



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### **Eficiência Energética Através da Correção do Fator de Potência: Unidades Residenciais e Transformadores**

<b>Antônio Carniato</b>	<b>José L. Carvalho</b>	<b>Jemerson Possamai</b>	<b>Perison P. Uggioni</b>
<b>Faculdade SATC</b>	<b>EFLUL</b>	<b>INZA</b>	<b>SATC</b>
antonio.carniato@satc.edu.br	joseluiz@eflul.com.br	jemerson@gmail.com.br	perison.uggioni@satc.edu.br

#### **Palavras-chave**

Eficiência energética  
Fator de potência  
Transformadores  
Unidades residenciais

#### **Resumo**

Este artigo propõe uma discussão e as vantagens sobre a correção do fator de potência na entrada de unidades residenciais e na saída dos transformadores de distribuição, pois existe a possibilidade de economia e benefícios para o sistema elétrico brasileiro. A metodologia adotada foi através da de uma revisão bibliográfica a qual está exposta na introdução, pois existe uma grande justificativa e necessidade de eficiência energética nas residências. O desenvolvimento do trabalho foi através da realização de medições em campo, obtendo-se diversos dados, como o consumo de energia elétrica, o fator de potência, a tensão e a corrente. Os resultados colhidos e analisados se mostraram promissores, principalmente para as concessionárias de energia elétrica, mas, existe a necessidade de outros estudos mais aprofundados para a aplicação de capacitores e banco de capacitores nestas unidades, como a dinâmica do sistema e normas a serem utilizadas na instalação dos capacitores, bem como a alocação destes no sistema.

#### **1. Introdução**

Em 2001, o setor elétrico nacional enfrentou uma forte crise acarretando a falta de energia elétrica em algumas regiões, fazendo com que este problema fosse discutido por vários setores da sociedade ficando clara a necessidade do aumento da capacidade da geração de energia elétrica e também na diminuição do seu desperdício. Uma das alternativas para a mitigação do desperdício pode ser a correção do fator de potência (FP) em residências.

Em novembro de 2000 através da resolução nº 456, elaborada pela Aneel (2000), ficou estabelecido a obrigatoriedade de se controlar o fator de potência das instalações. Porém, mesmo representando 22,2% do consumo total de energia do país, ainda não existem sistemas de medição e controle aplicados a unidades residenciais.

Utilizar a energia com responsabilidade, sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania. Os instrumentos de combate ao desperdício de energia elétrica estão alicerçados nas mudanças de hábitos e na eficiência energética (HADDAD, 2001). A eficiência energética, como instrumento de combate ao desperdício de energia elétrica se faz necessário para disponibilizá-la ainda mais para o sistema, adiando assim a necessidade de construção de novas usinas

geradoras, destinando recursos para outras áreas importantes e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

Haddad (2001) cita que em muitos casos um KWh economizado é mais barato do que um KWh produzido. Por exemplo, a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes e a adequação dos motores de indução às cargas acionadas, requerem investimentos da ordem de 5 a 15 US\$/MWh, custos muito inferiores aos requeridos para se gerar esta energia a partir dos sistemas convencionais do sistema elétrico, estimados acima de 60 US\$/MWh. Ou seja, liberar um KWh reduzindo o desperdício custa neste caso quatro vezes menos do que produzir um KWh adicional.

## 2. Desenvolvimento

Para o desenvolvimento da pesquisa foram realizadas medições em campo, obtenção e análise dos gráficos e metodologia para a alocação dos capacitores no sistema. As medições ocorreram em cinco residências, e mais outras duas medições: a primeira na saída de um transformador e outra na entrada de um condomínio, as quais também alimentam resistências. Todas as medições ocorreram em cidades diferentes, próximas ao município de Criciúma, sul de Santa Catarina.

A Tabela 1 abaixo relaciona os tipos e a potência dos equipamentos das residências 1, 2 e 3. As residências 1, 4 e 5 são residências trifásicas, enquanto 2 e 3 são monofásicas. Não foram executados o levantamento dos equipamentos e da potência instalada nas residências 4 e 5 que são trifásicas, mas, pode-se ter uma noção da carga instalada para estas comparando com a Tabela 1 através da residência 1, que também é trifásica. A residência 5 possui também 4 refrigeradores utilizados no armazenamento de sorvetes.

Tabela 1 - Carga instalada na residência 1, 2 e 3.			
DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	Potência da Residência 1 (W)	Potência da Residência 2 (W)	Potência da Residência 3 (W)
Aparelho de som e/ou televisão	400	420	470
Cortador de grama	600	600	600
Lâmpada incandescente	600	770	220
Lâmpada florescente	200	61	230
Liquidificador	250	350	250
Chuveiro elétrico	14.000	11.000	7.000
Ferro de passar	1.300	1.000	1.300
Microondas e/ou forno elétrico	1.200	1.750	1.200
Geladeira e/ou Freezer	200	123	330
Lavadora e/ou secadora de roupas	600	240	3.100
Outros	3.000	2.064	2.140
<b>Potência Total</b>	<b>22.350</b>	<b>18.378</b>	<b>16.840</b>

Os dados obtidos através das medições de cada residência estão relacionados a seguir em forma de gráficos.

Imagem 1 - Gráfico das tensões na Residência 1(26/11/06-19:00h à 27/11/06-09:30h).

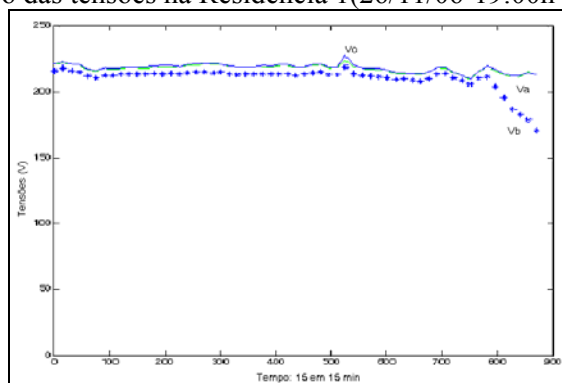


Imagem 2 - Gráfico das correntes na Residência 1(26/11/06-19:00h à 27/11/06-09:30h).

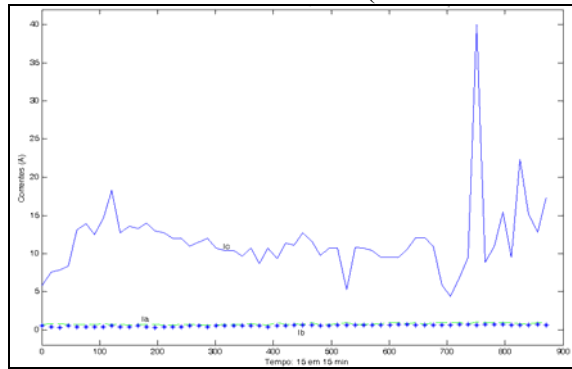


Imagem 3 - Gráfico do fator de potência na Residência 1(26/11/06-19:00h à 27/11/06-09:30h).

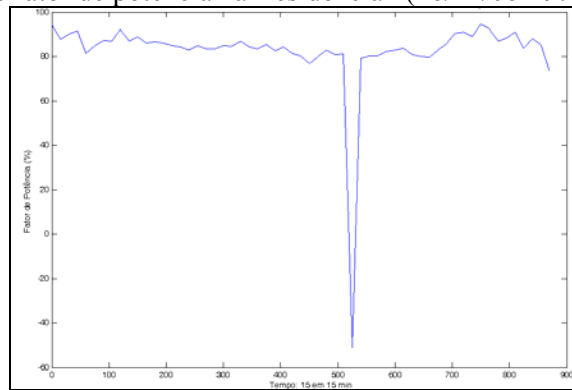


Imagem 4 - Gráfico das tensões na Residência 2(01/06/07-16:00h à 03/06/07-17:00h).

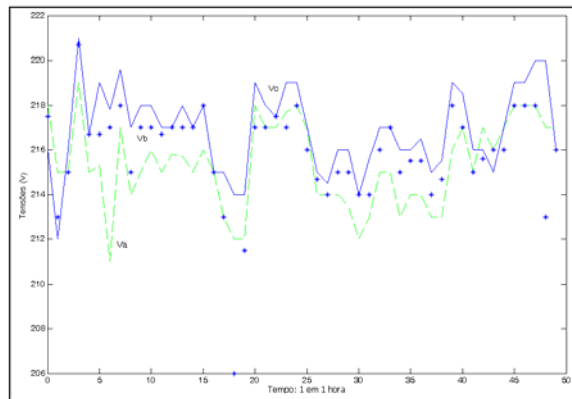


Imagem 5 - Gráfico do fator de Potência na Residência 2(20/06/07 – 10:30h à 21/06/07 – 14:30h).

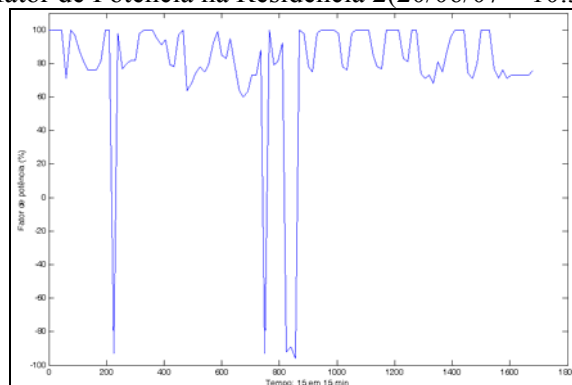


Imagem 6 - Gráfico do fator de Potência na Residência 3(20/06/07 – 16:30h à 21/06/07 –18:00h)

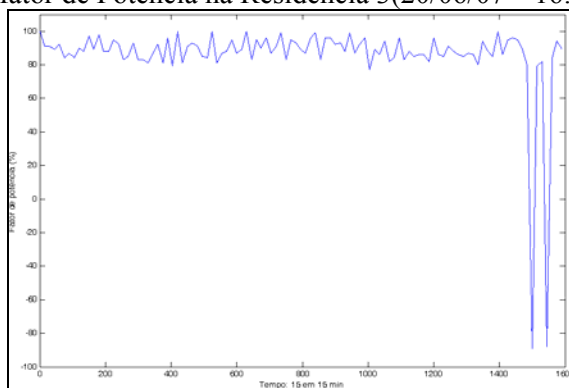


Imagem 7 - Gráfico das correntes na Residência 4 (01/06/07-16:00h à 03/06/07-17:00h).

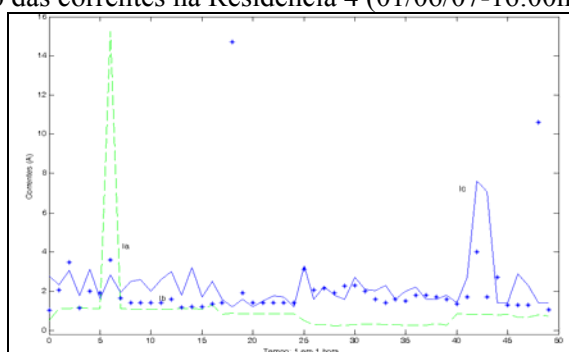


Imagem 8 - Gráfico do fator de potência trifásico Residência 4 (01/06/07-16:00h à 03/06/07-17:00h).

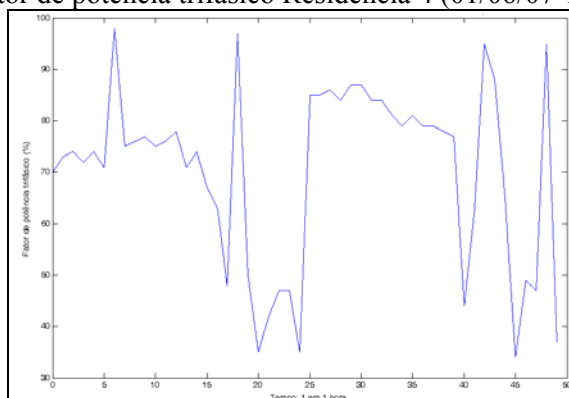
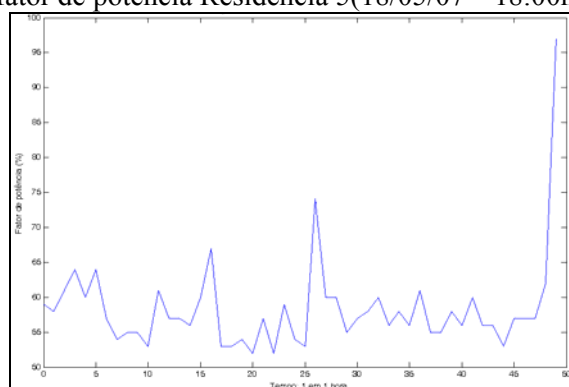


Imagem 9 - Gráfico do fator de potência Residência 5(18/05/07 – 18:00h à 20/06/2007 – 19:00h).



Na medição da saída do transformador, a captura dos dados iniciou-se às 10:45h do dia 15 até às 10:45h do dia 18 de maio de 2006, no intervalo de 1 em 1 minuto. Na medição da entrada do condomínio, a captura dos dados iniciou-se às 08:30h até às 16:20h do dia 21 de fevereiro de 2003, no intervalo de 1 em 1 minuto. As Tabelas 2, 3, 4 e 5 abaixo indicam os dados mais significativos dessas medições.

Tabela 2 - Dados médios das tensões, correntes e demandas na saída do transformador.				
Fase	Tensão Média (V)	Corrente Média (A)	Demandas Máximas	
			Fora Ponta	Ponta
A	233	9,5	16,7(kW) / 9,2(kVAr)	20,2(kW) / 7,5(kVAr)
B	236	8,6	15,5(kW) / 9,2(kVAr)	16,5(kW) / 7,4(kVAr)
C	245	11,4	15,4(kW) / 6,9(kVAr)	16,4(kW) / 6,7(kVAr)

Tabela 3 - Dados médios do consumo e do fator de potência na saída do transformador.									
Fase	Fora de Ponta			Ponta			Total		
	kVArh	kWh	FP(%)	kVArh	kWh	FP(%)	kVArh	kWh	FP(%)
A	1,12	1,18	72	1,47	2,06	81	2,59	3,24	78
B	0,83	1,09	79	1,22	2,04	86	2,05	3,13	83
C	0,76	1,57	90	1,49	3,56	92	2,25	5,13	91
<b>Total</b>	2,71	3,84	82	4,18	7,66	88	6,89	11,50	85

Tabela 4 - Dados médios das tensões, correntes e demandas máximas na entrada do condomínio.			
Fase	Tensão Média (V)	Corrente Média (A)	Demandas Máximas
			Fora Ponta
A	227	22,4	18,2(kW) / 11,8(kVAr)
B	229	16,9	15,8(kW) / 11,5(kVAr)
C	229	16,2	15,6(kW) / 10,8(kVAr)

Tabela 5- Dados médios do consumo e do fator de potência na entrada do condomínio.			
Fase	Fora de Ponta		
	kVArh	kWh	FP(%)
A	2,41	4,10	86
B	2,18	2,87	80
C	1,73	2,27	79
<b>Total</b>	6,32	9,24	82

Antes de comentar os resultados, faz-se necessário uma observação quanto à representação dos gráficos relacionados ao fator de potência (FP). Nestes gráficos, a parte positiva representa o FP indutivo ou atrasado, o qual é o representante da grande maioria das cargas no sistema. Por outro lado, a parte negativa representa o FP capacitivo ou conhecido também como adiantado. Portanto, para a análise destes gráficos deve-se lembrar que o FP estando 100% indutivo e ao passar para capacitivo, o gráfico sofre uma inversão para a parte negativa.

Através do levantamento da carga instalada nas residências 1, 2 e 3 onde pode ser visto na Tabela 1 observa-se que está entre 15kW à 25kW. Pode-se dizer que estas cargas são típicas de unidades residenciais de classe média baixa brasileira, sendo que a residência 1 é trifásica.

Na residência 1 observa-se que próximo das 04:00h as tensões aumentam e as 09:00h caem, e nesta última hora está sendo utilizado o chuveiro. Ainda, com relação ao FP, às 04:00h este tornou-se capacitivo e no momento da utilização do chuveiro, devido a sua potência ativa, o FP aumentou consideravelmente. Pode ser considerado um valor médio do FP de 82% indutivo. É importante observar que existe um desequilíbrio da carga instalada entre cada fase desta residência.

Na residência 4, verifica-se claramente que nos horários de ponta e também no período da manhã ocorrem acentuadas quedas de tensão e aumento de corrente, pois estes horários são os maiores consumo de energia. O FP trifásico médio desta residência está próximo a 77% indutivo. Nesta residência também ocorre o desequilíbrio da carga instalada entre as fases.

A residência 5 ficou sendo um caso particular, pois esta além de ter cargas típicas residenciais, possui também 4 refrigeradores para o armazenamento de sorvetes, e com isto verifica-se que o FP médio é aproximadamente 57% indutivo. Observa-se que o FP aumenta nos horários de ponta, possivelmente com a utilização do chuveiro e do acionamento de lâmpadas incandescentes.

As residências 2 e 4 estão com o FP médio de 85% e 87% indutivo, respectivamente, apresentando valores de picos capacitivos durante o período da tarde e também de madrugada. Na saída do transformador, observa-se que o FP entre as fases estão um pouco distantes entre si, ficando no valor médio trifásico em 85% indutivo. Já para a entrada do condomínio, verifica-se um equilíbrio maior entre o FP de cada fase, sendo que o trifásico está em 82% indutivo.

Com relação ao desequilíbrio da carga instalada entre as fases, observa-se que mesmo as residências trifásicas podendo não estar equilibradas, e mais a adição das residências monofásicas, sendo que estas são equilibradas através das fases selecionadas pelas concessionárias, mas não pela sua carga instalada, existe a probabilidade de ocorrer maior equilíbrio na saída do transformador que alimenta as residências, isto também pode ser observado na medição da entrada do condomínio e lembrar que as medições nas residências não são as da saída do referido transformador e nem as da entrada do condomínio, confirmando a probabilidade do equilíbrio.

Para as medições e os gráficos analisados, algumas observações e propostas são feitas para a correção do FP.

- Para as residências 1, 2, 3 e 4 não se justifica a necessidade da instalação de banco de capacitores, pois o FP sendo muito dinâmico, com a instalação deste poderá fazer com que o mesmo passe de indutivo à capacitivo. Ainda, o custo da instalação do banco de capacitores não compensa devido ao consumo baixo da residência;
- Para a residência 5, justifica-se a instalação de banco de capacitores. O consumo desta residência já é significativo, e ainda, apesar do FP também ser dinâmico, consegue-se observar uma maior flexibilidade em sua variação, ou seja, se for instalado um banco de capacitores, consegue-se dimensioná-lo sem prejuízos de este passar a ser capacitivo;
- Para a saída do transformador e entrada do condomínio, facilmente se justifica a instalação do banco de capacitores. Para elevar o FP para no mínimo 92% indutivo, para a saída do transformador um banco trifásico de 2kVAr e para a entrada do condomínio um banco trifásico de 2,4kVAr, ou seja, encontra-se para aquisição o banco de 2,5kVAr;
- Pode-se ainda considerar de modo geral, devido a dinâmica do FP no sistema de unidades residenciais, um chaveamento pré-temporizado de capacitores nas fases ou também do banco trifásico. Esta justificativa se dá comparando com a correção automática do FP, haja vista o seu custo e também a dinâmica do FP, o que causaria um contínuo chaveamento dos mesmos. Mas, para esta proposta, deve-se ainda se ter mais dados do FP ao longo do mês, e principalmente nos finais de semana;
- Para a correção proposta na saída do transformador, verifica-se uma liberação média de 1,1kWh, o que corresponde a aproximadamente a 10% do consumo;
- Para a instalação do banco trifásico na entrada do condomínio, a liberação média para o sistema é de 1,3kWh, correspondente a 14% do consumo, e ainda, existe a grande vantagem da redução da corrente que circula pelo sistema de baixa tensão, diminuindo assim as perdas;
- A outra possibilidade da instalação dos capacitores seria nos ramais intermediários da rede de baixa tensão, ou seja, em pontos intermediários entre o transformador e as residências ou os condomínios.

### **3. Conclusões**

A grande vantagem da instalação dos capacitores nos sistemas de baixa tensão, principalmente nos consumidores finais, no caso proposto as unidades residenciais, além da liberação de carga para o sistema, ocorre também a redução das perdas devido a diminuição considerável da corrente. Também, com a diminuição da corrente circulando no sistema, ocorre uma melhoria considerável no nível de tensão.

Para uma aplicação destes capacitores nas unidades residenciais, deve-se ter em mente o custo da instalação, ainda, uma boa análise do comportamento do FP durante todo o dia, podendo acarretar na correção do FP capacitivo, ou ainda, passar do limite proposto de 92%.

O custo da instalação para o banco de capacitores trifásicos de baixa tensão está no valor médio de R\$ 55,00 por kVAr ( referência maio de 2007). Deve-se também estar ciente de que não adianta simplesmente instalar o banco de capacitores, seja na saída dos transformadores, entradas de condomínios e de unidades residenciais, ou casos particulares das cooperativas e concessionárias de energia elétrica, se não existir um treinamento, um plano de acompanhamento e manutenção, bem como um comprometimento com relação ao corpo técnico da empresa.

Deve-se ainda efetuar estudos relativos as normas da ABNT ( Associação Brasileira de Normas Técnicas ) para a instalação dos capacitores ou bancos na rede de baixa tensão.

Conforme estudos realizados (FIRMO, 2001 e FIRMO, 2004) existem um grande potencial neste setor para a eficiência energética, sendo uma área de atuação cujo impacto é positivo. Ainda, a grande dificuldade de construção de novas usinas geradoras, seja através de leis ambientais ou por falta de disponibilidade destes recursos, faz-se cada vez mais necessário utilizar a energia elétrica com maior eficiência.

De modo geral, a preocupação com relação a eficiência energética deve vir primeiramente pela conscientização do consumidor, mas no caso específico da correção do FP na baixa tensão os maiores benefícios serão para as concessionárias de energia elétrica.

### **4. Referências bibliográficas**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n° 456 de 29 de novembro de 2000, governo federal. Brasília, Df, 2000.

HADDAD, J., P. H. R. P. Gama e Outros. Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos. 2 ed. Editora da EFEI, Itajubá, MG, 2001.

FIRMO, D. L., C. E. P. Oliveira e Outros (2005). Reflexões sobre a correção de fator de potência em unidades residenciais. Universidade Federal de São João Del-Rei, MG.

FIRMO, D. L., C. E. P. Oliveira e Outros. Medição de fator de potência de residências. Anais do III congresso de produção científica da universidade federal de São João Del-Rei. São João Del-Rei, MG, 2004.