos de regiões de grande área geográfica e baixa densidade de carga.

4. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5119:2011** – Reator para Sistemas de Potência – especificação. Fevereiro, 2011.

D´Ajuz, Ary. Equipamentos Elétricos - especificação e aplicação em subestações de alta tensão. Rio de Janeiro, Furnas 1985. 285p.
