



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### **Redução de Perdas Técnicas e Otimização do Carregamento de Alimentadores Através da Utilização de Capacitores de Baixa Tensão em Unidades Consumidoras**

<b>Washington Pereira de Oliveira</b>	<b>Flávio Henrique Martins Vieira</b>	<b>Giovani César Luiz de Souza</b>
<b>Cemig Distribuição S.A.</b>	<b>Cemig Distribuição S.A.</b>	<b>Cemig Distribuição S.A.</b>
wpo@cemig.com.br	fhvieira@cemig.com.br	giovanis@cemig.com.br

#### **Palavras-chave:**

Baixa tensão

Correção do fator de potência

Medição de energia elétrica

Perdas técnicas

#### **Resumo**

Este trabalho avaliou o incremento da eficiência energética com a redução das perdas técnicas na rede de distribuição de energia elétrica através da instalação de capacitores em unidades consumidoras de baixa tensão. O trabalho teve início a partir do diagnóstico e identificação das perdas de distribuição e transformação em um alimentador típico que atende unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais. O resultado obtido possibilitou a adoção de uma nova concepção que permite maximizar a eficiência energética de um alimentador típico de distribuição.

#### **1. Introdução**

Este trabalho visa a otimização energética de alimentador de distribuição de energia elétrica através da compensação reativa de baixa tensão em unidades consumidoras com a monitoração do fator de potência, das perdas técnicas e do perfil de tensão em unidades consumidoras.

Foi escolhido para monitoramento um alimentador de média tensão, onde fosse possível quantificar as perdas técnicas típicas da distribuição ao longo do seu atendimento. Como premissa o alimentador escolhido teve como característica uma diversidade de unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais.

Para possibilitar a obtenção das metas propostas neste trabalho, foi utilizado o gerenciamento de energia através da instalação de medidores/registradores em pontos estratégicos que permitissem o planejamento, supervisão e monitoração do uso de energia elétrica. Foram quantificadas as perdas técnicas no sistema de distribuição através da análise de energia distribuída entre o alimentador, os transformadores por ele atendidos e as unidades consumidoras.

Foi realizada uma análise inicial com as informações coletadas através dos equipamentos de medição instalados no alimentador onde foi possível determinar as perdas técnicas nos circuitos primário e secundário e nos transformadores. Em função dessa análise foi possível identificar a necessidade de implantação de compensação reativa de baixa tensão em unidades consumidoras visando a redução de perdas técnicas.

A instalação de capacitores de baixa tensão nas unidades consumidoras permite maximizar a eficiência energética do alimentador. Trata-se de uma concepção inovadora que ainda não é utilizada pelas distribuidoras nacionais.

## **2. Desenvolvimento**

Visando o incremento da eficiência energética com a redução das perdas técnicas, este trabalho foi executado através do seguinte roteiro:

- ❑ Identificação do alimentador típico da distribuição com a elaboração do diagrama unifilar do primário e secundário.
- ❑ Identificação de unidades consumidoras e iluminação pública.
- ❑ Monitoração das medições no ponto primário e em todos os transformadores atendidos pelo alimentador, visando análise mensal das leituras e acompanhamento da correção do fator de potência (FP) e do nível de tensão no primário e secundário dos transformadores bem como das unidades consumidoras.
- ❑ Análise preliminar das medições do circuito.
- ❑ Implantação e análise da eficientização energética com a instalação dos capacitores de baixa tensão nas unidades consumidoras.

### ***2.1. Identificação do alimentador típico da distribuição***

A proposta feita pela Cemig Distribuição S.A. se deve, basicamente, ao desenvolvimento e monitoramento de um alimentador de média tensão em 13,8 kV, onde fosse possível quantificar as perdas técnicas de um circuito típico de distribuição urbana que tivesse ao longo do seu atendimento todos os segmentos de consumidores. A cidade escolhida foi a cidade de Lavras-MG, onde foi selecionado o alimentador LAVD-15 da subestação de Lavras II, por possuir todos os requisitos que atendem a proposta do trabalho.

A principal característica para a escolha desse alimentador foi à diversidade de unidades consumidoras atendidas tais como hospital, escola, supermercados, padarias, pequenas indústrias e consumidores residenciais.

Os circuitos que compõem o trecho monitorado desse alimentador são formados por redes de distribuição urbanas compostas de redes convencionais, redes isoladas com primário e secundários utilizando cabos multiplexados. Foram monitorados vinte e oito circuitos secundários. A figura que segue mostra a composição do alimentador escolhido.

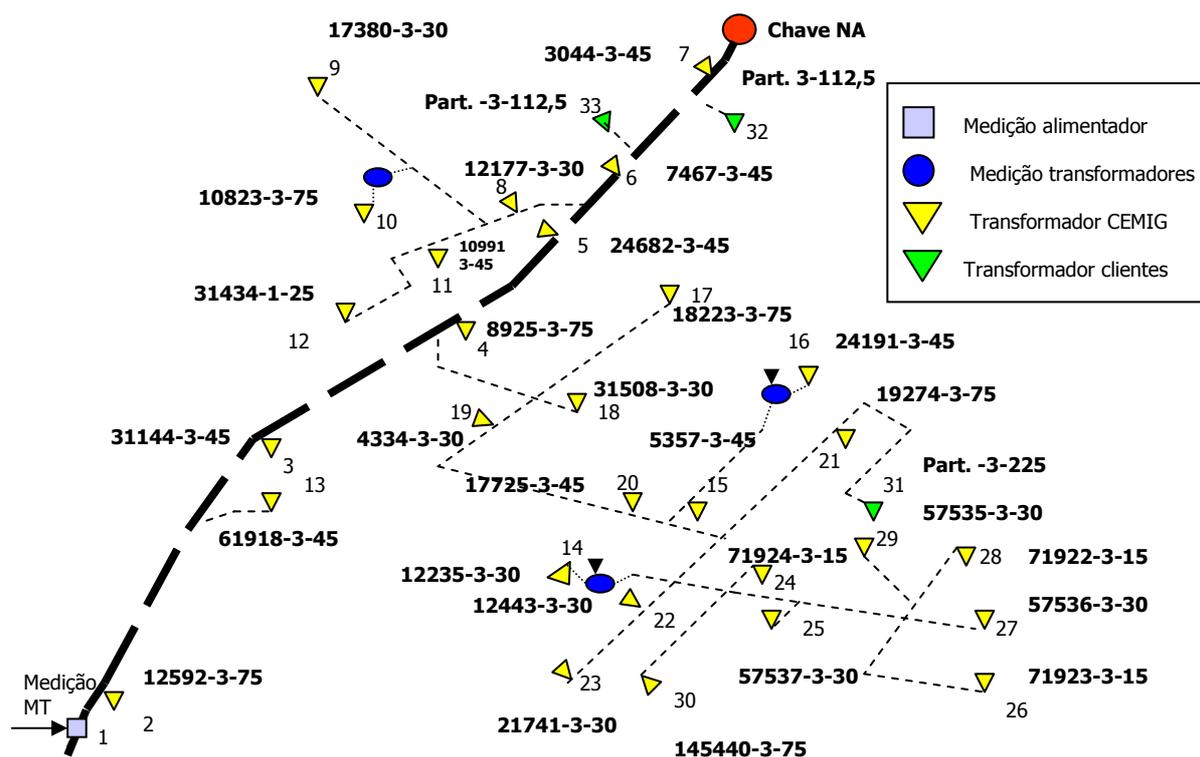


Figura 1: Alimentador LAVD-15 da SE Lavras II

## 2.2. Identificação de unidades consumidoras e iluminação pública

No circuito do alimentador selecionado, todos os transformadores foram monitorados e, logo após, foram identificadas todas as unidades consumidoras. Este procedimento foi necessário para facilitar os serviços de leitura das unidades consumidoras de cada transformador monitorado no trabalho.

Em todos os circuitos monitorados foram identificados a potência de cada lâmpada, a quantidade de relés e reatores instalados de iluminação pública para fins de balanço energético.

## 2.3. Medições de monitoração

Visando a monitoração do alimentador selecionado foram adotadas as seguintes medições:

- *Medição do alimentador:* Foi desenvolvida uma estrutura com três níveis de cruzetas. No primeiro nível, foram instaladas três chaves faca monopolares, no segundo nível foram instalados três transformadores de corrente e no terceiro nível foram instalados três transformadores de potencial. À seis metros do solo foi instalada uma caixa com medidor eletrônico, classe 0,5, com uma chave de aferição visando registro das medições das grandezas elétricas. A instalação das chaves faca permitiram o isolamento da medição caso ocorresse algum defeito nos transformadores de instrumentos, proporcionando um rápido atendimento pelas equipes de plantão para restabelecimento do alimentador.

- ❑ *Medição de perda de transformadores:* No primário dos transformadores foi desenvolvida uma estrutura que possibilitasse a instalação de três transformadores de corrente no primeiro nível e três transformadores de potencial. Uma chave fusível foi deslocada para um poste anterior ao poste da medição para permitir o isolamento da medição caso ocorresse algum defeito nos transformadores de instrumentos, proporcionando um rápido atendimento pelas equipes de plantão, para restabelecimento do transformador. À seis metros do solo foi instalada uma caixa com medidor eletrônico, classe 0,5, com chave de aferição, para medição e registro das grandezas elétricas. Foram registradas as perdas técnicas em um transformador de 75kVA, em um transformador de 45kVA e em um transformador de 30kVA.
- ❑ *Medição de secundário de transformadores:* Para possibilitar a medição no secundário dos transformadores, foi instalada uma caixa metálica à 4,80 metros do solo em cada poste com transformador. Nessa caixa foram instalados três transformadores de corrente de 200:5, um medidor eletrônico, classe 0,5 e uma chave de aferição. Foi desconectado do barramento de saída de baixa tensão do transformador os cabos que ligam à rede secundária, sendo inserido três cabos isolados com proteção de PVC permitindo assim a medição de toda a energia elétrica entregue à rede secundária de distribuição.
- ❑ *Medição de unidades consumidoras:* Foram utilizados medidores eletromecânicos monofásicos, bifásicos e trifásicos calibrados com erros próximos de zero, ficando esses medidores com erro médio de 0,3%. Após a substituição de todos os medidores eletromecânicos, foi efetivamente monitorado todo o sistema em estudo.

#### ***2.4. Análise preliminar das medições do circuito***

Visando o levantamento do balanço energético, foi realizada a análise da medição do alimentador LAVD-15 de média tensão em relação às medições dos transformadores na baixa tensão e em relação às medições das unidades consumidoras. Na análise também foi considerada as perdas de transformação e de iluminação pública.

Da comparação feita entre os dados coletados nas medições realizadas em Lavras durante o período de 01/07/2000 a 01/01/2001, foi possível identificar as perdas técnicas médias obtidas nos segmentos de rede do alimentador. A figura que segue mostra o balanço energético do circuito.

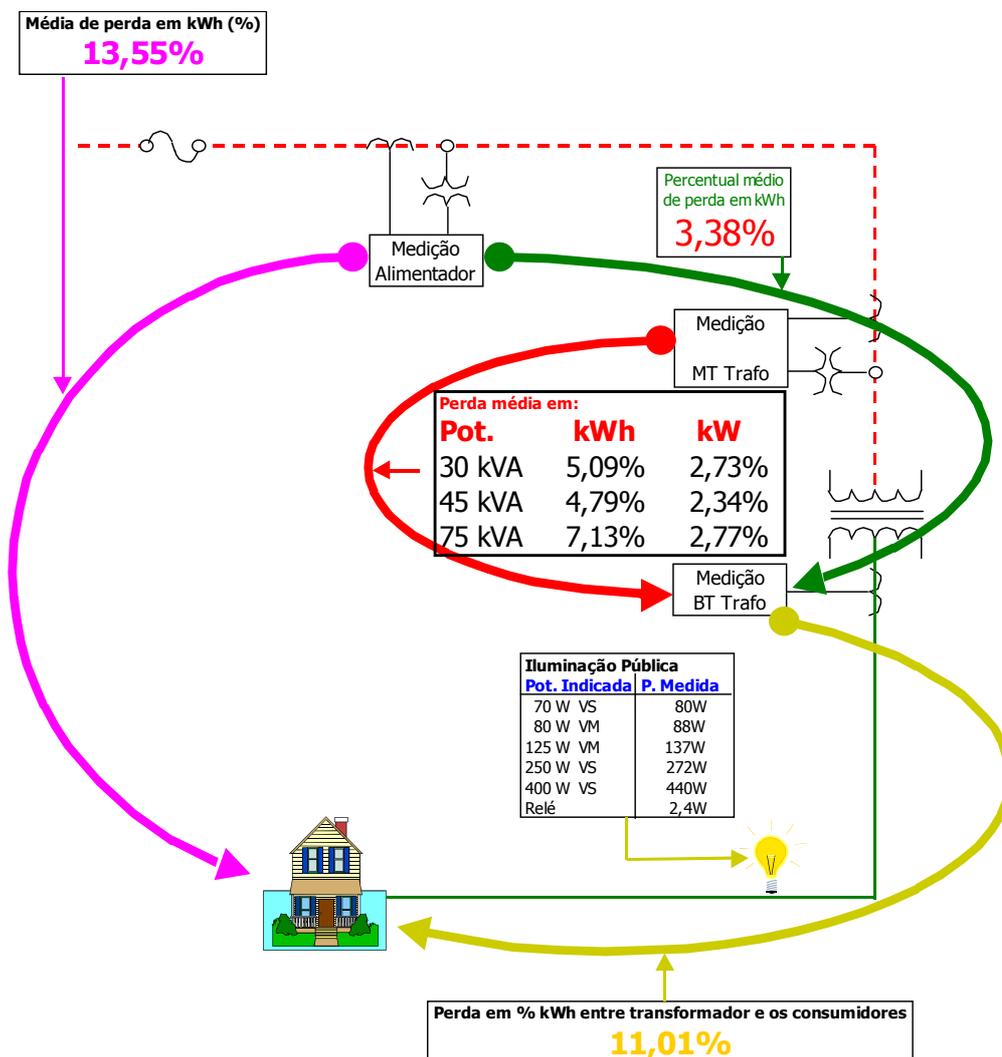


Figura 2: Balanço energético alimentador preliminar

### 2.5. Implantação da correção do fator de potência na baixa tensão

Conforme pode ser verificado na análise preliminar das medições do circuito, a maior parcela da perda técnica encontra-se no circuito secundário. Isto implica dizer que a utilização de bancos de capacitores na média tensão, que é a concepção tradicional das distribuidoras, não traz a mesma eficiência energética do alimentador em relação à correção do reativo diretamente na baixa tensão.

Foram instalados inicialmente para avaliação, no circuito de distribuição número 16, capacitores em todas as unidades consumidoras de um transformador de 45kVA totalizando sessenta e seis unidades consumidoras. Foi realizado o monitoramento durante um ano e com base na avaliação das medições, os resultados foram satisfatórios, levando o FP de 0.67 para 0.99 e reduzindo as perdas técnicas desse o circuito em kWh de 15,44% para 10,11%.

Esses resultados permitiram que esta concepção fosse expandida para os demais circuitos do alimentador monitorado. Assim sendo, foram instalados 1.244 capacitores nas unidades consumidoras totalizando 209 kvar. A figura que segue demonstra exemplos dos capacitores instalados.



Figura 3: Capacitores instalados

Os capacitores instalados nas unidades consumidoras possuem características especiais em relação aos capacitores usualmente utilizados, a saber:

- ❑ Encapsulamento de alumínio visando maior resistência mecânica.
- ❑ Conexão por terminal para facilitar a sua instalação.
- ❑ Resistor de descarga para eliminar tensão residual no caso de desenergização.
- ❑ Dispositivo interruptor de segurança contra sobrepressão interna.
- ❑ Dimensões que permitem a instalação dentro da caixa de medição.

Na tabela que segue são apresentados os percentuais de perdas técnicas do período de dezembro de 2002 a julho de 2003. Os dados a partir de abril de 2003 já contemplam a instalação de todos os capacitores.

Tabela 1: Percentual de perdas apuradas

<b>Período</b>	<b>% Perda kWh</b>
01/12/2002 a 01/01/2003	13,13
01/01/2003 a 01/02/2003	13,33
01/02/2003 a 01/03/2003	13,31
01/03/2003 a 01/04/2003	11,85
<b>01/04/2003 a 01/05/2003</b>	<b>10,11</b>
<b>01/05/2003 a 01/06/2003</b>	<b>11,09</b>
<b>01/06/2003 a 01/07/2003</b>	<b>11,63</b>

Na tabela que segue podem ser verificados o comportamento da demanda, do fator de potência e da potência aparente durante o período de Janeiro/2003 à Julho/2003 nos horários de ponta e fora de ponta, antes e depois da instalação dos capacitores, que ocorreu a partir de abril de 2003:

Tabela 2: Demanda, fator de potência e potência aparente

Fora do horário de Ponta				No horário de Ponta			
Mês	KW	FP	KVA	Mês	KW	FP	KVA
Janeiro	537,25	0,65	826,55	Janeiro	537,25	0,65	826,55
Fevereiro	528,27	0,64	825,43	Fevereiro	528,27	0,64	825,43
Março	547,05	0,70	781,50	Março	547,05	0,70	781,50
<b>Abril</b>	<b>565,83</b>	<b>0,83</b>	<b>681,73</b>	<b>Abril</b>	<b>565,83</b>	<b>0,83</b>	<b>681,73</b>
<b>Mai</b>	<b>534,81</b>	<b>0,84</b>	<b>636,67</b>	<b>Mai</b>	<b>534,81</b>	<b>0,84</b>	<b>636,67</b>
<b>Junho</b>	<b>550,00</b>	<b>0,83</b>	<b>662,65</b>	<b>Junho</b>	<b>550,00</b>	<b>0,83</b>	<b>662,65</b>
<b>Julho</b>	<b>562,00</b>	<b>0,97</b>	<b>579,38</b>	<b>Julho</b>	<b>562,00</b>	<b>0,97</b>	<b>579,38</b>

Com a instalação dos capacitores nas unidades consumidoras, houve uma preocupação com a elevação do nível de tensão. Contudo, após a realização de medições de tensão, foi verificado que não houve incremento que justificasse uma ação complementar. Não houve nenhuma reclamação de consumidores e também não ocorreu queima ou defeito nos capacitores instalados. Foi observada também a melhoria do nível de tensão no final do circuito que passou de 122V para 130V, mantendo-se melhor a qualidade de energia fornecida aos consumidores. A seguir, são mostrados nas figuras gráficos de tensão de uma unidade consumidora antes e após a instalação dos capacitores de baixa tensão.

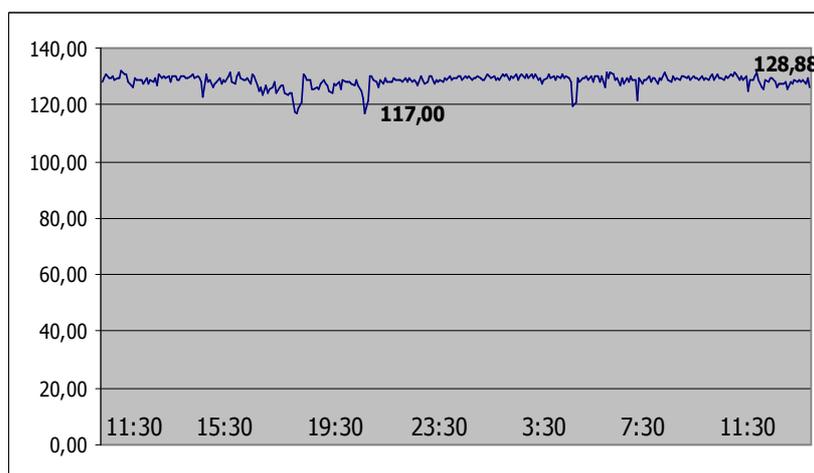


Figura 4: Nível de tensão em unidade consumidora sem capacitor

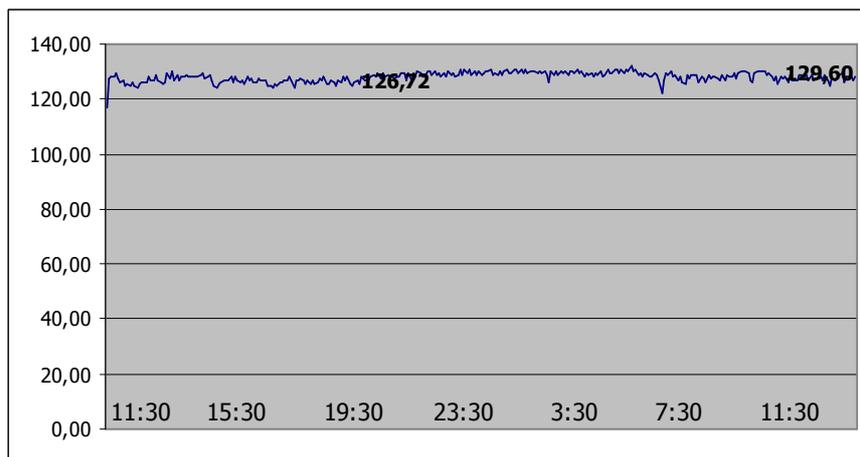


Figura 5: Nível de tensão em unidade consumidora com capacitor

### 3. Conclusões

Após a instalação de capacitores nas unidades consumidoras de baixa tensão foi realizado o monitoramento e análise dos dados dos circuitos. A figura que segue mostra o resultado do balanço energético do circuito com a correção reativa implantada.

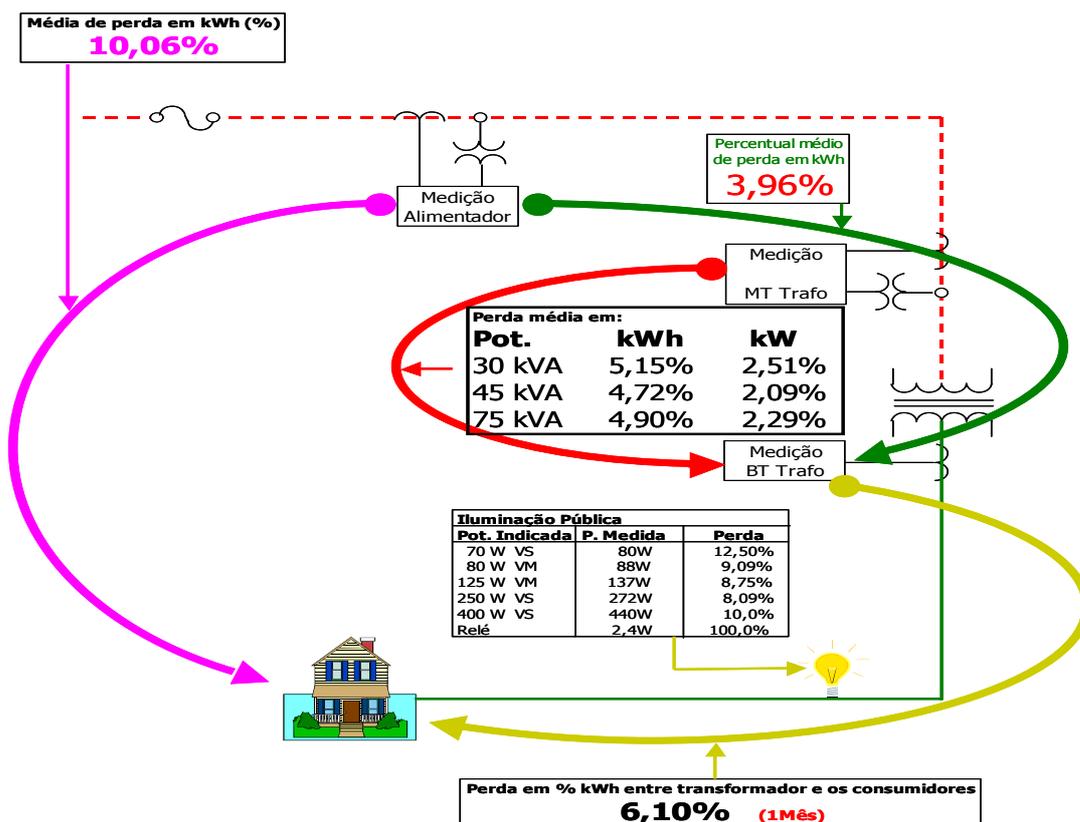


Figura 6: Balanço energético alimentador com correção reativa

Especificamente para o circuito monitorado foi verificada a redução das perdas técnicas de 13,55% para 10,06% entre o alimentador e as unidades consumidoras. Pode ser verificado também que houve a redução das perdas técnicas de 11,01% para 6,10% entre os transformadores e as unidades consumidoras representando, basicamente, a rede secundária de distribuição.

Foi constatado que a instalação de capacitores de baixa tensão nas unidades consumidoras permite maximizar a eficiência energética do alimentador. Portanto, a concepção apresentada nesse trabalho é viável para ser utilizada pelas distribuidoras de energia elétrica.

Atualmente essa concepção de instalação de capacitores nas unidades consumidoras de baixa tensão para a correção do fator de potência está sendo expandida para outra cidade do interior de Minas Gerais.

Em função dos resultados satisfatórios obtidos nesse trabalho, a Cemig está trabalhando na formatação de uma metodologia para a correção reativa com a utilização de capacitores em unidades consumidoras visando assegurar a qualidade da energia fornecida.

#### **4. Referências bibliográficas**

PAIVA, Luiz A. Castro. Projeto P&D 011-99/2000 *Aumento de Eficiência Energética em Alimentadores*. Cia Energética de Minas Gerais – Relatório Técnico 2000.

PAIVA, Luiz A. Castro. Projeto P&D 015-200/2001 *Correção do Fator de Potência em Alimentadores na Baixa tensão dos Transformadores e em Unidades Consumidoras*. Cia Energética de Minas Gerais – Relatório Técnico 2001.