

MICROGERAÇÃO SOLAR DE ENERGIA ELÉTRICA INTERLIGADA A SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO

Murilo Miceno Frigo – murilofrigo@uft.edu.br

Universidade Federal do Tocantins, Curso de Engenharia Elétrica

Paulo Irineu Koltermann – koltermann@del.ufms.br

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Curso de Engenharia Elétrica

Resumo. Com a crescente demanda de energia elétrica e a necessidade de se buscar a sustentabilidade em todos os processos de produção, a sociedade tem pressionado para se ampliar a geração elétrica por meio de fontes alternativas aos combustíveis fósseis e as grandes hidrelétricas. É neste intuito que surge a microgeração de energia elétrica, que consiste em aproveitar pequenas fontes renováveis de forma a gerar energia no próprio consumidor, forma conhecida como geração distribuída. Este trabalho tem o objetivo avaliar o comportamento de uma rede de distribuição de energia elétrica em baixa tensão em diversos cenários de carga e microgeração. Para as análises foram utilizados modelos em SIMULINK/MATLAB. Foi possível concluir que a injeção de potência elétrica oriunda da microgeração tende a diminuir perdas joule e melhorar o perfil de tensão, além de ser eficaz medida de eficiência energética. Por outro lado é preciso atenção em relação ao aumento das distorções harmônicas na rede e pode prejudicar os índices de qualidade como fator de potência, desequilíbrios de fase, perdas além de distúrbios provocados pela distorção harmônica.

Palavras Chave: Microgeração, energia fotovoltaica, rede de baixa tensão.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário energético por possuir uma matriz predominantemente renovável devido a forte participação das hidrelétricas. Mesmo assim a matriz nacional é questionada em relação aos impactos ambientais, pois a hidroeletricidade possui a fragilidade devido aos impactos socioambientais das áreas alagadas e a agressividade do processo de implementação da mesma, além do tempo de construção que é considerado longo. Atualmente a principal fonte de apoio a hidroeletricidade são as plantas térmicas de geração elétrica, utilizando principalmente o gás natural como fonte primária de abastecimento. Em alternativa a essa problemática governos de vários países vem adotando políticas de incentivo a fontes alternativas de energia elétrica e a geração de características distribuída.

Dentro dos desafios e oportunidades que surgiram neste contexto, reluz a microgeração, que se define por pequenas unidades geradoras diretamente conectadas aos sistemas de distribuição, com uma capacidade que abrange potências menores ou iguais a 100 kW, e baseadas em fontes renováveis e alternativas de energia, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012).

Esses pequenos sistemas têm ganhado importância em países como Inglaterra, Estados Unidos e Alemanha, devendo no futuro tornarem-se comum na maioria dos grandes países, pois tem se tornado popular entre os consumidores domiciliares o interesse de gerar sua própria energia para assegurar seu abastecimento e também colaborar para a redução de emissão de gases contaminantes ao meio ambiente.

O uso da microgeração oferece grandes desafios. As primeiras barreiras encontradas foram as referentes à regulamentação, barreiras técnicas de conexão das microunidades, a rede de distribuição, questões de ordem econômica em razão do alto custo de instalação e longo tempo de retorno do investimento, divulgação de informações e conhecimento técnico para venda e instalação que ocasionam dúvidas sobre a real eficiência e confiabilidade por parte dos usuários, Walker (2005). A Fig. 1 apresenta o resumo do averiguado por Walker em suas pesquisas.

Barreiras para microgeração

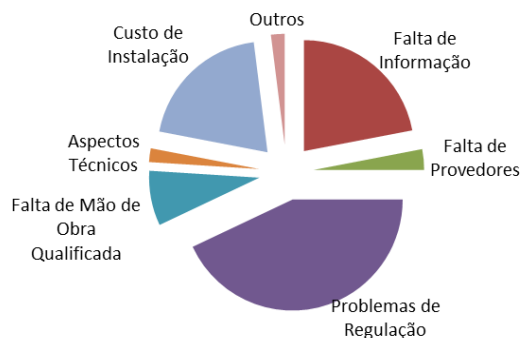


Figura 1. Barreiras percebidas para micro geração segundo Walker (2005).

Nos últimos anos nota-se no Brasil um interesse nacional em se incorporar fontes alternativas de energia na matriz energética nacional. As apostas passam ampliação do parque eólico, utilização de biomassa, cogeração e na geração fotovoltaica. Essas tecnologias são amplamente indicadas para equilibrar localmente as necessidades de pequenas comunidades, dispensando a ampliação do setor de transmissão e distribuição.

Finalmente o marco regulatório foi a aprovação da Resolução ANEEL 482/12 de 17 de abril de 2012, regras que incentivam a micro e minigeração no Brasil, estabelecendo um prazo de 240 dias para que as distribuidoras se igualem ao novo método (ANEEL, 2012)

Neste trabalho, foi realizada uma simulação de uma rede de distribuição residencial. Através da curva de cargas estimada, estabeleceu-se um perfil de geração fotovoltaica distribuído pela rede de baixa tensão, e avaliou-se os principais parâmetros elétricos da rede BT. Tais como, fator de potência, níveis de tensão, queda de tensão no condutor, presença de harmônicos, desequilíbrios entre fases, e corrente de neutro. O trabalho também estudou a influência da microgeração sobre a curva de carga, avaliando seu desempenho como fonte de energia e eficiência energética global da rede de distribuição.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para validar a simulação e tornar o trabalho o mais real possível, foram estudadas as características das redes de baixa tensão, tais como arquiteturas, equipamentos, natureza desses equipamentos, transformadores de distribuição condutores e características das cargas. Dessa forma com auxílio do TOOLBOX SIMULINK do programa MATLAB a simulação da rede foi feita segundo modelo de Souza (2009).

A modelagem da rede BT, parte do alimentador primário, representado por uma fonte trifásica de 13,8 kV em 60Hz. A jusante segue o transformador de distribuição que faz a conversão dos níveis de tensão de 13,8 kV (tensão de linha) para 220 Volts (tensão de linha), os transformadores de distribuição urbanos são em sua maioria trifásicos e possuem a configuração delta-estrela aterrada, que possibilita o surgimento do condutor neutro no lado da baixa tensão e a disponibilidade de uma segunda tensão, tensão entre fase e neutro que no sistema baseado nos municípios do estado do Mato Grosso do Sul, é de 127 volts. As cargas são representadas de forma agrupada para simplificação das simulações e apresentam um perfil misto de cargas lineares e não lineares. O modelo da rede de distribuição segue abaixo na Fig. 2.

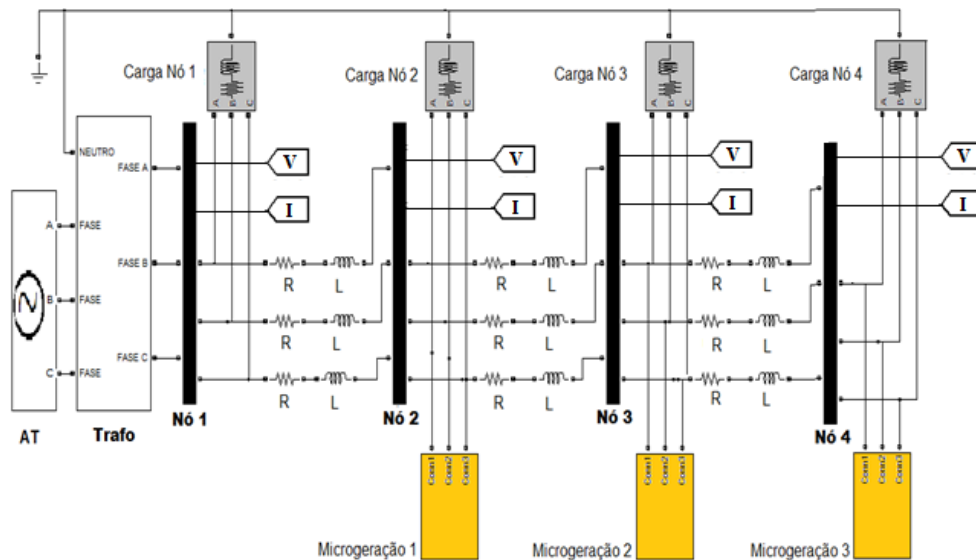


Figura 2. Sistema de distribuição simulado.

Para a execução das simulações foram elaborados cenários visando contemplar as diversas operações da rede de distribuição de energia, juntamente com suas cargas e microgerações ao longo do tempo.

Os cenários são didaticamente divididos em quatro grupos, no primeiro grupo tem-se um perfil que se denominou Plena Carga (Simulação 1), no segundo, definiu-se o perfil de Carga Branda (Simulação 2), no terceiro grupo é feito uma simulação de geração Desbalanceada (Simulação 3), no quarto grupo o perfil de geração ao longo de um dia (Simulação 4). Nos grupos um, dois e três foram variadas as potências de microgeração em Baixa, Média e Alta potência dessa forma obteve-se cenários distintos.

A Simulação 4 foi apresentada de forma a variar a carga e geração durante 24 horas. Ou seja, cruzou-se a curva de carga de um consumidor residencial com a curva da potência gerada pela unidade de microgeração ao longo de um dia típico de funcionamento, dessa forma obteve uma segunda curva de carga, atenuada pela microgeração, buscou-se nessa simulação analisar o novo perfil dos alimentadores de baixa tensão na presença de geração distribuída.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Simulação 1, variou-se a microgeração em 1200 Watts, 2100 Watts e 3000 Watts de potência injetada, nos nós 2, 3 e 4. Como se tem um leve aumento de consumo de reativos por parte dos filtros das unidades de microgeração e ainda, como a unidade microgeradora fornece energia ativa, mas a energia reativa que as cargas consomem continua sendo fornecida pelo sistema elétrico, tem-se uma brusca queda do fator de potência com o aumento da presença de microgeradores. A Fig. 3 apresenta os valores do fator de potência por nó da Simulação 1.

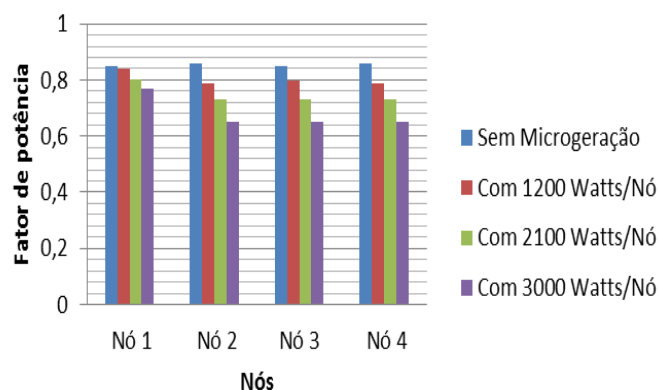


Figura 3. Fator de Potência para o primeiro grupo de cenários.

Com relação ao perfil de tensão, a microgeração de energia elétrica assim como as demais formas de geração distribuída, apresentou a característica de melhorar. No Nó 4 (final de rede) é possível perceber bem esta contribuição com a melhoria de mais de 1% de regulação entre o cenário Sem Microgeração e Com 3000 Watts/Nó.

A Fig. 4 apresenta os valores da tensão em relação a tensão nominal da rede calculada em percentagem (%) simulados para a Simulação 1.

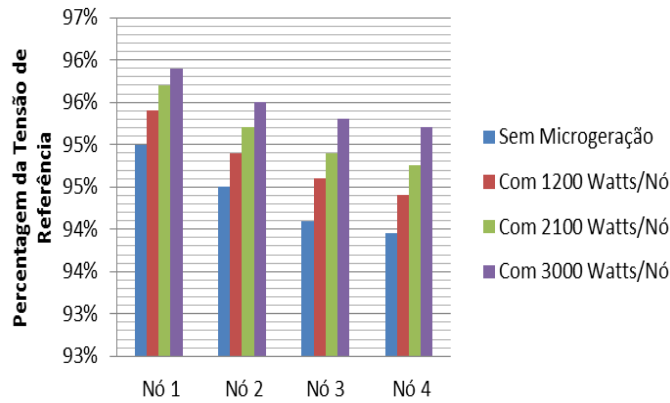


Figura 4. Tensão nos nós para o primeiro grupo de cenários

As unidades microgeradoras precisam de acionamentos eletrônicos de potência para adequar a potência elétrica gerada para ser entregue na rede e/ou utilizada nos equipamentos elétricos (cargas). Os componentes eletrônicos que fazem essa conversão são dispositivos compostos por materiais de característica não linear, portanto causadores de harmônicos de corrente e tensão. A Fig. 5 apresenta a variação da distorção harmônica de corrente na rede devido a injeção fotovoltaica.

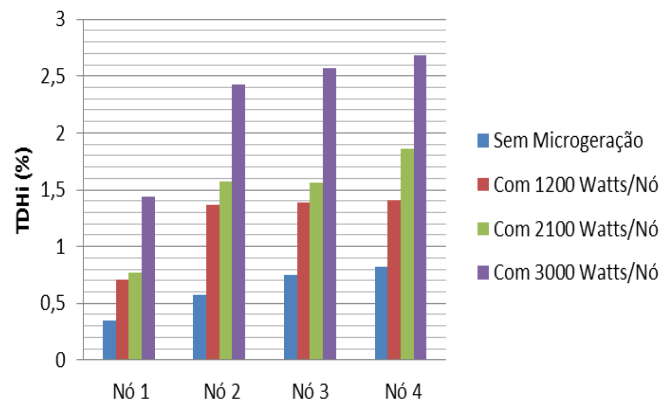


Figura 5. Distorção harmônica de corrente nos nós para a Simulação 1.

No sistema todas as cargas são balanceadas, não havendo desequilíbrios entre as cargas. Neste grupo 1 de cenários, a microgeração também é trifásica e balanceada, os valores de corrente de neutro são apresentados pelo Fig. 6.

Corrente de Neutro (A)

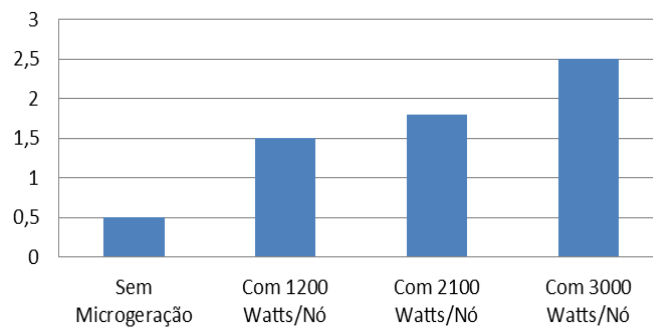


Figura 6. Corrente de neutro para os Cenários 1, 2, 3 e 4 do primeiro grupo.

Na Simulação 2, ou seja, com carga moderada é possível observar que na situação limite do Cenário com 3000 Watts nó, e carga baixa tem-se uma redução drástica do fator de potência do sistema. No Nó 4, como quase 100% da demanda de reativos é suprida pela microgeração, o nó se comporta como um consumidor puramente indutivo, neste caso o FP chega a ser menor que 0,1, como pode ser visto na Fig. 7. Com relação à regulação de tensão, o perfil carga

baixa apresenta o mesmo comportamento do perfil de plena carga apresentado na Simulação 1. Porém, quando se tem uma grande potência de microgeração conectada à rede a regulação passou 100%, ainda dentro dos níveis previstos pelo Módulo 8 do PRODIST, Tabela 3.2 (ANEEL, 2011), como pode ser visto na Fig. 8.

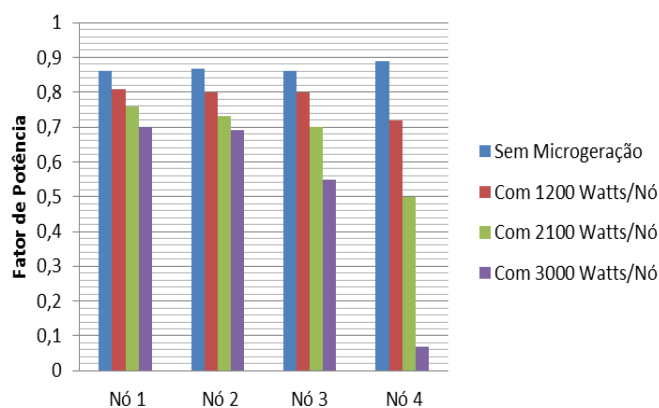


Figura 7. Fator de Potência na Simulação 2.

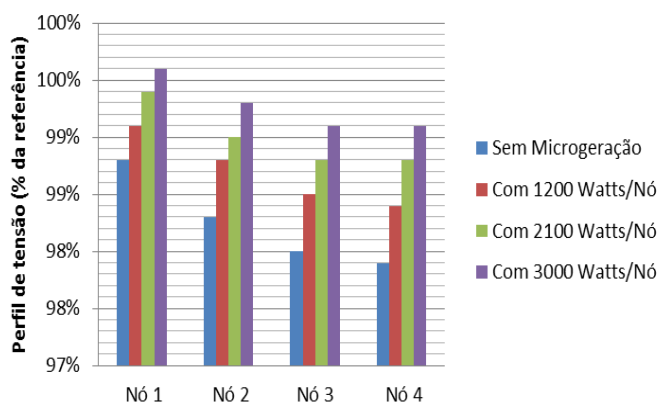


Figura 8. Percentagem de da tensão de referência na Simulação 2.

Na Simulação 3, é apresentado um sistema de distribuição similar a Simulação 1, com microgeração inserida de forma desbalanceada na rede. Nesta simulação foi observado a corrente de neutro, os desequilíbrios de tensão e as distorção harmônica TDHv por fase, com a injeção desbalanceada da microgeração, ou seja, microgeração monofásica inserida na rede, a corrente de neutro aumentou significativamente atingindo 9 ampères por fase, os índices de distorção harmônica também apresentaram valores diferenciados por fase, sendo mais acentuados nas fases com presença de microgeração, o perfil de tensão das fases também apresentou uma característica de desequilíbrio como pode ser visto na Fig. 9.

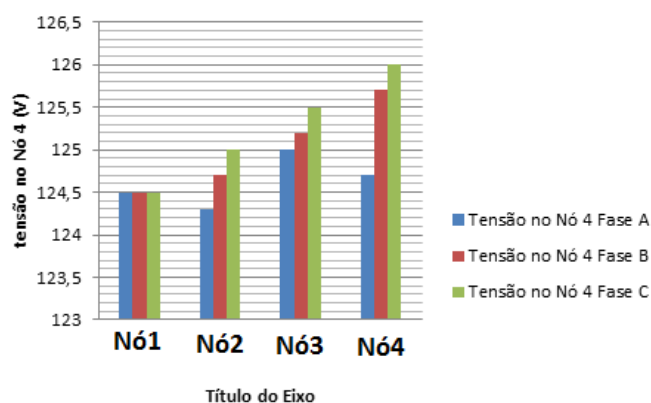


Figura 9. Perfil de tensão no Nó 4 para a Simulação 3.

Nas simulações anteriores 1, 2 e 3, vários cenários são apresentados envolvendo relações entre carga alta e baixa e microgeração não existente, média e alta. Porém na prática durante um dia de funcionamento do sistema elétrico esses cenários são variáveis, o comportamento das cargas depende do comportamento humano de sua utilização e a microgeração da disponibilidade de sua fonte primária de energia, no caso luz solar. Na Simulação 4, uma carga foi modelada de forma a representar a variação de carga durante o período de um dia (24 horas). A Fig. 10 apresenta a Curva de Carga com e sem presença de microgeração.

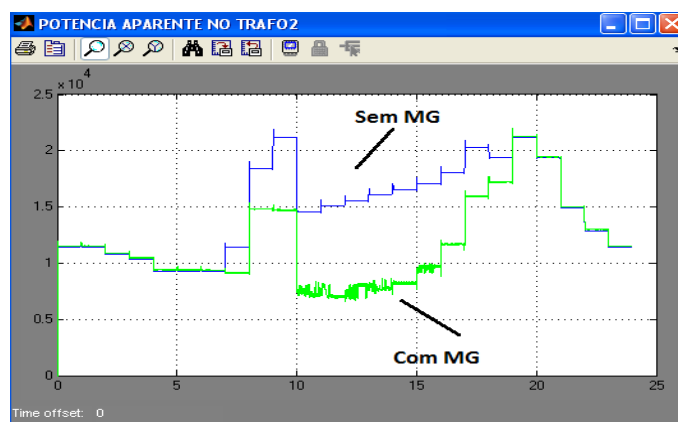


Figura 10. Curva da Potência no Nó de conexão da microgeração e da carga e curva de carga para a Simulação 4.

4. CONCLUSÃO

Como conclusão geral, observou-se a importância de se estudar e estabelecer critérios para as condições de injeção de microgeração de energia elétrica na rede, uma vez que com o a regulamentação dessa nova modalidade de geração distribuída espera-se um aumento progressivo de unidades geradoras. É possível observar que as distorções harmônicas são mais expressivas no ponto de conexão da unidade e por tanto, este deve ser o mais afastado possível de cargas sensíveis, e de equipamentos como transformadores, equipamentos para correção de fator de potência e dispositivos de proteção. É possível observar também que a injeção deve obedecer da melhor forma possível uma distribuição homogênea entre as 3 fases. Em todos os cenários simulados houve uma grande queda no Fator de Potência o que indica a possível necessidade de correção deste parâmetro nas linhas onde a microgeração for expressiva. Outro fator importante é conhecer o perfil carga-geração, pois assim estratégias podem ser elaboradas a fim de se otimizar essa relação. Um exemplo é que a curva de carga de grandes centros comerciais, na maior parte do Brasil, possui a característica de ter um pico durante os períodos mais quentes do dia devido a sistemas de refrigeração. Dessa forma, a microgeração poderia de fato achatar a curva em seu horário de pico. De um modo geral para as simulações feitas no presente trabalho a microgeração não apresentou níveis preocupantes de distorção harmônica, por apresentar perfil parecido com as atuais cargas não lineares já presentes em massa nas redes de distribuição BT.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica, 2011. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_4.pdf>. Acesso em: 06 de abril de 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília seção 1, p. 53, v. 149, n. 76, 19 de abril de 2012, retificado no D.O. de 08.05.2012 e 19.09.2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 01 de janeiro de 2013.
- Souza, Ricardo Manuel Adriano. Impacto da microgeração na qualidade de energia de uma rede de baixa tensão. 2009. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa (Portugal). Disponível em: <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/57aq0084/1/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 10 de agosto de 2012.
- Walker, Sara. Potential for microgeneration: study and analysis. 2005. Project Report. Department of Trade and Industry, London, UK. Disponível em: <<http://nrl.northumbria.ac.uk/468/1/Walker%20SL%20%2D%20Potential%20for%20microgeneration%2D%20study%20and%20analysis%20%2D>>.

MICROGENERATION SOLAR ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEMS CONNECTED TO LOW VOLTAGE

Abstract. *With the growing demand for electricity and the need to seek sustainability in all production processes, the company has pushed to expand electricity generation through clean sources said. It is with this objective that arises microgeneration of electricity, which is to take small renewable sources to generate energy in the consumer himself, form known as distributed generation. This study aims to evaluate the behavior of a distribution network of electricity at low voltage in various load scenarios and microgeneration. For the analysis we used models in SIMULINK / MATLAB. It was concluded that the injection of electrical power coming from the micro causes an increase of the harmonic distortion in the network and can harm the quality indices as power factor, phase imbalances, losses and disturbances caused by harmonic distortion. The injection of energy microgeneration, on the other hand, tends to decrease joule losses and improve the voltage profile, in addition to being effective efficiency measure energetics. Microgeração Solar Electric Power Distribution Systems Connected to Low Voltage.*

Key words: Microgeneration, photovoltaic power, low-voltage network.