

Revista Brasileira de Energia

É permitida a reprodução parcial ou total da obra, desde que citada a fonte. Informação obtida no verso da folha de rosto da versão impressa em 22 de julho de 2014.

REFERÊNCIA

SEVERINO, Mauro Moura; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. Geração distribuída: discussão conceitual e nova definição. **Revista Brasileira de Energia**, v.14, n.1, p.47-69, 2008. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/rbe/revista/26/>>. Acesso em: 22 jul. 2014.



GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: DISCUSSÃO CONCEITUAL E NOVA DEFINIÇÃO

Mauro Moura Severino¹

Ivan Marques de Toledo Camargo²

Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira³

RESUMO

Os sistemas elétricos convencionais não conseguem garantir o suprimento sustentável de energia elétrica com a abrangência e a qualidade exigidas pela sociedade do século XXI.

Esse fato, associado ao enorme avanço tecnológico dos últimos anos, abriu razoável espaço para a expansão da geração distribuída (GD), que tem como seus principais focos o fornecimento de energia elétrica a quem ainda não tem acesso a ela e a redução dos impactos ambientais da geração centralizada convencional.

No Brasil, por motivos sociais, ambientais, econômicos, legais e estratégicos, a discussão acerca desse tema é imprescindível. Então, considerando-se que o tema GD é bastante importante, especialmente para o Brasil, controverso e não-consolidado, faz-se necessária uma ampla discussão acerca dele, a começar pelos aspectos conceituais.

Este trabalho, reconhecendo essa necessidade, discute, de forma inédita, o conceito de GD e conceitos e aspectos relacionados a ela; propõe novas classificações de aspectos relativos à GD; propõe uma nova definição de

1 Universidade de Brasília – UnB/FT/ENE, Asa Norte, Brasília/DF, CEP 70.919–970 – Tel.: (61) 3273–5977, Fax: (61) 3274–6651 – E-mail: mauroseverino@ene.unb.br

2 Universidade de Brasília – UnB/FT/ENE, Asa Norte, Brasília/DF, CEP 70.919–970 – Tel.: (61) 3273–5977, Fax: (61) 3274–6651 – E-mail: ivancamargo@unb.br

3 Universidade de Brasília – UnB/FT/ENE, Asa Norte, Brasília/DF, CEP 70.919–970 – Tel.: (61) 3273–5977, Fax: (61) 3274–6651 – E-mail: mago@ene.unb.br



GD, mais completa e com mais aplicabilidade que as existentes; e sugere aplicações inovadoras para os resultados apresentados.

PALAVRAS-CHAVE: Geração distribuída, discussão conceitual, definição, classificações, índice de distribuição da geração.

ABSTRACT

Conventional electric systems can't assure electrical energy sustainable supplying within a wide range and with the quality required by 21th century society.

This fact associated to the huge technological development of the last years opened space for distributed generation (DG) expansion, which has as it's main objects of interest electrical energy supplying for those who don't have access to it yet and reduction of environmental impacts of conventional centralized generation.

In Brazil, due to social, environmental, economics, legal and strategic reasons, the discussion about this subject is indispensable. Thus, considering the importance of DG, especially for Brazil, and the fact that it is a controversial and non-consolidated subject, it becomes necessary a wide discussion about it, starting with the conceptual aspects.

This paper, recognizing this necessity, discusses, in an original way, the concept of DG and also concepts and aspects related to it; proposes new classifications of aspects related to DG; presents a new definition of DG, more complete and more applicable than the existing ones; and finally suggests innovative applications for the presented results.

KEY WORDS: Distributed generation, conceptual discussion, definition, classifications, distribution of generation rate.



1. INTRODUÇÃO

Pesquisador do *Worldwatch Institute* (WWI), organização de pesquisa com sede em Washington, nos Estados Unidos da América (EUA), afirma que o tipo de energia de alta confiabilidade necessária para a economia atual só poderá se fundamentar em uma nova geração de aparelhos de microenergia que estão chegando ao mercado. Isso permitiria aos lares e empresas produzirem sua própria eletricidade, com muito menos poluição (Biblioteca Digital WWI-UMA, 2001). Nesse início de segundo século da era da eletricidade, um choque triplo de tendências tecnológicas, econômicas e ambientais tem potencial para empurrar o sistema energético para um modelo mais descentralizado de pequena escala (Dunn, 2000), o que representaria grande alteração no *status quo*.

Em muitos lugares do mundo com realidades como a brasileira, é absolutamente esperado e desejável que esse choque seja quádruplo, acrescentando-se as tendências sociais às já citadas. Ao longo de quase toda a sua história, os sistemas elétricos têm atendido à demanda dos consumidores com base na premissa da geração convencional, dita centralizada. As usinas geradoras são, em geral, de grande porte, associadas a fontes primárias de energia cujo aproveitamento é mais vantajoso no local de ocorrência, e conectadas a extensas linhas de transmissão e de distribuição com o objetivo de atenderem às necessidades de consumo de forma econômica e confiável. Todavia, regiões distantes, com baixa densidade populacional e pequenas demandas de consumo, fogem desse tipo de planejamento, haja vista que o atendimento a esse tipo de consumidor via extensão da rede elétrica convencional quase nunca é vantajoso do ponto de vista do retorno econômico, comprometendo, assim, o acesso universal à energia elétrica e aumentando, ainda mais, as disparidades sociais (Rodríguez, 2002).

Estima-se que, atualmente, cerca de dois bilhões de pessoas, quase um terço da população mundial, não têm acesso à energia elétrica nem contam com os meios para que se evitem ciclos recorrentes de pobreza e privações. Por outro lado, os impactos negativos decorrentes da produção e do uso da energia elétrica contribuem para aumentar a ameaça à saúde e ao bem-estar das atuais e das futuras gerações (WEA, 2000). No Brasil, os números são um pouco melhores que esses, mas são extremamente altos (Walter, 2000): cerca de 25 milhões de pessoas, aproximadamente 15% da população do país, vivem sem acesso à energia elétrica. Essa população vive majoritariamente no meio rural e em áreas remotas do país. Estima-



se que 100 mil propriedades rurais brasileiras também não têm acesso à eletricidade, dificultando a melhoria da qualidade de vida das pessoas e o desenvolvimento econômico e social das regiões em que estão localizadas. Essa realidade exige mudanças no paradigma da indústria da eletricidade.

Em razão disso, o mercado a ser ocupado pela geração distribuída (GD) está em expansão, tendo como um dos focos principais e subárea de maior possibilidade de crescimento o fornecimento de energia elétrica a quem ainda não tem acesso a ela. Logo, o crescimento da GD nos próximos anos parece inexorável, conforme indicam o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2007) e Ackermann, Andersson e Söder (2001). No Brasil, o tema merece destaque especial pelos seguintes motivos: (a) nos últimos anos, a qualidade ambiental da matriz energética brasileira piorou bastante; (b) as mudanças climáticas anunciadas podem comprometer a segurança hídrica necessária à principal fonte de geração de energia elétrica no país; (c) a insuficiência de água nos reservatórios e de gás natural pode causar desabastecimento de energia elétrica ou, no mínimo, aumentar o risco de que isso ocorra e a insegurança para toda a sociedade, com fortes impactos econômicos; (d) o país tem o compromisso legal da universalização do acesso à energia elétrica.

Então, considerando-se que o tema GD é bastante importante, controverso e não-consolidado e que o Brasil tem enorme potencial nessa área, faz-se necessário que ele seja amplamente debatido, a começar por uma profunda discussão conceitual. Este trabalho presta-se a tal propósito, pois discute, de forma inédita, o conceito de GD e conceitos e aspectos relacionados a ela; propõe novas classificações de aspectos relativos à GD; propõe uma nova definição de GD, mais completa e com mais aplicabilidade que as existentes; e sugere aplicações inovadoras para os resultados apresentados.

2. CONCEITO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

2.1. Conceitos, definições e classificações pertinentes

A geração centralizada encontrada nos sistemas elétricos tradicionais não é o contraposto da geração distribuída: a geração centralizada não é concentrada em um único ponto, nem a geração distribuída está presente em todas as unidades consumidoras de energia elétrica. Sendo assim, parece simples aceitar-se a idéia de que a distribuição da geração não é uma questão de estado, mas, sim, de grau, já que um sistema elétrico co-



num nunca terá uma única usina geradora assim como não terá tantos geradores quantas forem as unidades consumidoras. Na realidade, a geração de energia elétrica, mesmo a tradicional, sempre foi distribuída geograficamente, pois, em virtude do grande porte das usinas geradoras, apenas algumas localidades geográficas possuem os requisitos técnicos necessários ao suporte de tais usinas. Então, é correto concluir que a geração tradicional, em geral, é constituída por usinas de grande porte que estão distribuídas geograficamente, sendo que a literatura especializada não definiu consensualmente o que são usinas de grande porte muito menos qual é o grau de distribuição da geração em determinada região que permite qualificar se a geração é centralizada ou distribuída.

A análise da literatura relevante dessa área mostra que as definições existentes para GD não são consistentes e que ainda não há uma definição de GD geralmente aceita, conforme destacado por Ackermann, Andersson e Söder (2001), por El-Khattam e Salama (2004), por Dias, Bortoni e Haddad (2005), por Lora e Haddad (2006) e por Rodrigues (2006).

Para mostrar a diversidade de visões acerca da definição de GD, Severino (2008) mostra 23 textos de diferentes origens — aqui denominados definições-exemplo — que, se não conseguem defini-la adequadamente, colaboram muito para a discussão e a elaboração do conceito de GD. Nessas definições-exemplo, verifica-se que cada autor utiliza a definição que satisfaz a determinadas necessidades. Mesmo grandes e famosas organizações de caráter técnico, como o *International Council on Large Electric Systems* (CIGRE), o *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) e a *International Energy Agency* (IEA) divergem substancialmente com relação à definição de GD. Todavia, em vez de essa diversidade de opiniões representar uma situação de completa falta de entendimento, ela indica a recente evolução conceitual de um tema, a dificuldade de se definir uma tendência razoavelmente nova na indústria, no mercado e nos sistemas rerregulamentados de energia elétrica (Ackermann, 2004). Cada definição apresentada traz informações importantes acerca de um ponto de vista pelo qual a GD é vista. Com diversas informações disponíveis, é possível construir uma lista de aspectos relevantes a serem discutidos para a elaboração do conceito de GD e para a elaboração de uma definição mais adequada e precisa de GD (Severino, 2008).

Uma possível lista foi proposta por Ackermann, Andersson e Söder (2001) e discutida por El-Khattam e Salama (2004), em que estão incluídos os seguintes aspectos, a serem analisados individualmente a seguir: o



propósito; a localização; a especificação da potência; a área de entrega da energia gerada; a tecnologia; o impacto ambiental; o modo de operação; a propriedade; e o nível de penetração.

2.1.1. O propósito – *Aspecto referido em 21 das 23 definições-exemplo.*

Há relativo consenso entre autores e organizações acerca do propósito da GD: prover uma fonte de energia elétrica ativa. Sendo assim, a GD não está obrigada a prover energia reativa. Todavia, o termo **propósito** deve ser investigado com maior profundidade.

Não resta nenhuma dúvida de que, ao citarem o propósito da GD como um aspecto relevante, os autores utilizaram o termo com a acepção de intuito, objetivo, finalidade. Porém, este enfoque é apenas correto de um dos três pontos de vista possíveis no caso: o do gerador de GD, o do financiador da GD e o do consumidor da energia gerada pela GD.

O propósito descrito anteriormente é o propósito do gerador de GD; portanto, é técnico. O propósito do financiador da GD depende de quem ele é: por exemplo, o propósito pode ser econômico ou político, no caso de o financiador ser um empresário ou um órgão governamental, respectivamente. O propósito do consumidor da energia gerada pela GD é, de fato, utilizar essa energia de alguma forma.

Deve-se, porém, reconhecer que é bastante difícil construir uma classificação adequada considerando-se todos esses propósitos distintos e que, dependendo do caso, um único agente de GD pode concentrar mais de uma dessas figuras. Desse modo, este trabalho propõe uma classificação mais eficaz que, não desconsiderando o que foi exposto anteriormente, simplifica o entendimento do assunto. O foco dessa classificação não é a geração, a propriedade nem a utilização: é a energia gerada. Sob esse foco, há apenas dois pontos de vista: o da origem e o do destino. O propósito da GD do ponto de vista da origem dela é o seu propósito primário, que é o apresentado anteriormente: gerar energia elétrica ativa. O propósito da GD do ponto de vista do destino dela é o seu propósito secundário, que é bastante variável. Para obtê-lo, é necessário que se responda à seguinte pergunta: a energia elétrica gerada é utilizada com que propósito? As muitas respostas possíveis a essa pergunta incluem as seguintes.

- (1) Propósito técnico de engenharia – Têm esse propósito aquelas utilizações que se justificam integralmente pela própria engenharia, como é o caso, por exemplo, da utilização de suporte energético ao sistema elétrico para prover parte da energia requerida pelas cargas e para melhorar o desempenho do sistema.
- (2) Propósito econômico – Têm esse propósito aquelas utilizações que se justificam integralmente por motivos econômicos, como é o caso, por exemplo, da utilização de reserva energética para garantir o fornecimento de energia elétrica das cargas elétricas de uma instalação nos horários em que a energia fornecida pela fonte convencional for mais cara.
- (3) Propósito ambiental – Têm esse propósito aquelas utilizações que se justificam integralmente por motivos ambientais, como é o caso, por exemplo, da substituição de geração poluente de energia elétrica com o objetivo de reduzir ou eliminar a poluição ambiental.
- (4) Propósito social – Têm esse propósito aquelas utilizações que se justificam integralmente por motivos sociais, como é o caso, por exemplo, da alimentação de cargas elétricas para as quais não há a possibilidade de alimentação por meio de outra fonte de energia elétrica, especialmente por rede elétrica convencional.

As utilizações de caráter social são de difícil classificação, haja vista a enorme quantidade de possibilidades distintas e a subjetividade na análise de cada uma delas. Mesmo reconhecendo essa dificuldade, apresenta-se, neste trabalho, uma proposta de classificação dessas possíveis utilizações ainda com foco no propósito, agora mais específico. Para obtê-la, é necessário que se responda à seguinte nova pergunta: para que as pessoas que vivem em locais não-atendidos por uma rede elétrica convencional utilizam a energia elétrica gerada? As muitas respostas possíveis a essa pergunta incluem as seguintes.

Alimentação de cargas elétricas de iluminação e pequenos equipamentos eletrodomésticos – Nesse caso, a pouca energia produz uma pequena melhoria na qualidade de vida dos usuários e caracteriza um propósito de **baixo impacto**.

Alimentação das cargas elétricas citadas no item (I) adicionadas a pequenos sistemas de comunicação, pequenas cargas elétricas de aquecimento e refrigeração e pequenos motores – Nesse caso, a energia produz

uma melhoria na qualidade de vida dos usuários bem superior à do caso anterior e caracteriza um propósito de **médio impacto**.

Alimentação das cargas elétricas citadas nos itens (I) e (II), com a seguinte distinção: essa alimentação sustenta atividade econômica de subsistência – Nesse caso, uma atividade de sobrevivência pode se transformar em uma atividade econômica de subsistência, melhorando substancialmente a qualidade de vida da população envolvida e aumentando a probabilidade de que as pessoas dessa população não abandonem o local de origem para se encaminharem às cidades em busca de melhores condições de vida. A energia envolvida com essa utilização caracteriza um propósito de **alto impacto**.

Alimentação das cargas elétricas citadas nos itens (I) e (II), com a seguinte distinção: essa alimentação sustenta atividade econômica de desenvolvimento – Nesse caso, uma atividade econômica de subsistência pode se transformar em uma atividade econômica de desenvolvimento, melhorando substancialmente a qualidade de vida da população envolvida, aumentando bastante a probabilidade de que as pessoas dessa população não abandonem o local de origem para se encaminharem às cidades em busca de melhores condições de vida e criando a real probabilidade de que pessoas sejam atraídas a viver nesse local em razão da significativa melhoria das condições de vida. A energia envolvida com essa utilização caracteriza um propósito de **altíssimo impacto**.

Em cada projeto de GD, essas possíveis utilizações da energia gerada podem ocorrer sozinhas ou associadas de diversas formas. A Figura 1 sintetiza a proposta de classificação de GD quanto ao propósito, com foco na utilização da energia elétrica gerada, feita aqui.

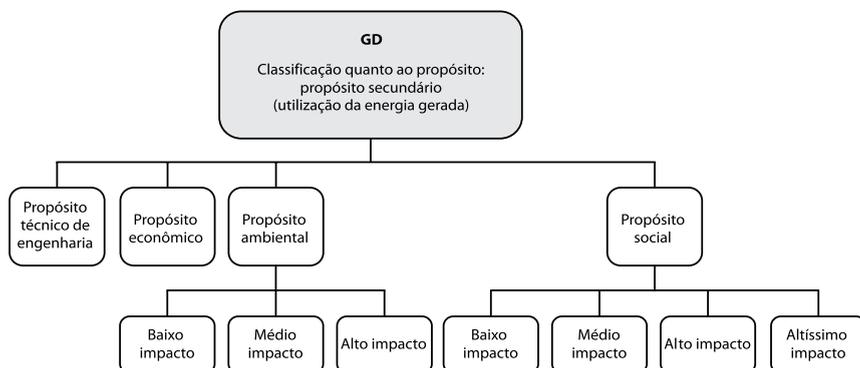


Figura 1 - Classificação de GD quanto ao propósito.



Sob esse ponto de vista, essa classificação não é relevante para a definição de GD, mas é extremamente importante para a análise quanto à finalidade de um empreendimento de geração elétrica.

2.1.2. A localização – *Aspecto referido em todas as definições-exemplo.*

A maioria dos autores define a localização da GD no lado da rede de distribuição, alguns autores também a incluem no lado do consumidor e alguns a incluem até mesmo na rede de transmissão. Com essa diversidade de opiniões, há a necessidade de se fazer uma distinção mais detalhada entre sistema de transmissão e sistema de distribuição. Porém, tendo em vista a grande variabilidade de padrões utilizados em diferentes países ou regiões do planeta, ancorar essa distinção em níveis de tensão e em diretrizes jurídicas requer discussões adicionais, conforme se depreende de Ackermann, Andersson e Söder (2001) e de El-Khattam e Salama (2004).

A localização da GD é o único aspecto contemplado em todas as definições-exemplo de GD apresentadas em Severino (2008). Ademais, os exemplos trazidos pela literatura mostram a dificuldade da aplicação prática dessa definição em certos casos reais ou fictícios, mas plausíveis. Com isso, é correto concluir que a definição de localização da GD, seja de base técnica ou legal, é aspecto de extrema relevância porque, independentemente da potência nominal das usinas de GD, ela tem, como nenhum dos outros aspectos citados, caráter decisório na classificação de uma usina geradora como fonte de GD ou não.

O seguinte exemplo ilustra bem esse fato: Uma cidade de porte médio, que está em processo de crescimento econômico acelerado, é alimentada por uma única linha de transmissão e está localizada no final dela. Essa linha integra um sistema de transmissão e opera com capacidade máxima de transmissão. Para sustentar o aumento da carga, construiu-se uma fazenda eólica de médio porte, instalada em local ideal à tecnologia de geração e conectada diretamente à linha de transmissão. Se vigorar a idéia majoritária de que uma fonte somente é considerada GD se estiver conectada a uma rede de distribuição, essa fazenda eólica não seria classificada como GD, apesar de ser situação considerada por muitos autores como típica de GD. Cabe ressaltar que o art. 14 do Decreto n.º 5.163/2004 é a primeira norma legal brasileira a definir GD, e o faz restringindo a sua conexão aos sistemas de distribuição (Brasil, 2004).

Sabendo serem bem distintas as realidades dos Estados Unidos da América (EUA), dos países europeus e do Brasil, é bastante razoável con-

siderar-se que, no Brasil, país em desenvolvimento com grande extensão territorial e enorme necessidade de desenvolver sua economia, a probabilidade de ocorrência de casos como o citado no exemplo anterior é muito mais alta que nos EUA ou nos países europeus (Severino, 2008). Com base nesse aspecto relevante da realidade brasileira, neste trabalho, a definição de localização da GD será ampliada para abranger também os casos em que a usina geradora esteja diretamente conectada ao sistema de transmissão. Desse modo, elimina-se a discussão relativa às controversas definições técnicas e legais de sistema de transmissão e de sistema de distribuição.

Outra situação relevante da realidade brasileira que precisa ser contemplada pela definição de localização da GD é a relativa às comunidades eletricamente isoladas existentes em vários locais do país, especialmente na região amazônica.

Com uma definição mais abrangente de localização da GD, diversos projetos típicos de GD, particularmente os de maior interesse para a realidade brasileira, passam a ter maior probabilidade de serem classificados como tal, pois o ônus de classificar, ou não, uma usina de geração como GD com base apenas na localização é deixado a cargo exclusivo da legislação aplicável a cada situação. No caso brasileiro, talvez esse apoio técnico possa aumentar o estímulo legal à implementação de projetos de GD, tendo em vista que ele amplia a visão estabelecida no Decreto n.º 5.163/2004 (Brasil, 2004). A Figura 2 sintetiza a proposta de classificação de GD quanto à localização feita neste trabalho.

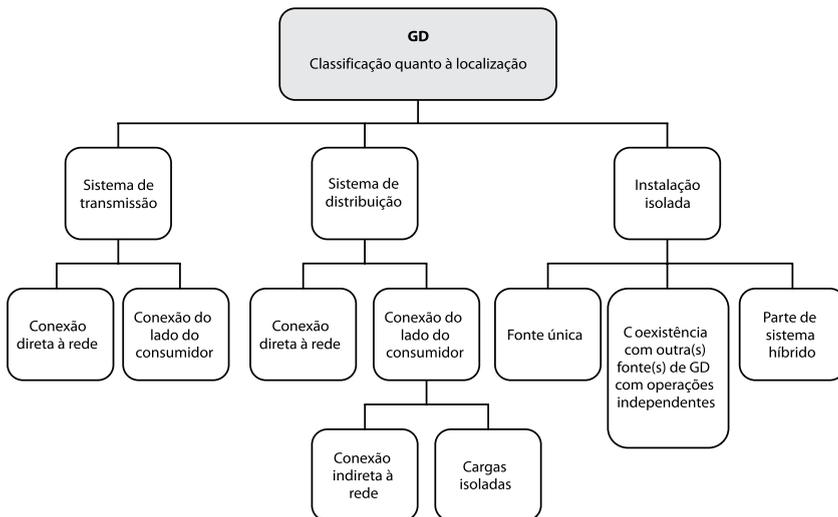


Figura 2 - Classificação de GD quanto à localização.

2.1.3. A especificação da potência – Aspecto referido em 17 das 23 definições-exemplo.

Quanto a esse atributo da GD, há enormes diferenças nas definições encontradas na literatura, conforme mostram Ackermann, Andersson e Söder (2001) e Willis e Scott (2000): de uns poucos watts até 300 MW. Essa possibilidade de larga variação de potência traz consigo um problema a ser enfrentado: os aspectos técnicos relacionados à GD variam substancialmente com a variação da potência. Desse modo, é apropriado, para muitas aplicações, o estabelecimento de categorias de potência de GD.

O Quadro 1 apresenta três propostas de categorias. A proposta de Lora e Haddad (2006) é uma adaptação, ao Brasil, da classificação sugerida por Ackermann, Andersson e Söder (2001). Neste trabalho, propõe-se uma adaptação dessas classificações para flexibilizar o limite máximo de 30 MW definido pelo Decreto n.º 5.163/2004 (Brasil, 2004) para a GD.

Ademais, neste trabalho, será feita a mesma consideração feita por Ackermann, Andersson e Söder (2001) e por El-Khattam e Salama (2004): a especificação da potência da usina geradora não é relevante para a definição de GD. Porém, adota-se aqui a classificação apresentada no Quadro 1 e sintetizada na Figura 3.

Quadro 1 - Categorias de potência de GD.

| Referência bibliográfica | Micro GD | Pequena GD | Média GD | Grande GD |
|-------------------------------------|----------|----------------|----------------|----------------|
| Ackermann, Andersson e Söder (2001) | < 5 kW | 5 kW a 5 MW | 5 MW a 50 MW | 50 MW a 300 MW |
| Lora e Haddad (2006) | < 10 kW | 10 kW a 500 kW | 500 kW a 5 MW | 5 MW a 100 MW |
| Este trabalho | < 10 kW | 10 kW a 500 kW | 500 kW a 30 MW | > 30 MW |

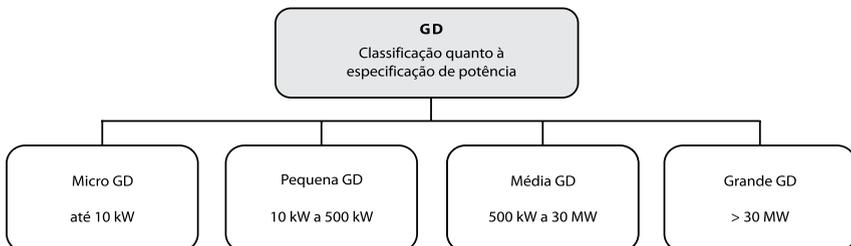


Figura 3 - Classificação de GD quanto à especificação da potência.

2.1.4. **A área de entrega da energia gerada** – *Aspecto referido em apenas quatro das 23 definições-exemplo.*

Para alguns autores, a energia gerada pela GD deve ser consumida no local em que é gerada. Todavia, isso nem sempre ocorre. Sendo assim, em certas circunstâncias, conforme expõem Ackermann, Andersson e Söder (2001) e El-Khattam e Salama (2004), a definição da área de entrega de energia restrita ao local de geração pode desqualificar um projeto como GD, não obstante o fato de ele ser um típico projeto de GD.

Considerando essas informações, neste trabalho, a área de entrega de energia não será considerada relevante para a definição de GD. Contudo, adota-se aqui a classificação sintetizada na Figura 4.

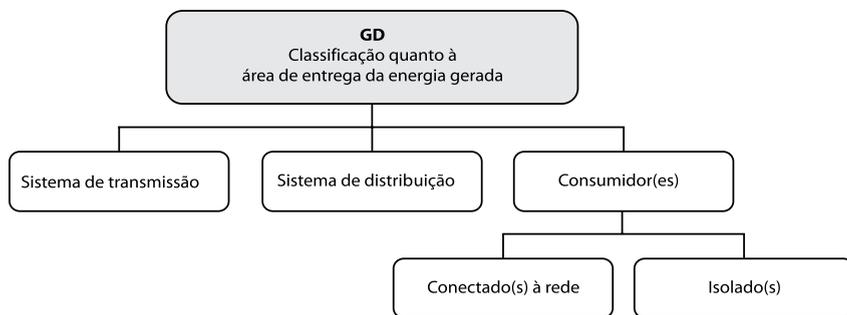


Figura 4 - Classificação de GD quanto à área de entrega da energia gerada.

2.1.5. **A tecnologia** – *Aspecto referido em apenas sete das 23 definições-exemplo.*

Conforme mostrado nas definições-exemplo, a expressão GD é utilizada em combinação com certas tecnologias de geração, como, por exemplo, painéis fotovoltaicos e aerogeradores. Considerando-se que existem diversas tecnologias disponíveis atualmente para a GD bastante diferentes entre si, conforme Ackermann, Andersson e Söder (2001), essa combinação torna confusa e muito detalhada eventual classificação que se faça. Então, aqui, apenas serão discutidos três aspectos dessas tecnologias considerados importantes para classificá-las.

Primeiramente, é observado que, na literatura, muitas vezes, os conceitos de GD, de fontes renováveis de energia e de fontes alternativas de energia são confundidos, conforme identifica Rodrigues (2006). Bem re-



gistra Romagnoli (2005) o entendimento de que o uso da expressão fontes alternativas pode levar à incorreta interpretação de que essas fontes são de caráter secundário, de menor importância. Todavia, para tornar o conceito de fontes alternativas de energia mais abrangente, a questão relativa à escala será desconsiderada neste trabalho, deixando aberta a possibilidade de que as fontes alternativas tornem-se mais efetivas na geração elétrica que as fontes convencionais.

Então, para diferenciar essas expressões, apresentam-se, a seguir, propostas de definição:

- (1) **Uma fonte alternativa de energia é aquela cuja utilização para a geração de energia elétrica é relativamente nova na respectiva área geográfica, não sendo, portanto, utilizada tradicionalmente com essa finalidade e, por isso, não contribuindo ou contribuindo de forma minoritária para a correspondente matriz de geração de energia elétrica.**
- (2) **Uma fonte renovável de energia é aquela cuja utilização para a geração de energia elétrica consome apenas recursos renováveis, aqueles geralmente não-passíveis de esgotamento por estarem sujeitos a reposição mais rápida do que a sua utilização energética ou, no mínimo, compatível com ela.**

As fontes renováveis de energia incluem aquelas em que a reposição dos recursos consumidos para a geração de energia elétrica dá-se de forma natural e aquelas em que a reposição dos recursos consumidos depende da ação humana.

Avaliando-se as duas propostas de definição, constata-se que cada uma delas refere-se a um conceito diferente, razão pela qual são, de fato, independentes, gerando classificações diferentes que podem relacionar-se de várias formas.

Com base nas duas novas definições propostas anteriormente, é correto concluir que a expressão **tecnologia da GD** é mais abrangente que a fonte primária de energia que a suprirá assim como é mais abrangente que o processo utilizado para converter a energia dessa fonte primária para a forma elétrica. Na realidade, a tecnologia da GD é a combinação da fonte primária de energia com o processo pelo qual a energia dessa fonte será convertida em eletricidade. Há tecnologias de GD que estão definitiva-

mente vinculadas a uma única fonte primária de energia, como, por exemplo, a tecnologia de painéis fotovoltaicos. Por outro lado, há tecnologias de GD que podem utilizar mais de uma fonte primária de energia, como, por exemplo, a tecnologia de geração por meio de grupo motor-gerador com motor a combustão interna. Com esse entendimento, será necessária a criação de uma divisão quanto ao aspecto tecnologia da GD, proposto por Ackermann, Andersson e Söder (2001). Neste trabalho, o aspecto tecnologia da GD será mantido, e será criado um novo aspecto: **a fonte primária de energia**.

Em segundo lugar, algumas tecnologias, tais como os arranjos fotovoltaicos, as turbinas eólicas e as células a combustível permitem a modularização da instalação e(ou) da operação do sistema, com muitas vantagens já bastante conhecidas.

O terceiro aspecto importante a se considerar é que algumas tecnologias, tais como turbinas a gás de ciclo combinado, motores de combustão interna, motores *stirling* e células a combustível são adequados à produção combinada de calor e energia.

Então, serão feitas duas classificações neste tópico: quanto à fonte primária de energia, sintetizada na Figura 5, e quanto à tecnologia empregada para a geração elétrica, sintetizada na Figura 6, ambas consideradas não-relevantes para a definição de GD.

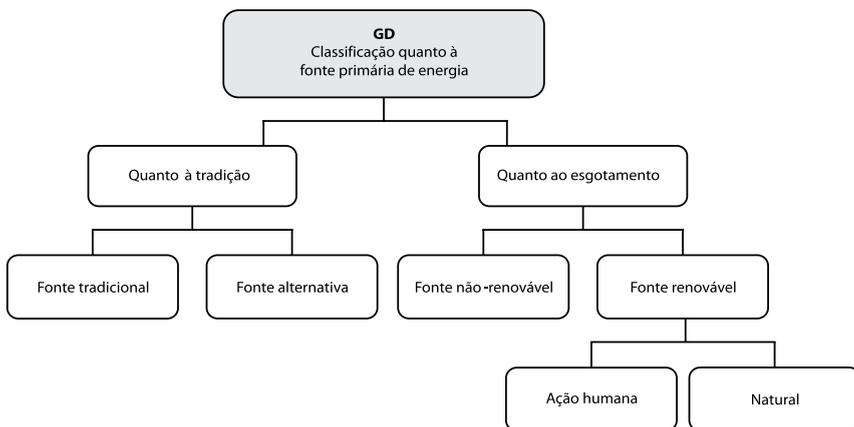


Figura 5 - Classificação de GD quanto à fonte primária de energia.

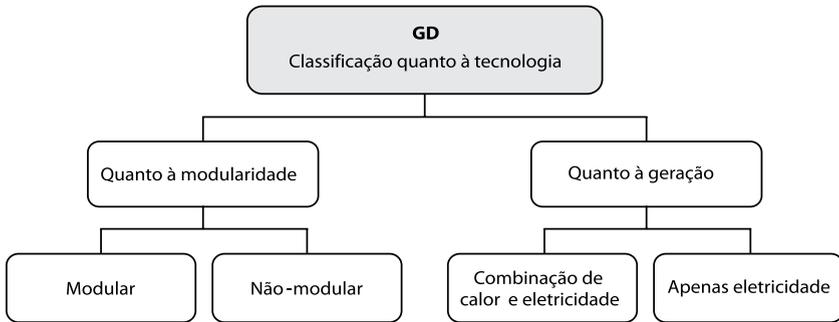


Figura 6 - Classificação de GD quanto à tecnologia.

2.1.6. O impacto ambiental – Aspecto não-referido nas definições-exemplo.

As tecnologias que podem ser utilizadas para GD não podem ser descritas de modo genérico como ambientalmente amigáveis. Todavia, no que diz respeito ao aspecto ambiental mais importante nos dias de hoje, o efeito estufa, o conjunto de todas as tecnologias de GD leva a emissões significativamente menores que as relacionadas às tecnologias com base no carvão e no petróleo (Ackermann, Andersson e Söder, 2001). Mas isso não significa que esse aspecto deva estar explícito na definição de GD. Ademais, a explicitação deste aspecto na definição de GD seria extremamente difícil, pois a análise do impacto ambiental de uma tecnologia é, por diversas razões, demasiadamente complexa (Severino, 2008).

Em razão desses argumentos, Ackermann, Andersson e Söder (2001) e El-Khattam e Salama (2004) defendem que esse aspecto não é relevante para a definição de GD, opinião seguida neste trabalho. Todavia, adota-se aqui a classificação sintetizada na Figura 7.

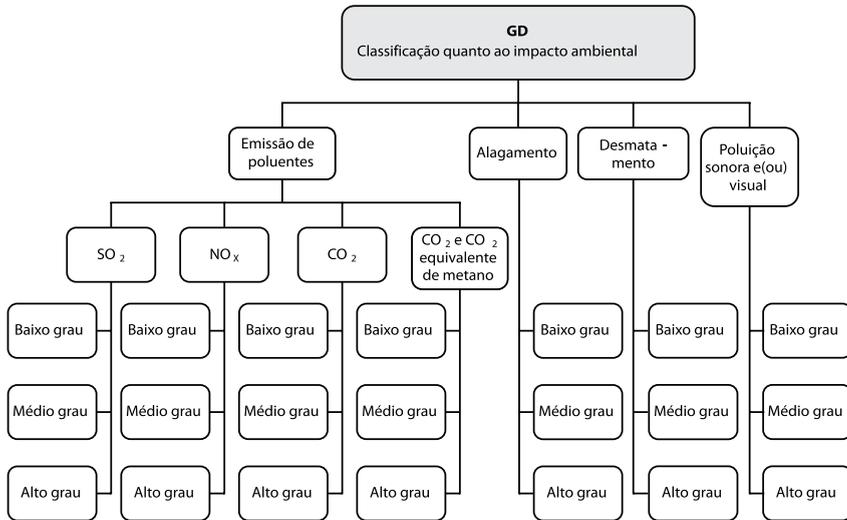


Figura 7 - Classificação de GD quanto ao impacto ambiental.

2.1.7. O modo de operação – Aspecto referido em apenas duas das 23 definições-exemplo.

Há a visão disseminada de que a GD é relativamente desobstruída pelas regras de operação dos sistemas centralizados, sendo um recurso de geração de energia que não é associado às complexidades das operações do sistema de geração convencional. Todavia, não se pode assumir isso como verdade absoluta, visto que as regras de operação variam muito de uma situação para outra.

Por isso, Ackermann, Andersson e Söder (2001) defendem que, para a definição de GD, o modo de operação não é relevante, opinião compartilhada por El-Khattam e Salama (2004) e utilizada neste trabalho. Não obstante, adota-se aqui a classificação de GD quanto a esse aspecto sintetizada na Figura 8.

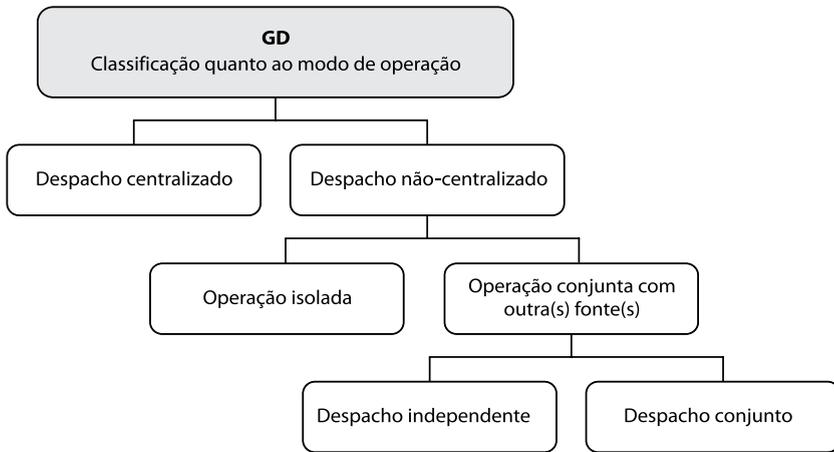


Figura 8 - Classificação de GD quanto ao modo de operação.

2.1.8. **A propriedade** – *Aspecto referido em apenas cinco das 23 definições-exemplo.*

É comum a idéia de que uma geração apenas é classificada como GD se for propriedade de um produtor independente de energia (PIE) ou de um consumidor, conforme pode ser verificado em algumas das citadas definições-exemplo. É claro que, se a GD representa a quebra de um paradigma, ela incorpora a idéia de que os tradicionais proprietários de usinas geradoras serão substituídos por outros tipos de proprietários, que incluem o PIE, o autoprodutor e o cogeração — definido aqui como aquele que opera a cogeração. Porém, não há nenhuma razão óbvia para que a GD deva ser limitada a proprietários independentes. Não obstante esses fatos, é importante enfatizar que os aspectos de propriedade da GD podem ser imprescindíveis para o desenvolvimento dela porque a propriedade solicita investimentos e aponta para lucros e controle de utilização, que é uma forma de poder.

Em razão disso, Ackermann, Andersson e Söder (2001) não consideram a propriedade fator relevante para a definição de GD, opinião que é seguida neste trabalho. Mesmo assim, adota-se aqui a classificação de GD quanto à propriedade sintetizada na Figura 9.

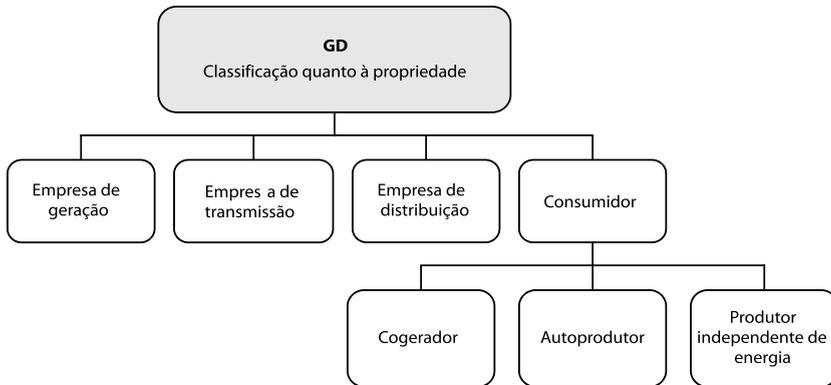


Figura 9 - Classificação de GD quanto à propriedade.

2.1.9. O nível de penetração – Aspecto referido em apenas cinco das 23 definições-exemplo.

Acerca da quantidade total de GD vinculada a uma rede de distribuição, alguns autores acreditam que a GD caminha para a geração de energia completamente descentralizada, que não requereria, portanto, linhas de transmissão nem grandes usinas geradoras centralizadas (Milborrow apud Ackermann, Andersson e Söder, 2001). A maioria dos autores, entretanto, crêem que a GD será capaz de suprir apenas uma fração da demanda local de energia, sendo que o restante da energia necessária seria, ainda, suprida pelos sistemas elétricos convencionais.

Em razão disso, Ackermann, Andersson e Söder (2001) julgam que este aspecto não é relevante para a definição de GD, opinião considerada neste trabalho. Todavia, adota-se aqui a classificação de GD quanto ao nível de penetração sintetizada na Figura 10.

Na Figura 10, os percentuais indicados referem-se ao percentual da potência gerada pela GD com relação à potência total gerada na área definida previamente como área de influência.

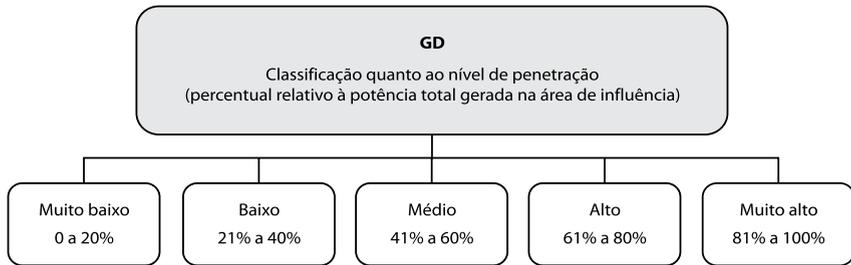


Figura 10 - Classificação de GD quanto ao nível de penetração.

2.2. Definição proposta para GD

Ackermann, Andersson e Söder (2001), após a discussão de todos esses aspectos, propõem a seguinte definição para GD:

GD é uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou no lado do consumidor.

Como se pode ver, essa definição apenas cita explicitamente o aspecto do propósito — propósito primário, conforme sugerido anteriormente — e o aspecto da localização da GD, já que, na opinião desses autores, os demais aspectos não são relevantes para a definição. Porém, os autores concluem que, se outros aspectos são de interesse, eles devem ser mencionados adicionalmente.

A análise e as classificações desenvolvidas anteriormente, contudo, remetem para uma proposta de definição mais genérica e, por isso mesmo, de utilização mais universal, apoiada nas classificações auxiliares, que permitem o entendimento correto do conceito de GD construído neste texto.

A geração centralizada, convencional, conforme explicitado anteriormente, é a denominação genérica de um conjunto formado por grandes centrais de geração e uma extensa rede de linhas de transmissão e de distribuição alimentando os diversos consumidores. Portanto, conclui-se tratar de um conceito coletivo, e não de apenas uma única usina geradora. Todavia, uma grande central de geração convencional faz parte da geração centralizada, sendo, dela, um caso particular.

Seguindo esse mesmo raciocínio para a GD e considerando toda a análise feita, apresenta-se, aqui, a seguinte proposta de definição:



GD é a denominação genérica de um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região.

Considerando-se a definição anterior, propõe-se o seguinte detalhamento explicativo para um caso particular de GD:

Uma fonte de energia elétrica é considerada caso particular de GD quando ela: (a) está conectada diretamente a rede de distribuição; (b) está conectada do lado de um consumidor conectado a algum ponto do sistema elétrico; (c) supre cargas elétricas de uma instalação eletricamente isolada; (d) está conectada diretamente a rede de transmissão, desde que, neste caso, ela não possa ser considerada caso pertencente à geração centralizada.

Com essa definição bastante genérica — que procura diferenciar GD de geração centralizada nos aspectos em que elas realmente se diferenciam de forma relevante e pretende abranger, com suficiente precisão, todos os casos possíveis de serem classificados como GD —, os interessados poderão, com o uso das classificações aqui sugeridas, adaptar as suas próprias realidades ao conceito de GD construído neste texto, para as utilizações que julgarem convenientes.

A definição aqui proposta, associada às propostas de classificação de diversos de seus aspectos, tem potencial para, com os ajustes necessários, servir de importante instrumento de gestão governamental de projetos de geração elétrica, pois permite classificar diversos projetos de geração elétrica e, então, decidir, com base em premissas e prioridades estabelecidas para determinada situação, qual(ais) projeto(s) receberá(ão) investimentos públicos para a implementação. Com isso, ele seria um instrumento que produziria avaliação de caráter unicamente meritório, com muito mais objetividade que a usual nesse tipo de procedimento. Ademais, as definições e classificações propostas neste trabalho poderão ser úteis para o aprimoramento da legislação nacional, contribuindo para o estabelecimento de um necessário novo paradigma no setor elétrico.

Finalmente, como resultado dessas discussões, vislumbra-se a possibilidade da definição futura de um índice que informaria, para determinada região geográfica — que poderia ser um município, um estado, um país ou uma região definida por homogeneidade climática —, o grau de distri-

buição da geração de energia elétrica. Esse índice, que poderia ser denominado **índice de distribuição da geração**, seria calculado, para essa região de interesse, com base em parâmetros como a área da região, a população total da região, a população da região sem atendimento elétrico, a contribuição da região para o produto interno bruto (PIB) do país a que a região pertence, a renda *per capita* da população da região, o índice de desenvolvimento humano (IDH) da região, o número de pontos de geração elétrica na região, a potência elétrica total instalada na região, o consumo médio anual *per capita* de energia da população da região, entre outros. Esse índice poderia compor o conjunto de avaliadores da qualidade do sistema elétrico da região e da qualidade de vida daquela população; sendo assim, poderia ser utilizado no processo decisório relativo a novos investimentos públicos e(ou) privados na região.

3. CONCLUSÕES

Muitos especialistas da área consideram que os atuais sistemas elétricos não conseguirão garantir o suprimento sustentável de energia elétrica com a abrangência e a qualidade exigidas pela sociedade do século XXI.

Esse fato, associado ao enorme avanço tecnológico dos últimos anos, abre razoável espaço para a expansão da geração distribuída (GD), tendo como um dos focos principais o fornecimento de energia elétrica a quem ainda não tem acesso a ela.

No Brasil, a discussão acerca desse tema é imprescindível porque o país: (a) ainda tem a necessidade de suprir energia elétrica a expressiva parcela de sua população; (b) tem o compromisso legal da universalização do acesso à energia elétrica; (c) piorou a qualidade ambiental da sua matriz energética nos últimos anos; (d) pode ter a segurança hídrica necessária à sua principal fonte de geração de energia elétrica comprometida pelas mudanças climáticas anunciadas; (e) está suscetível ao aumento do risco de que ocorra desabastecimento de energia elétrica e ao aumento da insegurança para toda a sociedade, com fortes impactos econômicos, em razão da insuficiência de gás natural e de água nos reservatórios; (f) possui enorme potencial a ser explorado nessa área.

Dessa forma, com a consideração de que o tema GD é bastante importante, especialmente para o Brasil, controverso e não-consolidado, faz-se necessário que ele seja amplamente debatido, a começar por uma



profunda discussão conceitual. Este trabalho, reconhecendo essa necessidade, discute, de forma inédita, o conceito de GD e conceitos e aspectos relacionados a ela; propõe novas classificações de aspectos relativos à GD; propõe uma nova definição de GD, mais completa e com mais aplicabilidade que as existentes; sugere a inédita utilização das definições e classificações propostas como instrumento útil de gestão governamental de projetos de geração elétrica; e, finalmente, propõe a criação futura do índice de distribuição da geração, a ser utilizado como avaliador da qualidade do sistema elétrico de determinada região geográfica e da qualidade de vida da população que lá vive e como instrumento no processo decisório relativo a novos investimentos em geração elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, Thomas. *Distributed resources in a re-regulated market environment*. 2004. 461 f. Tese (Doctoral Dissertation)–Department of Electrical Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2004.

ACKERMANN, Thomas; ANDERSSON, Göran; SÖDER, Lennart. Distributed generation: a definition. In: *Electric Power Systems Research*, Elsevier Science, Oxford, UK, v. 57, n. 3, p. 195–204, 2001.

BIBLIOTECA DIGITAL WWI-UMA. *Sistema energético do século XX é incompatível com a economia digital*. [S.l.]: Worldwatch Institute; Universidade Livre da Mata Atlântica, 2001. Disponível em: <www.wwiuma.org.br/alertas.html>. Acesso em: 3 maio 2007.

BRASIL. Decreto n.º 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <www.presidencia.gov.br/legislacao>. Acesso em: 9 fevereiro 2008.

DIAS, Marcos Vinícius Xavier; BORTONI, Edson da Costa; HADDAD, Jamil. Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. In: *Revista Brasileira de Energia*, Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, Itajubá, Brasil v. 11, n. 2, p. 137–156, 2005.

DUNN, Seth. *Micropower: the next electrical era*. Worldwatch paper 151. Washington: Worldwatch Institute, 2000. Disponível em: <www.worldwatch.org>. Acesso em: 2 maio 2007.

EL-KHATTAM, W; SALAMA, M.M.A. Distributed generation technologies, definitions and benefits. In: *Electric Power Systems Research*, Elsevier Science, Oxford, UK, v. 71, n. 2, p. 119–128, 2004.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. *O que é geração distribuída?*. Disponível em: <www.inee.org.br>. Acesso em: 2 maio 2007.

LORA, Electo Eduardo Silva; HADDAD, Jamil (Coord.). *Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

RODRIGUES, Flávia Francesca Capano. *Programação da contratação de energia considerando geração distribuída no novo modelo do setor elétrico brasileiro*. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica)–Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

RODRÍGUEZ, Carlos Roberto Cervantes. *Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede*. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos)–Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ROMAGNOLI, Henrique Cesar. *Identificação de barreiras à geração distribuída no marco regulatório atual do setor elétrico brasileiro*. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)–Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SEVERINO, Mauro Moura. *Avaliação técnico-econômica de um sistema híbrido de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas da Amazônia*. 2008. 335 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)–Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

WALTER, Arnaldo. Fomento à geração elétrica com fontes renováveis de energia no meio rural brasileiro: barreiras, ações e perspectivas. In: *Encontro de energia no meio rural* (AGRENER), An. 3, [S.l.], 2000. Disponível em: <www.proceedings.scielo.br/scielo.php>. Acesso em: 2 maio 2007.

WEA – World Energy Assessment. *Overview*. [S.l.]: 2000.

WILLIS, H. Lee; SCOTT, Walter G. *Distributed power generation: planning and evaluation*. New York: Marcel Dekker, 2000.