



ORIENTAÇÕES EM BUSCA DE APRIMORAMENTOS NA REGULAÇÃO DA
ATIVIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL PARA
PENETRAÇÃO EM GRANDE ESCALA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Leonardo dos Santos de Jesus

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Heitor Mansur Caulliraux

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2013

ORIENTAÇÕES EM BUSCA DE APRIMORAMENTOS NA REGULAÇÃO DA
ATIVIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL PARA
PENETRAÇÃO EM GRANDE ESCALA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Leonardo dos Santos de Jesus

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Heitor Mansur Caulliraux, D.Sc.

Prof. Adriano Proença, D.Sc.

Profa. Carmen Lucia Tancredo Borges, D.Sc.

Prof. Carlos Alexandre da Silva Prado, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO DE 2013

Jesus, Leonardo dos Santos de

Orientações em Busca de Aprimoramentos na Regulação da Atividade de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil para Penetração em Grande Escala da Geração Distribuída / Leonardo dos Santos de Jesus. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

XXII, 145 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Heitor Mansur Caulliraux

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 129 – 138.

1. Geração Distribuída. 2. Energia Elétrica - Distribuição. 3. Regulamentação Distribuição. I. Caulliraux, Heitor Mansur. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ORIENTAÇÕES EM BUSCA DE APRIMORAMENTOS NA REGULAÇÃO DA
ATIVIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL PARA
PENETRAÇÃO EM GRANDE ESCALA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Leonardo dos Santos de Jesus

Fevereiro/2013

Orientador: Heitor Mansur Caulliraux

Programa: Engenharia de Produção

Nos últimos anos, a Geração Distribuída – GD vem sendo incentivada e adotada por diversos países como forma de geração alternativa à geração centralizada. Esse movimento pode ser atribuído a diversos fatores, como o desenvolvimento das tecnologias de GD, o aumento das restrições para construção de novas linhas de transmissão, o aumento das preocupações com as mudanças climáticas, entre outros.

Contudo, a introdução desse tipo de geração provoca um serie de impactos positivos e negativos na atividade de distribuição de energia elétrica que devem ser considerados na regulação dessa atividade em um país. Essa não deve impor barreiras para a penetração da GD e, ainda, deve ser capaz de explorar os impactos positivos decorrentes de sua introdução e prover um tratamento adequado para os impactos negativos.

Nesse sentido, o presente trabalho realiza um conjunto de indicações visando o aprimoramento da regulação da distribuição de energia elétrica no Brasil, com objetivo de eliminar eventuais barreiras que dificultem a penetração da GD, tornar efetivos os benefícios dessa forma de geração – refletindo-os para todos os consumidores – e evitar eventual favorecimento ou prejuízo a determinado ator do setor. Para isso, são identificados os principais impactos decorrentes da introdução da GD em um sistema elétrico, são listados os elementos de regulação da distribuição que devem ser reavaliados com a introdução da GD e é verificado de que forma três países abordam o assunto – Alemanha, Espanha e EUA\Califórnia. Por fim, são indicadas e descritas as oportunidades de aprimoramentos na regulação brasileira da atividade de distribuição vislumbradas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

GUIDELINES TO IMPROVEMENTS IN THE REGULATION OF ELECTRICITY
DISTRIBUTION ACTIVITY IN BRAZIL FOR LARGE SCALE PENETRATION OF
DISTRIBUTED GENERATION

Leonardo dos Santos de Jesus

February/2013

Advisors: Heitor Mansur Caulliraux

Department: Production Engineering

In recent years, Distributed Generation - DG is being encouraged and adopted by many countries as an alternative to centralized generation. This movement can be explained by several factors, such as the development of DG technologies, increasing restrictions on the construction of new transmission lines, increasing concerns about climate change, among others.

However, the introduction of this type of generation causes a series of positive and negative impacts on electricity distribution activity that should be considered for the regulation of this activity in a country. This should not impose barriers to the penetration of DG and, besides that, should be able to explore the positive impacts of the introduction of DG and provide appropriate treatment for the negative impacts.

In this sense, this research provides suggestions focused on the improvement of electricity distribution regulation in Brazil, aiming at eliminating any barriers that hinder the penetration of DG, making its benefits effective - reflecting them to all consumers - and also avoiding favoritism or prejudice to any particular actor in the industry. This way, we first identify the key impacts of the introduction of GD in an electrical system; then we list the elements of distribution regulation that should be reevaluated with the introduction of GD and verify how three countries - Germany, Spain and US \ California – deal with this issue. Finally, we describe the identified opportunities for improvements in Brazilian regulation of the distribution activity.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram durante o longo percurso que resultou na conclusão desse trabalho. Primeiramente, agradeço a todos da minha família, em especial meu pai e minha mãe que, mesmo em momentos difíceis, sempre batalharam no sentido de proporcionar uma boa formação a mim e a meus irmãos. Também destaco o agradecimento a meu irmão Leandro pois dificilmente teria entrado no GPI e, anos mais tarde, no mestrado se não fosse ele. Além deles, minha namorada Andréa também merece um agradecimento especial, uma vez que me “aguentou” na fase final da elaboração do documento.

Em segundo lugar, agradeço a todos que conheci no tempo em que estive no GPI, lugar onde aprendi e me diverti bastante nos últimos sete anos e meio de vida. Agradecimento especial para o Heitor, que, entre muitas outras coisas, me incentivou a entrar no mestrado e não desistiu de me orientar, mesmo quando eu mesmo já não acreditava mais em sua conclusão. Também agradeço ao Adriano que me deu bastante força para não desistir. Além deles, agradeço a todas as pessoas que convivi nesse período: Casp, Vinícius, Cameira, Sandra, Isabela, Bruna, Leo Navarro, Thaís, Virgínia, Guido, Guilherme, Matheus, Clemente, Priscila, entre muitos outros que conheci nesse percurso.

Além do pessoal do GPI, agradeço aos professores e aos funcionários do PEP, pela convivência nesse período e à professora Carmen, por ter aceitado o convite para participar da minha banca e ter sido sempre atenciosa quando a procurei ao longo da construção do documento. Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus amigos da Tijuca (de futebol, de bar etc.) que sempre estavam disponíveis quando precisava esquecer os problemas e pensar em outras coisas.

Sumário

1.	Introdução.....	1
1.1.	Objeto e Objetivos da Dissertação.....	6
1.2.	Relevância e Justificativa.....	8
1.3.	Estrutura do Documento	9
2.	Método da Pesquisa.....	12
2.1.	Caracterização da Pesquisa e Método de Trabalho.....	12
2.2.	Mapeamento da Literatura	16
2.3.	Considerações Finais do Capítulo.....	20
3.	Geração Distribuída.....	21
3.1.	Caracterização e Definição de Geração Distribuída	21
3.2.	Tecnologias Utilizadas para Geração Distribuída.....	27
3.2.1.	Motor de Combustão Interna Alternativo.....	28
3.2.2.	Microturbina a Gás	29
3.2.3.	Motor Stirling	30
3.2.4.	Célula a Combustível	31
3.2.5.	Turbina Eólica	33
3.2.6.	Sistema Fotovoltaico	36
3.2.7.	Biomassa.....	38
3.2.8.	Pequenas Centrais Hidrelétricas	39
3.3.	Impactos da Introdução da Geração Distribuída no Sistema Elétrico	41
3.3.1.	Alteração no Fluxo de Potência.....	41
3.3.2.	Alteração nos Sistema de Proteção.....	43
3.3.3.	Alteração na Qualidade de Energia	45
3.4.	Considerações Finais do Capítulo.....	48
4.	Regulação da Distribuição para Introdução da Geração Distribuída	50
4.1.	Elementos de Regulação da Distribuição Impactados pela Introdução da GD	50
4.2.	Apresentação dos Elementos de Regulação Identificados.....	51
4.2.1.	Desverticalização da Distribuição	51
4.2.2.	Modelo de Remuneração do Distribuidor	53
4.2.3.	Encargo de Conexão e Tarifa de Uso	60
4.2.4.	Planejamento do Sistema.....	62
4.2.5.	Perdas de Energia	64
4.2.6.	Qualidade do Serviço de Distribuição	65
4.3.	Considerações Finais do Capítulo.....	67

5. Regulação da Distribuição Impactada pela Geração Distribuída na Alemanha, Espanha e Califórnia\ EUA	70
5.1. Alemanha	70
5.2. Espanha	77
5.3. Califórnia / EUA	89
5.4. Considerações Finais do Capítulo.....	96
6. Regulação da Distribuição Impactada pela Geração Distribuída no Brasil.....	97
6.1. Brasil	97
6.2. Comparação da Forma de Regulação da Distribuição entre os Países Considerados na Pesquisa.....	108
6.3. Orientações para Aprimoramentos da Regulação da Distribuição no Brasil.	114
7. Considerações Finais	123
7.1. Síntese do Trabalho	123
7.2. Contribuições e Limitações da Pesquisa.....	126
7.3. Sugestões de Pesquisas Futuras	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistemas Inteligentes de Eletricidade (Fonte: Adaptado de IEA, 2011).....	2
Figura 2: Crescimento do número de publicações associadas ao termo “ <i>distributed generation</i> ” na ferramenta de pesquisa Web of Knowledge (Fonte: Web of Knowledge)	9
Figura 3: Ilustração da estrutura do documento (FONTE: O AUTOR).....	11
Figura 4: Etapas da revisão da literatura (Fonte: O AUTOR)	14
Figura 5: Etapas para formulação dos resultados e conclusões da pesquisa (Fonte: O AUTOR).....	16
Figura 6: Sistema elétrico tradicional e sistema elétrico do futuro (FONTE: Adaptado de BAYOD-RÚJULA, 2009)	21
Figura 7: Esquema de uma microturbina de eixo simples com recuperador de calor de exaustão (FONTE: LORA & HADDAD, 2006 : pag. 45)	30
Figura 8: Funcionamento da uma célula a combustível (FONTE: Adaptado de EL-KHATTAM E SALAMA, 2004).....	32
Figura 9: Constituição de uma célula a combustível e sua operação (FONTE: Adaptado de EL-KHATTAM E SALAMA, 2004)	32
Figura 10: Ilustração de gerador de indução tipo gaiola de esquilo diretamente conectado à rede – GIDC (FONTE: MARTINS, 2004 : pag. 29).....	34
Figura 11: Ilustração de gerador de indução com dupla alimentação (<i>Doubly Fed Induction Generator</i>) – GIDA (FONTE: MARTINS, 2004 : pag. 30).....	35
Figura 12: Ilustração de gerador síncrono conectado à rede através de conversores eletrônicos (FONTE: MARTINS, 2004 : pag. 30).....	35
Figura 13: (a) Constituição interna de uma célula fotovoltaica de silício (FONTE: Adaptado de ILSE <i>apud</i> CASTRO, 2007)	37
Figura 14: Alternativas Tecnológicas para a Geração de Eletricidade a partir de Biomassa (FONTE: OLIVEIRA, 2006 : pag. 33).....	39
Figura 15: Componentes de uma usina hidrelétrica (FONTE: ITAIPU, 2006 <i>apud</i> MENDONZA, 2006 : pag. 7)	40
Figura 16: Sistema de distribuição convencional (FONTE: Adaptado de JENKINS ET AL., 2010).....	42
Figura 17: Sistema de distribuição com geração distribuída (FONTE: Adaptado de JENKINS ET AL., 2010).....	42
Figura 18: Ilustração do problema de zonas ilhadas (FONTE: OCHOA PIZZALI, 2006 : pag. 29)	44

Figura 19: Queda de tensão em uma perna radial (FONTE: Adaptado de JENKINS ET AL., 2010).....	46
Figura 20: Visão esquemática da relação entre o modelo da rede e o modelo de receitas e custos do distribuidor (FONTE: Adaptado de DE JOODE ET AL., 2009)....	68
Figura 21: O sistema elétrico da Alemanha (FONTE: BMWi, 2012: pag. 17)	71
Figura 22: O sistema de transmissão da Alemanha e seus operadores (FONTE: LÓPEZ & ACKERMANN, 2008 : pag. 100)	72
Figura 23: Representação geográfica das empresas de distribuição da Alemanha (FONTE: LÓPEZ & ACKERMANN, 2008 : pag. 101)	73
Figura 24: Capacidade de geração (MW) na Alemanha por fonte de energia em 31/12/2012 (FONTE: Adaptado de BMWi, 2012)	74
Figura 25: Ilustração do sistema de transmissão da Espanha (FONTE: REE <i>apud</i> LÓPEZ & ACKERMANN, 2008 : pag. 23)	79
Figura 26: Distribuição das fontes de energia enquadradas no Regime Especial, de acordo com o nível de tensão da rede (FONTE: Adaptado de COSSENT ET AL., 2011)	81
Figura 27: Área de atuação das principais distribuidoras da Espanha (FONTE: Adaptado de PROYECTOSTIPO, 2012).....	83
Figura 28: Mapa do sistema de transmissão da Califórnia (FONTE: Adaptado de CEC, 2012)	90
Figura 29: IOUs da Califórnia (FONTE: CPUC, 2012b).....	91
Figura 30: Capacidade instalada de geração por tecnologia na Califórnia (FONTE: Adaptado de CCEF, 2012a).....	92
Figura 31: GD renováveis na Califórnia até 2020 (FONTE: Adaptado de CCEF, 2012b)	92
Figura 32: O sistema de transmissão do Brasil (FONTE: ONS, 2012a)	98
Figura 33: Modelos de desenvolvimento de GD (Fonte: Adaptado de SAUTER E WATSON, 2007).....	116
Figura 34: Diferentes trajetórias de introdução de GD na rede de distribuição e possíveis impactos dessa introdução (FONTE: O AUTOR)	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: relação entre a introdução da GD no sistema de distribuição e a flutuação de tensão, desequilíbrio de tensão e variação de frequência (FONTE: CARDOSO, 2009)	48
Tabela 2: Relação entre os elementos elencados e as referências utilizadas (FONTE: O AUTOR).....	51
Tabela 3: Relação entre a fase de desenvolvimento do sistema de distribuição e o regime regulatório (FONTE: Adaptado de BAUKNECHT E BRUNEKREEFT, 2008)	56
Tabela 4: Relação entre o impacto da introdução da GD no sistema de distribuição e seu regime regulatório (FONTE: adaptado de BAUKNECHT E BRUNEKREEFT, 2008)	58
Tabela 5: Documentos regulatórios da Alemanha associadas à GD (FONTE: O AUTOR).....	75
Tabela 6: Relação entre os documentos regulatórios da Alemanha e os elementos de regulação da distribuição impactados pela introdução da GD (FONTE: O AUTOR)	76
Tabela 7: Capacidade total instalada por fonte de energia em 2011 e produção por fonte de energia em 2011 (FONTE: O AUTOR).....	80
Tabela 8: Evolução anual da potência instalada (MW) (FONTE: O AUTOR).....	81
Tabela 9: Documentos regulatórios da Espanha associadas à GD (FONTE: O AUTOR).....	85
Tabela 10: Relação entre a regulamentação da Espanha e os elementos da regulamentação impactados pela introdução da GD (FONTE: O AUTOR).....	87
Tabela 12: Relação entre a regulamentação da Califórnia e os elementos da regulamentação impactados pela introdução da GD (FONTE: O AUTOR).....	95
Tabela 13: As 10 maiores empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil, de acordo com a quantidade de consumidores atendidos (FONTE: ABRADEE, 2012).....	99
Tabela 14: Empreendimentos de geração em operação no Brasil, segundo Banco de Informações de Geração da ANEEL (FONTE: ANEEL, 2012).....	99
Tabela 15: Empreendimentos de geração em construção no Brasil, segundo Banco de Informações de Geração da ANEEL (FONTE: ANEEL, 2012).....	100
Tabela 16: Documentos regulatórios do Brasil associadas à GD (FONTE: O AUTOR).....	102
Tabela 17: Relação entre a regulamentação do Brasil e os elementos da regulamentação impactados pela introdução da GD (FONTE: O AUTOR).....	103
Tabela 18: Síntese dos aspectos da regulamentação da distribuição associados à GD nos quatro países analisados (FONTE: O AUTOR).....	109

1. Introdução

Nos últimos anos, o tema energia vem ganhando destaque no mundo. Alguns associam esse destaque a preocupações quanto à escassez de petróleo e seus derivados – principais fontes primárias de energia no mundo – outros o associam a problemas ambientais – decorrentes dos danos causados pela queima dos combustíveis fósseis – outros, ainda, o justificam por causa do aumento do consumo de energia pela sociedade e de sua dependência em relação a ela. Independentemente da razão, o fato é que o setor de energia vem recebido bastante atenção dos governos, instituições de pesquisa e empresas privadas e vem passando por muitas transformações ao longo dos últimos anos.

Essas transformações impactam diversas cadeias associadas ao setor de energia, dentre elas a cadeia de geração, transporte – transmissão e distribuição – e consumo de energia elétrica. Como exemplo, a Figura 1 ilustra a evolução dos sistemas de energia elétrica (IEA, 2011).

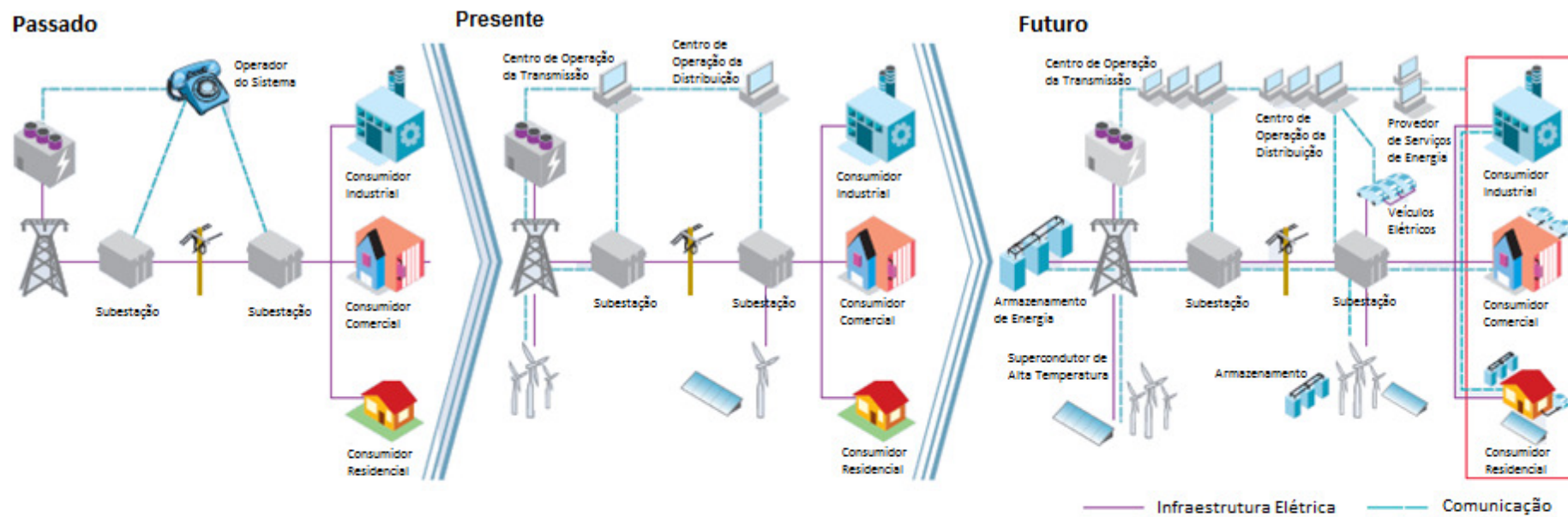


Figura 1: Sistemas Inteligentes de Eletricidade (Fonte: Adaptado de IEA, 2011)

Na etapa de geração de energia elétrica, novas formas de produção de energia vêm sendo aprimoradas e disseminadas, com destaque para as que fazem uso de fontes alternativas de energia, como a eólica e a solar. Na etapa de transporte – transmissão e distribuição – de energia elétrica, destaca-se a introdução de uma infraestrutura de comunicação em paralelo à rede elétrica, que, somada à adoção de aparelhos de medição e controle mais avançados, aumentam a controlabilidade e a observabilidade da rede (IEA, 2011).

Por fim, na etapa de consumo de energia elétrica, podem ser destacadas as novas tecnologias em busca do aumento da eficiência energética no consumo e as tecnologias associadas ao conceito de *Demand-Side Management* – ou, no português, Gestão da Demanda – que buscam realizar a gestão do consumo de energia segundo a perspectiva do consumidor, com ações, por exemplo, de compra de energia da rede elétrica nos horários em que a energia é mais barata (IEA, 2011).

No meio das alterações apresentadas anteriormente, uma forma de geração de energia elétrica ganha destaque, a Geração Distribuída – GD. Esse termo, que será definido e caracterizado em detalhes no Capítulo 3 do documento, pode ser considerado como sendo referente a unidades de geração de energia elétrica conectadas diretamente à rede de distribuição. Essa unidade de geração pode, inclusive, ser conectada pelo ponto de conexão de um consumidor, que, nesse caso, irá exercer o papel de gerador em determinados períodos do dia.

Para exemplificar, considere um consumidor residencial que instala um conjunto de painéis solares em sua residência e o conecta à rede de distribuição. Ao longo do dia, caso o consumo na residência seja menor do que a energia gerada pelos painéis solares, a unidade irá fornecer energia à rede e o proprietário da GD – no caso o consumidor que instalou o conjunto de painéis solares – poderá receber um valor monetário por essa energia, dependendo da definição da forma de remuneração definida para esse tipo de geração no país. De noite, quando os painéis solares não produzem energia, o usuário irá consumir energia da rede de distribuição normalmente, como se não possuísse a unidade de GD.

A situação descrita é uma das possíveis formas de GD, possuindo diversas variações, com alteração, por exemplo, do proprietário da unidade de GD, da tecnologia utilizada, do local de conexão da unidade de GD, entre outras. O conceito de GD vem crescendo fortemente no mundo nos últimos anos, especialmente nos países da União Europeia – UE. A Agência Internacional de Energia – IEA, sigla em inglês, atribui essa evolução a cinco fatores (BAYOD-RÚJULA, 2009), sendo:

- o desenvolvimento das tecnologias de GD;
- o aumento das restrições na construção de novas linhas de transmissão;
- o aumento da demanda dos consumidores por fornecimento de energia elétrica altamente confiável;
- a privatização dos mercados de energia elétrica; e
- o aumento das preocupações com as mudanças climáticas.

Apesar do crescimento verificado, sua introdução em um país não é simples de ocorrer. A GD impacta a forma como o sistema de energia e o sistema econômico associado estão projetados em um país. Os impactos são decorrentes de alterações no fluxo de financeiro e de energia e de alterações na prestação de serviços entre atores do setor elétrico.

Com a introdução de GD, um usuário do sistema que, atualmente, paga um valor monetário para o distribuidor ao qual está conectado, pode vir a receber um valor monetário por causa da energia que fornece para a rede, dependendo da forma definida para sua recompensa pela energia gerada. Tal situação altera o fluxo financeiro entre os atores presentes no setor elétrico, devendo ser analisada e considerada pela regulamentação do país, para que um determinado ator não venha a ser prejudicado ou favorecido.

Observando segundo outra perspectiva, o mesmo usuário que, atualmente, somente recebe energia elétrica da rede, no futuro poderá receber e fornecer energia para a rede, caso possua uma unidade de GD em sua instalação. Tal situação altera o fluxo de energia entre os atores presentes no setor elétrico. Essa alteração deve ser considerada e refletida no projeto do sistema elétrico ao qual o consumidor está conectado. Os sistemas de distribuição atuais são projetados de forma que a energia flua da rede para o consumidor, e não o contrário (JENKINS ET AL., 2010).

Analisando, ainda, por outra perspectiva, o usuário, sendo capaz de fornecer energia para a distribuidora, pode passar a prestar um serviço para ela, o denominado serviço ancilar. Um serviço ancilar é um serviço que ajuda na operação do sistema elétrico, como, por exemplo, suporte de reativo¹. Essa situação altera, mais uma vez, a relação entre atores do setor elétrico e essa nova forma de interação também deve ser considerada pela regulamentação do setor elétrico de um país que vislumbra possuir altos níveis de penetração de GD.

¹ Suporte de reativo é o fornecimento ou absorção de energia reativa, destinada ao controle de tensão de operação, mantendo-a dentro dos limites de variação estabelecidos pela regulamentação (ANEEL, 2003).

No Brasil, a utilização da GD ainda é muito pequena, e praticamente insignificante se comparada à geração centralizada, visto que a maioria da energia gerada no Brasil é produzida por grandes usinas conectada à rede de transmissão. Contudo, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, já considera sua utilização – especialmente quando associada a fontes renováveis de energia – como uma tendência e uma necessidade em diversos países no mundo, em especial, nos Estados Unidos, nos países membros da União Europeia, Austrália, China e Japão (ANEEL, 2011a).

Apesar de ser reduzida a utilização da GD no Brasil, diversos fatores podem ser apontados para embasar a crença de que essa forma de geração de energia possui um grande potencial de desenvolvimento no país, são eles:

- **Elevado preço da energia no Brasil:** o preço da energia no Brasil é o terceiro maior do mundo, sendo composto pelo custo da geração, da transmissão e custo da distribuição, dos encargos do setor e dos impostos do governo (SISTEMA FIRJAN, 2011). A energia gerada pela GD, a princípio, elimina diversos desses custos incidentes sobre o preço da energia paga pelos consumidores;
- **Redução do custo da energia proveniente de GD:** por conta do aumento da produção e utilização mundial, o custo de diversas tecnologias relacionadas à GD está diminuindo. Tal redução de preço já torna a sua adoção economicamente viável em determinados Estados do Brasil (ANEEL, 2011a). A tendência é que os preços sejam reduzidos cada vez mais no país, com as propostas e ações do governo de incentivo à produção nacional, redução de impostos de importação, entre outras (MME, 2009);
- **Desenvolvimento econômico do Brasil:** com o crescimento econômico do país nos últimos anos, a renda e a capacidade de consumo da população tem crescido cada vez mais. Atualmente, viver em algumas cidades do país é mais caro do que viver em diversas grandes cidades de países desenvolvidos. Com isso, mesmo sendo caro comprar e instalar equipamentos de GD, uma parcela cada vez maior da população já tem condições de comprar esse tipo de equipamento;
- **Aumento da preocupação com o meio-ambiente:** verifica-se, atualmente, uma maior preocupação da sociedade com questões ambientais. Uma vez que a GD é uma solução que não agride o meio ambiente, é esperado que um número cada vez maior de pessoas considere sua utilização, caso se

torne uma opção equivalente economicamente à compra tradicional de energia elétrica;

- **Problemas do setor elétrico do Brasil:** alguns problemas do sistema elétrico brasileiro podem contribuir para seu desenvolvimento, como, por exemplo, a dificuldade para obtenção de licença ambiental para construção de usinas com grande capacidade instalada e para construção de linhas de transmissão. Outras questões também podem influenciar positivamente a adoção da GD, como a diminuição da capacidade de regulação dos reservatórios e o aumento da complexidade na operação do sistema de transmissão.

Apesar das perspectivas de crescimento, a penetração da geração distribuída no Brasil enfrenta barreiras técnicas, regulatórias e legais para conexão e comercialização da energia produzida, assim como dificuldades para viabilizar economicamente seus projetos. (ANEEL, 2011a). Tendo essa percepção, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL tem realizado, nos últimos anos, alterações na regulação do setor com intuito de viabilizar e incentivar a adoção da GD.

A emissão das Resoluções Normativas 481/2012 e 482/2012 são exemplos de alterações nesse sentido. A primeira estabelece incentivos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD para geradores que fazem uso de fonte solar na geração de energia elétrica, enquanto que a segunda estabelece as condições gerais para o acesso da GD de pequeno porte no país, criando os conceitos de microgeração e minigeração distribuída (ANEEL, 2012a, ANEEL, 2012b).

Contudo, a realização de alterações na regulação de um país de modo a considerar a GD como um elemento positivo para o sistema e para o setor elétrico ainda é um desafio para diversos países, sendo objeto de estudo de pesquisadores e instituições de pesquisa ao redor do mundo. Esse é o foco principal da dissertação, como será explicitado a seguir.

1.1. Objeto e Objetivos da Dissertação

O objeto escolhido para ser abordado nesse trabalho é a regulação do serviço de distribuição de energia elétrica – doravante mencionada como regulamentação da distribuição – no Brasil que é impactada pela introdução da GD. Como regulação da distribuição no Brasil está sendo considerado, predominantemente, o conjunto regras estabelecidas nas Resoluções Normativas, nos Procedimentos de Distribuição –

PRODIST e nos Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET que regulam as atividades de distribuição de energia elétrica no país. Não serão abordados todos os elementos de regulação da distribuição, somente aqueles afetados pela introdução da GD, segundo indicação da literatura sobre o assunto.

O objetivo principal da dissertação é o de fornecer contribuições no sentido de aprimorar essa regulação, de forma a incentivar e considerar de maneira eficiente a introdução e o crescimento da GD no país. O termo eficiente está sendo utilizado no sentido de evitar um aumento desproporcional de custos para os atores envolvidos – sendo eles a distribuidora, os consumidores atendidos pela distribuidora e os proprietários de unidades de GD – e proporcionar que os benefícios resultantes da introdução da GD no sistema elétrico sejam viabilizados e socializados.

Tais contribuições serão baseadas em referências bibliográficas sobre o tema e na regulação adotada por outros países. Acredita-se que possam ser identificados assuntos não abordados ou assuntos passíveis de aprimoramento na regulação em vigor no Brasil que impõem barreiras para a introdução e o crescimento da GD no país e/ou não exploram os benefícios decorrentes da introdução e do crescimento da GD no sistema elétrico. Para cada assunto identificado como relevante, será indicado de que forma outros países do mundo o abordam e/ou orientações da literatura para o seu tratamento.

Deve ser destacado que os documentos que regulam a distribuição nos países considerados no estudo não serão descritos em profundidade e não serão avaliados tecnicamente. O enfoque da avaliação é verificar se as principais questões identificadas sobre o assunto são consideradas e, quando positivo, de que forma são tratadas. Por exemplo, não será descrita em detalhes a metodologia de apuração e incentivo à qualidade do serviço de distribuição estabelecida no Brasil e não será avaliada sua eficácia. Nesses casos, a avaliação se restringirá à existência ou não da metodologia, se essa considera ou não a GD como elemento que impacta a qualidade do serviço de distribuição e, quando positivo, de que forma.

Para atingir o objetivo principal desse trabalho, um conjunto de objetivos secundários é almejado, de forma a habilitar a construção das contribuições sobre o assunto. São eles:

- identificar os impactos técnicos decorrentes da introdução da geração distribuída em um sistema de distribuição, de forma a desenvolver um melhor

entendimento sobre o objeto e sua relação com a atividade de distribuição de energia elétrica;

- identificar os principais elementos de regulação da distribuição de um país que são impactados pela introdução e pelo o crescimento da GD;
- identificar as recomendações da literatura para cada elemento de regulação da distribuição impactado pela introdução da GD e identificado como relevante; e
- identificar de que forma outros países regulam os elementos considerados como relevantes.

1.2. Relevância e Justificativa

A relevância e a pertinência do assunto podem ser justificadas pelos seguintes fatores:

- a atualidade do tema, evidenciada pelas recentes alterações na regulamentação no país sobre o assunto;
- a baixa maturidade do assunto, indicada pelo fato de outros países no mundo, como, por exemplo os Estados Unidos, também estarem concebendo e implementado suas regras para normalização do assunto;
- a complexidade do tema, que envolve elementos de diferentes naturezas, técnica, econômica, jurídica, política, entre outros;
- a potencialidade dos efeitos negativos para os consumidores de uma regulação mal concebida, pois podem causar, por exemplo, aumento no preço da energia elétrica e queda na qualidade do serviço de fornecimento de energia elétrica prestado pela distribuidora;
- a potencialidade dos efeitos negativos de uma regulação mal concebida para os agentes do Setor Elétrico – como geradores, transmissores e distribuidores – pois pode causar, por exemplo, prejuízos financeiros significativos, uma vez que impactam diretamente sua estrutura de custos e sua forma de remuneração; entre outros.

Todos esses fatores são agravados pelo fato de que, uma vez concebidos, alterações nos documentos regulatórios são de difícil execução, especialmente por conta de sua complexidade e pelo número de atores impactados. A título de exemplo, a concepção da RES 482/2012 teve início no fim de 2010, com a realização da Consulta Pública nº 15/2010, e somente foi finalizada 2 (dois) anos após esse início.

Como relevância acadêmica, pode-se verificar que o interesse pelo tema Geração Distribuída cresceu na última década, conforme pode ser observado pelo número crescente de publicações relacionadas ao assunto a cada ano. O gráfico a seguir demonstra tal crescimento. Ele foi gerado pelo site de pesquisa Web of Knowledge, após busca pelo termo “*distributed generation*” nos principais tópicos – título, resumo, palavras-chave, capítulos e subcapítulos – dos artigos presentes nas bases e periódicos acessados pela ferramenta de busca.

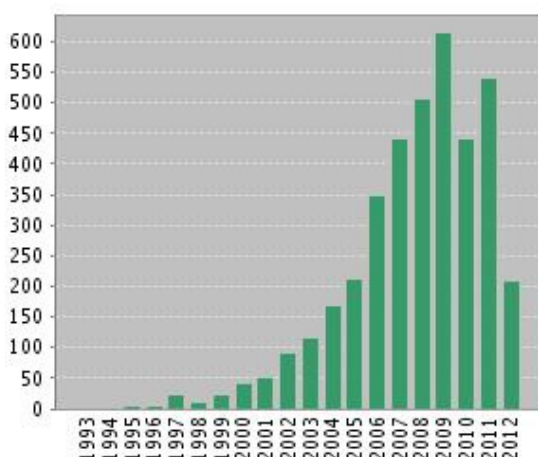


Figura 2: Crescimento do número de publicações associadas ao termo “*distributed generation*” na ferramenta de pesquisa Web of Knowledge (Fonte: Web of Knowledge)

Como justificativa para a escolha do tema, para além de sua relevância, esse foi escolhido pois acredita-se que essa forma de geração tende a crescer no país no médio e longo prazo. Esse crescimento irá demandar adequações na regulação em vigor para viabilizar sua difusão, para garantir que um determinado ator não seja favorecido ou prejudicado e para que os benefícios da introdução da GD possam ser materializados e refletidos para todos os consumidores. A pesquisa tem como intuito contribuir nesse sentido.

1.3. Estrutura do Documento

O documento está estruturado da seguinte forma: o primeiro capítulo faz uma breve contextualização sobre o tema, destacando as transformações que a cadeia de energia elétrica vem sofrendo nos últimos anos, entre elas a introdução da GD. Nesse capítulo, ainda são explicitados o objeto e objetivos da dissertação e sua relevância e justificativa de escolha. Em seguida, no segundo capítulo, é caracterizada a pesquisa e apresentado o método utilizado. É descrito, ainda, de que forma foi realizado o

mapeamento da literatura sobre o assunto, como foram selecionadas as principais referências utilizadas no trabalho e as principais conclusões resultantes do mapeamento.

No terceiro capítulo, são apresentados os conceitos centrais relacionados à GD, de forma a caracterizar melhor esse objeto, as tecnologias mais difundidas e suas vantagens e desvantagens, assim como os benefícios e problemas associados a sua introdução no sistema elétrico. No quarto capítulo são apresentados e descritos os elementos de regulação da distribuição que devem ser reavaliados para o desenvolvimento da GD em um país. Os elementos foram identificados a partir das referências identificadas na pesquisa bibliográfica descrita no segundo capítulo.

No quinto capítulo, é verificado de que forma Alemanha, Espanha e Estados Unidos / Califórnia tratam os elementos de regulação indicados no capítulo anterior. Os dois primeiros países foram escolhidos por causa do seu elevado grau de penetração de GD. O terceiro país foi escolhido pois se encontra em uma fase similar a do Brasil, ajustando sua regulação para incentivar e acomodar a penetração da geração distribuída em larga escala.

No sexto capítulo, é apresentado em maiores detalhes a situação atual do Brasil, descrevendo a regulação adotada atualmente e comparando-a com os elementos identificados no capítulo 4. No final desse capítulo, é realizada a comparação entre os quatro países abordados pelo estudo, assim como uma avaliação de suas regulamentações com as orientações provenientes da literatura. Em seguida, são apresentadas orientações com intuito de aprimorar a regulamentação da distribuição no Brasil, no sentido de adequá-la para uma introdução em larga escala da GD de forma eficiente. Por fim, no sétimo e último capítulo é realizada uma síntese do documento, explicitando suas principais contribuições e limitações, assim como os possíveis desdobramentos futuros. A figura a seguir ilustra a estrutura do documento elaborado.

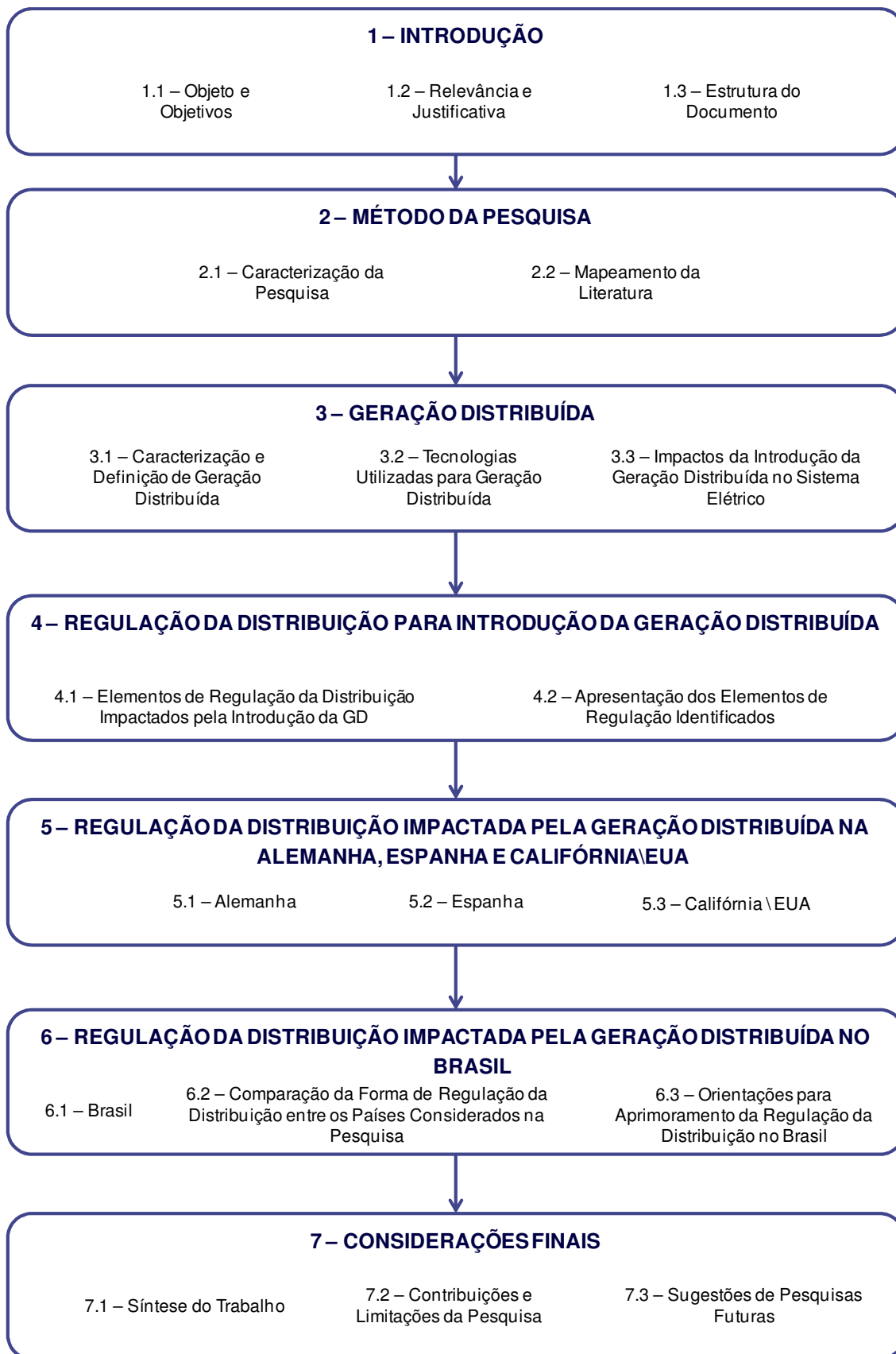


Figura 3: Ilustração da estrutura do documento (FONTE: O AUTOR)

2. Método da Pesquisa

Nesse capítulo, será caracterizada a pesquisa realizada e será descrito o método de trabalho executado. Em seguida, será descrito de que forma foi realizado o mapeamento da literatura sobre o assunto, como foram selecionadas as principais referências utilizadas no trabalho e as principais conclusões resultantes do mapeamento.

2.1. Caracterização da Pesquisa e Método de Trabalho

Para caracterização da pesquisa, foram utilizados os conceitos propostos por Gil (2008) para definição do método de pesquisa, para definição do tipo de pesquisa e para definição dos procedimentos a serem utilizados na coleta de dados. Em relação ao método da pesquisa, Gil (2008) apresenta e define os três métodos que proporcionam as bases lógicas de investigação mais utilizados, sendo:

- **Método dedutivo:** método que parte do geral e desce para o particular, utilizando puramente a lógica para realizar esse desdobramento e chegar aos resultados da pesquisa (GIL, 2008);
- **Método indutivo:** método inverso ao dedutivo, partindo do particular e chegando a formulações gerais. Realiza a observação de fatos, ou de fenômenos, que se deseja conhecer, compara os diversos fatos, ou fenômenos, observados e, a partir desses, formula generalizações (GIL, 2008);
- **Método hipotético-dedutivo:** método que realiza, primeiramente, a formulação de postulados que governam um fenômeno, a partir de uma combinação de observações, antecipações e intuições científicas. Em seguida, realiza experimentações para refutar os postulados, substituindo por outros, ou para corroborá-los (GIL, 2008)

Pelas características da pesquisa realizada, essa pode ser enquadrada como predominantemente indutiva, pois serão comparados casos de diferentes países e serão formuladas generalizações para aplicação no caso brasileiro.

Em relação ao tipo de pesquisa, GIL (2008) destaca os três tipos de pesquisas mais adotadas na atualidade, sendo:

- **Pesquisa exploratória:** possui como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, buscando a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Busca proporcionar uma visão geral, de tipo aproximado, acerca de determinado fato. Em geral, é utilizada quando o tema escolhido é pouco explorado e, assim, é difícil formular hipóteses precisas e operacionalizáveis sobre o objeto. Tem como produto final um problema mais esclarecido, passível de investigação mediante procedimentos mais sistematizados (GIL, 2008);
- **Pesquisa descritiva:** tem como objetivo central a descrição das características de determinada população, ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis de um sistema. Sua característica mais significativa é o uso de técnicas padronizadas e rigorosas para coleta dos dados utilizados na pesquisa (GIL, 2008);
- **Pesquisa explicativa:** que é aquela que tem como principal preocupação identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos estudados. É um tipo de pesquisa mais sofisticado que a exploratória e a descritiva, e, em geral, é realizado após aplicação de uma das duas. Esse tipo de pesquisa se vale, basicamente, do método experimental para sua realização (GIL, 2008).

Pelas características da pesquisa realizada, essa pode ser enquadrada como sendo uma pesquisa exploratória, pois o tema tratado é pouco explorado na literatura e pouco consolidado na prática. Além disso, o trabalho tem como um objetivo obter maiores esclarecimentos sobre o objeto abordado, para formulação de proposições aplicáveis ao caso brasileiro.

Em relação aos procedimentos para coleta de dados, esses podem ser enquadrados em dois grupos, os que se valem de documentos ou outros materiais explícitos – como, por exemplo, filmes, gravações etc. – e procedimentos nos quais os dados são fornecidos por pessoas (GIL, 2008). No primeiro grupo, estão as pesquisas bibliográfica e documental e no segundo grupo, a pesquisa experimental, a pesquisa *ex-post-facto*, o levantamento de campo, o estudo de campo e o estudo de caso (GIL, 2008).

O presente trabalho faz uso de procedimentos do primeiro grupo, aplicando a pesquisa bibliográfica, que realiza a pesquisa em livros e artigos científicos sobre o objeto abordado, e a pesquisa documental, cuja diferença em relação ao primeiro tipo

de pesquisa está na natureza das fontes utilizadas (GIL, 2008). Nesse último caso, são utilizados materiais que não receberam tratamentos analíticos ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa, podendo ser classificados em documentos de primeira mão – que não receberam tratamento analítico, como documentos oficiais e matérias de jornais – e documentos de segunda mão – que, de alguma forma, já foram analisados, como relatórios de pesquisa e tabelas estatísticas (GIL, 2008).

Desta forma, resumidamente, pode-se caracterizar o trabalho realizado como sendo uma pesquisa que faz uso do método predominantemente indutivo, a partir de pesquisas bibliográfica e documental, para realizar uma pesquisa exploratória sobre a forma como a regulação da distribuição de um país é impactada pela introdução da geração distribuída, buscando sua aplicação no caso brasileiro.

Para realização da revisão da literatura sobre o tema, foram seguidas 3 (três) etapas, ilustradas na figura a seguir.

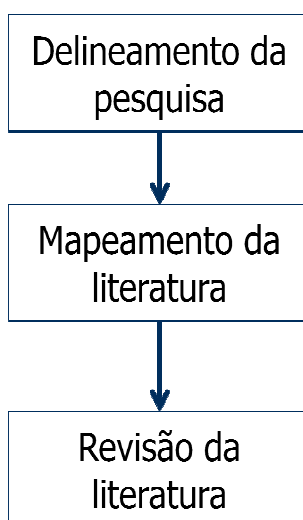


Figura 4: Etapas da revisão da literatura (Fonte: O AUTOR)

No delineamento da pesquisa, o objeto abordado é melhor especificado, passando de um assunto de interesse para um tópico de pesquisa. Na formulação desse tópico, ou questão, de pesquisa, BOOTH, COLOMB & WILLIAMS (2008) propõem que se preencha a seguinte estrutura:

Eu estou estudando ...

porque quero descobrir que ...

para que isso ...

Aplicando essa estrutura ao tópico de interesse, obtém-se a seguinte questão de pesquisa:

Eu estou estudando de que forma a regulação da distribuição é impactada pela introdução da geração distribuída, porque quero descobrir quais os principais elementos que devem ser adequados para considerar sua introdução em larga escala em um país de forma eficiente, para que isso possa ser utilizado como subsídio para o aprimoramento da regulação em vigor no Brasil.

Após o delineamento da pesquisa, a segunda etapa consiste no mapeamento da literatura, onde é realizada a busca e a seleção das referências que irão fornecer as informações necessárias para execução da pesquisa. Essa etapa será detalhada no tópico seguinte desse capítulo.

Por fim, a revisão da literatura consiste na realização da leitura sintópica² de todas as fontes selecionadas no mapeamento da literatura. Esse tipo de leitura consiste na identificação das contribuições de cada fonte selecionada para o entendimento, o encaminhamento e a solução da questão de pesquisa formulada inicialmente. Todos os elementos identificados nas fontes selecionadas considerados relevantes para a pesquisa delineada são registrados para posterior utilização na pesquisa.

Após revisão da literatura, foram seguidas as seguintes etapas para formulação dos resultados e das conclusões da pesquisa.

² A leitura sintópica é definida por Adler & Van Doren (1968) como sendo aquela que visa formar um entendimento que extrapole um único trabalho. Ela se propõe a trabalhar diversas obras relativas a um mesmo tema, relacionando-as para construir conhecimento.

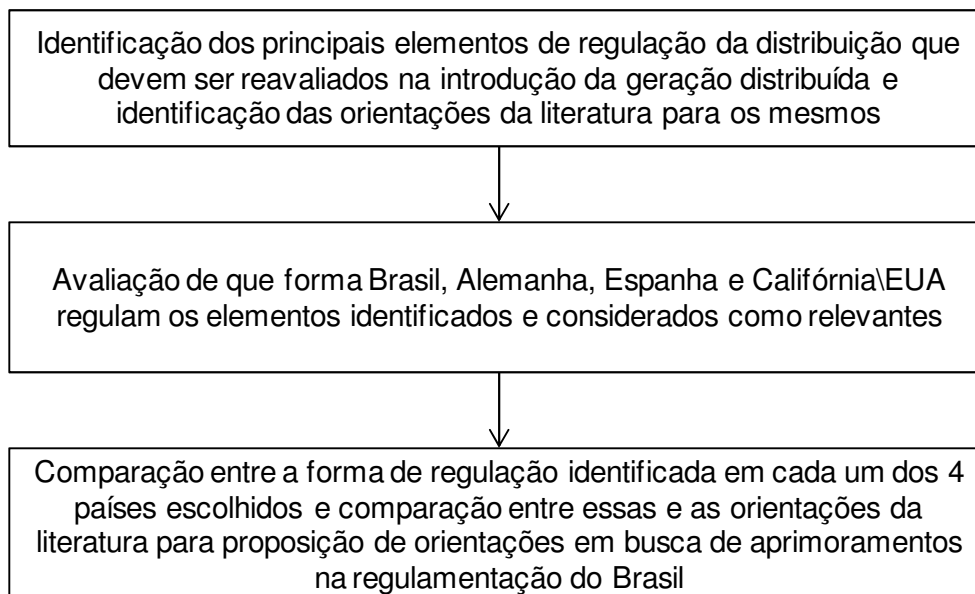


Figura 5: Etapas para formulação dos resultados e conclusões da pesquisa (Fonte: O AUTOR)

Primeiramente, com base da revisão da literatura realizada, foram identificados os elementos de regulação da atividade de distribuição de energia elétrica de um país que devem ser reavaliados na introdução da GD. Para cada elemento, buscou-se, ainda, a identificação de diretrizes e de orientações que têm como objetivo a viabilização da introdução da GD de forma eficiente, não resultando em aumento desproporcional de custos para os atores envolvidos e proporcionando que os benefícios de sua implantação sejam viabilizados e socializados.

Após identificação dos elementos a serem considerados e das orientações para sua regulação, foi identificado como os países escolhidos – Alemanha, Brasil, Espanha, EUA/Califórnia – respondem a esses elementos. O objetivo dessa etapa era identificar como os países abordam os elementos considerados como relevantes e o estágio atual da regulamentação no Brasil. Por fim, foram identificados os elementos passíveis de aprimoramento no Brasil e realizadas proposições de melhoria para esses elementos.

2.2. Mapeamento da Literatura

O mapeamento foi realizado para os dois tipos de pesquisa adotados, a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental, mencionados e explicados anteriormente. Na pesquisa bibliográfica, utilizou as seguintes fontes:

- **Busca de artigos:** base de periódicos *Science Direct*; base de periódicos do Instituto de Engenheiro Elétricos e Eletrônicos – IEEE; e portal de busca *ISI Web of Knowledge*; e
- **Busca de teses e dissertações:** Sistema de Documentação da UFRJ – Minerva; Biblioteca Digital da UNICAMP; e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações.

As bases de periódicos da *Science Direct* e do IEE foram escolhidas pois possuem a maior quantidade de periódicos com elevado número de citação do termo “*distributed generation*”, de acordo com a *ISI Web of Knowledge*. Entre 10 (dez) periódicos com maior quantidade de artigos que possuem o termo nos principais tópicos do artigo – título, resumo, palavras-chave, capítulos e subcapítulos – 5 (cinco) estão presentes na base do IEE e 3 (três) na base da *Science Direct*. O conjunto de periódicos com maior quantidade de artigos que possuem o termo nos principais tópicos do artigo é apresentado no ANEXO I desse documento.

Na busca por artigos na base de periódicos do IEEE, foram realizadas duas buscas com as seguintes configurações e os respectivos resultados:

- Primeira Configuração
 - Busca nos Metadados do artigo (título, resumo e termos indexados) pelos termos: “distributed generation” **E** “regulat*”;
 - Resultado restringido a Periódicos e Revistas (as publicações de Congresso, por exemplo, foram excluídas);
 - Período de busca de 2007 até 2013;
 - Resultado: foram encontrados 78 artigos.
- Segunda Configuração
 - Busca nos Metadados do artigo (título, resumo e termos indexados) pelos termos: “distributed generation” **E** “polic*”;
 - Resultado restringido a Periódicos e Revistas (as publicações de Congresso, por exemplo, foram excluídas);
 - Período de busca de 2007 até 2012;
 - Resultado: foram encontrados 15 artigos.

Na base de periódicos *Science Direct*, foram utilizados os recursos do portal que permitem combinar mais de uma busca na base de periódicos. Foi utilizada a seguinte configuração de pesquisa:

- Busca nos campos “Título, Resumo e Palavras-chave” por {"micro-generation" OU "distributed generation" OU "decentralised generation" OU "dispersed generation" OU "embedded generation" E "regulat*"} OU {"micro-generation" OU "distributed generation" OU "decentralised generation" OU "dispersed generation" OU "embedded generation" E "polic*"};
- Periódicos das áreas do conhecimento “*Energy*” e “*Engineering*”;
- Período de busca de 2007 até 2012;
- Resultado: foram encontrados 129 artigos.

Os 222 artigos encontrados nas bases do IEE e da *Science Direct* foram selecionados, após leitura dos títulos e, quando necessário, leitura do resumo e leitura inspecional dos artigos para avaliação do atendimento a um dos seguintes critérios:

- **Critério 1:** artigos que abordam a regulação do setor elétrico e a associam à introdução de GD, procurando identificar as barreiras e/ou propostas de melhoria e incentivos regulatórios para incentivar sua penetração no país;
- **Critério 2:** artigos que abordam a regulação do setor elétrico de um dos países escolhidos para comparação com a regulamentação de GD do Brasil – no caso, Alemanha, Espanha e Estados Unidos – e a associam à introdução de GD;
- **Critério 3:** artigos que abordam, de uma forma ampla, os impactos da introdução da GD no sistema elétrico – ou seja, não focavam na realização de um tipo de estudo específico associado à implantação da GD, como, por exemplo, a regulação de tensão na rede ou a alocação das perdas na rede.

O Anexo II do documento explicita os artigos selecionados e o critério ao qual cada artigo está associado.

O portal *ISI Web of Knowledge* também foi utilizado com o objetivo específico de encontrar os autores e artigos mais citados na definição do termo Geração Distribuída. Para identificação desses artigos, inicialmente, foi realizada a busca pelo termo “distributed generation” sendo encontrados 3.855 resultados. Esses resultados foram ordenados pela quantidade de vezes que foram citados, do maior para o menor. Foi feita uma análise do conjunto de artigos encontrado, em busca dos artigos que possuíam como foco específico a definição do termo. Foram selecionados os três artigos mais citados, sendo:

- ACKERMANN et. al. (2001), citado 244 vezes;

- PEPEMANS et. al. (2005), citado 151 vezes;
- EL-KHATTAM & SALAMA (2004), citado 101 vezes.

Ao longo da realização das buscas por artigos descritas, percebeu-se que o conjunto de artigos encontrado pode ser subdividido em dois subconjuntos, artigos de natureza técnica e de natureza não técnica, existindo alguma interseção entre eles. Os artigos de natureza técnica abordam, principalmente, (1) o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias utilizadas para a GD – por exemplo, painéis fotovoltaicos, microturbinas eólicas, células a combustível, entre outros – e (2) questões relacionadas à operação e ao planejamento de sistemas elétricos considerando a introdução da GD – por exemplo, técnicas de regulação de tensão, gestão de potência reativa, métodos de planejamento da expansão da geração, entre outros. Esse subconjunto representa a maioria dos artigos existentes sobre o assunto.

Os artigos relacionados ao assunto que são de natureza não técnica abordam questões como (1) formas de incentivo à introdução da GD em uma determinada região ou país; (2) alterações na regulação de um setor elétrico para introdução da GD; (3) impactos não operacionais nos atores de um setor elétrico; (4) criação de novos negócios a partir da introdução da GD, entre outros assuntos. Esse subconjunto representa uma pequena parte dos artigos existentes sobre o assunto.

Na busca por teses e dissertações utilizou-se o termo “geração distribuída” nos portais Minerva da UFRJ, Biblioteca Digital da UNICAMP e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, sendo encontrados 35, 44 e 162 resultados, respectivamente. Desse total, após leitura do título e, quando necessário, leitura do resumo e leitura inspeccional da tese ou dissertação, foram selecionados os trabalhos que atendiam a um dos 3 critérios utilizados para seleção dos artigos, mencionados anteriormente. Ao fim da avaliação, foram selecionados 3 (três) trabalhos para serem utilizados na pesquisa. Os trabalhos selecionados e o critério associado estão explicitados no Anexo III desse documento.

Para finalizar a etapa de pesquisa bibliográfica, foi realizada uma busca desestruturada na ferramenta de busca Google com intuito de encontrar outras referências que pudessem apoiar o entendimento de temas específicos abordados pelo trabalho – como, por exemplo, o funcionamento de uma célula fotovoltaica ou de que forma a GD influencia na regulação de tensão da rede de distribuição – que não eram aprofundados nas referências selecionadas segundo os 3 critérios definidos. O

conjunto final de trabalhos selecionados com esse intuito e o assunto explorado relacionado são expostos no Anexo IV do documento.

Na busca referente à pesquisa documental, utilizou a ferramenta Google com foco na busca por fontes específicas, tais como:

- sites governamentais que fornecessem informações sobre a regulação sobre o assunto no Brasil e nos países considerados como relevantes para o estudo;
- sites de agências internacionais de energia;
- sites de centros e / ou grupos de pesquisas internacionais sobre energia; e
- sites sobre projetos de pesquisa internacionais sobre o tema Geração Distribuída.

2.3. Considerações Finais do Capítulo

Nesse capítulo foi descrito em maiores detalhes de que forma a pesquisa foi conduzida. Primeiramente, o objeto e a questão de pesquisa foram definidos e delineados. Em seguida, foi realizado o mapeamento da literatura para identificação do conjunto de referências a ser utilizado na pesquisa. A partir desse conjunto, serão identificados os principais elementos de regulação da distribuição que devem ser tratados na introdução da GD em um país e serão obtidas as orientações provenientes da literatura.

3. Geração Distribuída

Nesse capítulo, são apresentados os principais conceitos relacionados à Geração Distribuída – GD, de forma a caracterizar melhor o objeto, são apresentadas as tecnologias mais utilizadas nessa forma de geração e são descritos os impactos de sua introdução em um sistema elétrico.

3.1. Caracterização e Definição de Geração Distribuída

Um bom modo de tentar caracterizar o termo GD é explicitar as alterações que sua introdução causa em um sistema elétrico típico. Em um sistema elétrico tradicional, a geração de energia elétrica usualmente ocorre em uma usina de grande capacidade. Dependendo da usina e do país em questão, ela pode estar bem distante dos centros de consumo. Essa energia é transportada através do sistema de transmissão do país até chegar à rede de distribuição, que irá fornecer a energia para os consumidores finais.

A GD vem alterar essa lógica do sistema elétrico tradicional. A energia elétrica passa a ser gerada por usinas de pequena capacidade, localizadas próximas aos centros de consumo, ou, até mesmo, nas instalações do consumidor final. As usinas são conectadas diretamente no sistema de distribuição responsável por fornecer a energia para os consumidores finais. A figura a seguir ilustra ambas as situações descritas.

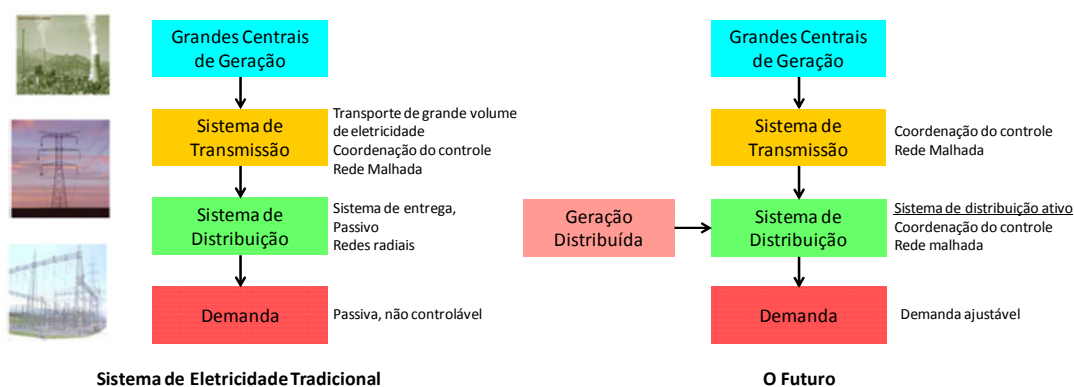


Figura 6: Sistema elétrico tradicional e sistema elétrico do futuro (FONTE: Adaptado de BAYOD-RÚJULA, 2009)

A GD possui um vasto leque de aplicações no setor elétrico. A seguir serão descritas algumas aplicações e os benefícios associados a cada aplicação³:

- **Fornecimento de energia a consumidores isolados:** a GD pode ser utilizada para fornecimento de energia em locais onde é economicamente inviável a construção de um sistema de fornecimento de energia elétrica, seja um sistema de transmissão ou mesmo um sistema de distribuição. Questões ambientais também podem influenciar a opção pelo fornecimento através da GD a lugares isolados (CARLEY, 2009, NAIR & ZHANG, 2009, BAYOD-RÚJULA, 2009);
- **Fornecimento de energia em casos de interrupção no fornecimento de energia da rede:** a GD pode ser utilizada para fornecimento de energia nos momentos de interrupção por causa de falha no sistema de transmissão ou distribuição (CARLEY, 2009). Dessa maneira, o consumidor não fica dependente do fornecimento da rede para execução de suas atividades, não precisando, por exemplo, interromper seu processo produtivo em casos de apagões sistêmicos. Tal utilização aumenta a confiabilidade do sistema de fornecimento de energia (BAYOD-RÚJULA, 2009, NAIR & ZHANG, 2009);
- **Redução no consumo de energia:** a GD pode ser utilizada para reduzir a quantidade de energia consumida da rede elétrica, resultando em redução nos gastos com a compra de energia elétrica. Dependendo do tipo de tecnologia utilizada para geração de energia, é possível escolher os horários nos quais o gerador deixará de consumir da rede. Tal opção é interessante nos casos em que o preço da tarifa de energia varia ao longo do dia (CARLEY (2009), NAIR & ZHANG (2009) e BAYOD-RÚJULA (2009));
- **Redução no custo da energia:** com o fornecimento de energia diretamente na rede de distribuição, há eliminação dos custos de transmissão e eventual redução nos custos da energia (BAYOD-RÚJULA, 2009, CARLEY, 2009);
- **Redução no pico de carga do sistema:** a GD pode ser utilizada como forma de reduzir o pico de carga do sistema, gerando energia nos horários de maior consumo. Tal utilização é benéfica pois posterga a

³ As aplicações variarão de acordo com o tipo de tecnologia de GD utilizado. No caso, estão sendo listados os benefícios que são resultantes da união dos benefícios oferecidos por todas as formas de GD. Determinados benefícios listados são inviáveis atualmente, seja por questões tecnológicas ou econômicas para determinadas tecnologias de GD.

necessidade de investimentos para expansão da oferta de geração de energia e para melhorias e reforços na rede elétrica, de transmissão e/ou de distribuição (BAYOD-RÚJULA, 2009, NAIR & ZHANG, 2009);

- **Regulação da tensão na rede elétrica:** a GD pode ser utilizada para aumento da tensão em locais distantes da geração central e / ou em momentos de aumento de consumo que provocam queda de tensão na rede (BAYOD-RÚJULA, 2009, PASSEY ET AL., 2011);
- **Aumento incremental da oferta de geração:** ao invés de construir uma usina com grande capacidade de geração – por vezes maior do que a demanda necessária – pode-se realizar acréscimos incrementais de capacidade com centrais geradoras de pequena capacidade. Nesses casos, os investimentos em expansão da geração podem ser diluídos ao longo do tempo (PEPERMANS ET AL., 2005 apud NAIR & ZHANG, 2009, BAYOD-RÚJULA, 2009);
- **Aumento da eficiência do sistema elétrico:** localizando a geração próxima à carga, o fluxo de energia na rede elétrica – de transmissão e de distribuição – irá diminuir. Tal fato reduz as perdas na rede elétrica, aumentando a eficiência global do sistema (BAYOD-RÚJULA, 2009; NAIR & ZHANG, 2009, PASSEY ET AL., 2011). Além disso, determinadas as centrais de geração distribuída são mais eficientes do que as centrais de geração de larga escala, quando associadas a sistemas de cogeração (CARLEY, 2009).

Outras aplicações e benefícios são descritos na literatura, tais como redução no consumo de combustíveis fósseis e emissão de gases do efeito estufa (BAYOD-RÚJULA, 2009, NAIR & ZHANG, 2009), oportunidades de novos negócios nos locais onde a GD é introduzida (BAYOD-RÚJULA, 2009), redução do preço da energia, por conta da competição no fornecimento (BAYOD-RÚJULA, 2009), entre outros.

Apesar dos potenciais benefícios decorrentes da utilização da GD, alguns aspectos são citados como entraves para sua disseminação, como, por exemplo:

- necessidade de elevados investimentos iniciais em infraestrutura para a conexão das unidades de GD (BAYOD-RÚJULA, 2009; PASSEY ET AL., 2011);
- tecnologias de GD imaturas comercialmente ou tecnologicamente (NAIR & ZHANG, 2009);

- impactos técnicos no sistema de distribuição que demandam alterações na forma tradicional de operação, planejamento, projeto e manutenção dos sistemas – como a inversão no fluxo de energia, necessidade de ajustes no sistema de proteção, problemas de qualidade de energia, entre outros (BAYOD-RÚJULA, 2009; NAIR & ZHANG, 2009);
- baixo conhecimento disponível para execução de atividades de instalação, de operação e de manutenção de unidades de GD (PASSEY ET AL., 2011);
- inexistência de regulação e de padrões sobre o assunto, ou existência de regulação e de padrões inadequados (PASSEY ET AL., 2011), entre outros aspectos.

Para definição do termo Geração Distribuída, são utilizados os três artigos mais citados, segundo a ferramenta de busca *ISI Web of Knowledge*, que se dedicam exclusivamente à busca de uma definição, são eles: Ackermann et. al. (2001), Peperman et al. (2005) e El-Khattam e Salama (2004). Ainda, são utilizados outros trabalhos mais recentes para indicar a situação atual dessa definição e como ela evoluiu ao longo dos últimos anos.

O artigo mais utilizado nas tentativas de definição do termo é “*Distributed generation: a definition*”, de Ackermann et. al. (2001). Nesse artigo, os autores apresentam os diversos aspectos que, na época do trabalho, eram comumente utilizados para definição do termo, sendo:

- propósito da unidade de geração;
- localização da unidade de geração;
- capacidade da planta;
- energia entregue à área;
- tecnologia utilizada;
- impacto ambiental da geração;
- modo de operação da unidade;
- proprietário da unidade;
- grau de penetração da geração distribuída.

Para cada um desses aspectos, os autores discutem sua relevância na definição do termo e, caso julguem relevante, propõem uma definição segundo esse aspecto. Como principais conclusões, os autores afirmam que os seguintes aspectos não são relevantes para definição do termo:

- capacidade da planta;
- energia entregue à área;
- tecnologia utilizada;
- impacto ambiental da geração;
- modo de operação da unidade;
- proprietário da unidade;
- grau de penetração da geração distribuída.

Apesar de Ackermann et. al. (2001) não acharem os aspectos de capacidade da planta e tecnologia relevantes, os autores propõem a utilização de categorias para esses aspectos, por causa de questões técnicas e regulatórias associadas ao tema. No caso do aspecto capacidade da planta, os autores propõem a seguinte categorização:

- Microgeração Distribuída: $\sim 1 \text{ Watt} < 5 \text{ kW}$;
- Geração Distribuída de pequeno porte: $5 \text{ kW} < 5 \text{ MW}$;
- Geração Distribuída de médio porte: $5 \text{ MW} < 50 \text{ MW}$;
- Geração Distribuída de grande porte: $50 \text{ MW} < \sim 300 \text{ MW}$.

No caso da tecnologia utilizada, Ackermann et. al. (2001) propõem 3 (três) categorias, sendo:

- Renovável;
- Modular;
- Sistemas de cogeração (ou, em inglês, *compound heat and power* – CHP).

Os dois únicos aspectos que os autores julgam relevantes são o propósito e a localização. No caso do primeiro, os autores consideram que o propósito da GD é fornecer potência ativa ao sistema elétrico, não sendo necessário que forneça potência reativa (ACKERMANN ET AL., 2001). Em relação à localização da instalação os autores dividem a definição em dois tipos, as unidades de geração conectadas diretamente à rede de distribuição e as conectadas à rede de distribuição pelo lado do sistema de medição do consumidor (ACKERMANN ET AL., 2001). Os autores afirmam, ainda, que somente a definição legal do país pode diferenciar os sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica (ACKERMANN ET AL., 2001) e, por conta disso, não é possível associar a definição teórica da GD a algum nível de tensão.

Por fim, os autores propõem uma definição para o termo:

“Geração Distribuída é a fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou no lado do sistema de medição do consumidor.” (ACKERMANN ET AL., 2001, pag. 201)

O segundo trabalho relevante para a definição do termo é o de Peperman et al. (2005), *“Distributed generation: definition, benefits and issues”*. Os autores analisam definições do termo provenientes de instituições relacionadas a sistemas elétricos e de energia – sendo: CIGRÉ⁴, IEE⁵, IEA⁶ - e três trabalhos acadêmicos sobre o tema – sendo: Dondi et al. (2002), Chambers (2001), e Ackermann et. al (2001). Após analisar as 6 (seis) definições encontradas, os autores se mostram favoráveis à definição adotada por Ackermann et. al (2001), pois são os únicos que consideram somente a conexão e a localização da unidade de geração, desprezando a capacidade de geração na definição (PEPERMAN ET AL., 2005).

Peperman et al. (2005) ainda discutem outros aspectos associados à definição do termo – como, por exemplo, nível de tensão da conexão, capacidade de geração, modo de operação e proprietário – contudo não acrescentam nenhum desses à definição de Ackermann et. al (2001). Por fim, os autores afirmam que a definição deve variar em diversas situações, de acordo com as questões de pesquisa que serão abordadas, mas que uma definição geral e ampla é necessária para a comunicação desse conceito (PEPERMAN ET AL., 2005).

Por fim, o terceiro trabalho mais relevante para discussão da definição do termo é o de El-Khattam e Salama (2004), *“Distributed generation technologies, definitions and benefits”*. O trabalho, além de discutir sobre sua definição, apresenta as principais tecnologias associadas ao tema e os benefícios oriundos de sua utilização. Os autores não utilizam Ackermann et. al (2001) como referência para essa discussão, como Peperman et al. (2005) fizeram.

Primeiramente, os autores afirmam que o termo ‘Geração Distribuída’ é utilizado na América do Norte, enquanto os países da América do Sul utilizam ‘Geração Embutida’ e a Europa e alguns países da Ásia utilizam ‘Geração Descentralizada’ (EL-KHATTAM E SALAMA, 2004). Os autores afirmam, ainda, que

⁴ Sigla em inglês para o Conselho Nacional de Grandes Sistemas Elétrico.

⁵ Sigla em inglês para o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos.

⁶ Sigla em inglês para Agência Internacional de Energia

algumas pesquisas realizadas indicam que deve-se chegar a um nome único para o termo, sendo esse o de 'Geração Distribuída'.

Os autores reforçam a opinião de que não existe consenso acerca da definição do termo e, assim como Ackermann et. al (2001) e Peperman et al. (2005), avaliam o termo sobre diferentes aspectos. Em relação ao propósito da GD, os autores consideram o mesmo de Ackerman et. al (2001). Em relação à localização da unidade geradora, os autores consideram a mesma definição que Ackerman et. al (2001), mas acrescentam uma definição de sistema de transmissão e sistema de distribuição para caracterizar sua diferenciação.

Em relação à capacidade da unidade, essa dependerá da definição do governo de cada país, pois a capacidade máxima da GD depende da capacidade do sistema de distribuição e do nível de tensão da rede. Por fim, os autores acreditam que a área de entrega de energia também não deve ser considerada na definição e que uma classificação de acordo com as restrições impostas pelos tipos de tecnologia de GD – como, por exemplo, turbina a gás, máquinas de combustão interna, sistemas fotovoltaicos, entre outros – é necessária (EL-KHATTAM E SALAMA, 2004).

Após leitura de trabalhos mais recentes, como BAYOD-RÚJULA (2009); CARLEY (2009) e BAUKNECHT e BRUNEKREEFT (2008), percebe-se que a discussão sobre a definição do termo não evoluiu desde os trabalhos de Ackermann et. al. (2001), Peperman et al. (2005) e El-Khattam e Salama (2004). Os autores mais atuais discutem sobre os mesmos aspectos abordados nesses três trabalhos. Contudo, é possível perceber uma consolidação em torno do termo 'geração distribuída', apesar de não existir um consenso em torno de uma definição única.

3.2. Tecnologias Utilizadas para Geração Distribuída

Para descrição das tecnologias utilizadas em unidades de Geração Distribuída, considerando, inclusive, sistemas de cogeração, foi utilizado como referência a lista descrita por Lora & Haddad (2006), que faz uma ampla apresentação das tecnologias disponíveis, assim como uma visão de sua evolução no Brasil e no mundo. Os autores listam as seguintes tecnologias, categorizadas em dois grupos, sendo:

- **Não renováveis:** motor de combustão interna alternativo; microturbina a gás, motor *stirling* e célula a combustível;
- **Renováveis:** turbina eólica, sistema fotovoltaico, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

A seguir, serão brevemente descritos o princípio de funcionamento, as vantagens e as desvantagens de cada uma das tecnologias indicadas acima. As descrições fazem uso o exposto por Lora & Haddad (2006) e outras referências encontradas, em especial teses e dissertações nacionais sobre tecnologias específicas, indicadas no Anexo IV do documento. Deve ser destacado que o documento não se propõe a expor o estado da arte de cada tecnologia, nem mesmo descrevê-las de forma detalhada. Para esse objetivo, sugere-se consultar outras referências sobre os objetivos abordados. O objetivo da descrição a seguir é proporcionar um mínimo conhecimento sobre como cada tecnologia funciona, de forma a facilitar a identificação dos impactos da introdução da GD no sistema elétrico.

3.2.1. Motor de Combustão Interna Alternativo

O motor de combustão interna alternativo é a tecnologia de GD mais utilizada e desenvolvida tecnicamente, sendo, em geral, associada a sistemas de cogeração (LORA & HADDAD, 2006; WALTER ET AL., 2000 *apud* CERVANTES, 2002). Ela já é dominada e disponível comercialmente, desde unidades de pequena capacidade – por exemplo, de 5 kW para geração residencial – até motores de grande porte – potência de 30 MW ou maior (LORA & HADDAD, 2006). Sua utilização ocorre, especialmente, em hospitais, aeroportos, indústrias, regiões remotas etc. (WALTER ET AL., 2000 *apud* CERVANTES, 2002).

Essa tecnologia gera eletricidade através da conversão da energia química contida no combustível utilizado para combustão no motor. A energia química é convertida em potência mecânica aplicada ao eixo do motor que é acoplado a um gerador elétrico, responsável pela conversão do movimento em potência elétrica (CARDOSO, 2009).

Existem, basicamente, dois tipos de motores de combustão interna alternativos, o motor de ignição por centelha, ou motor Otto, e o motor de ignição por compressão, ou motor Diesel (LORA & HADDAD, 2006). No primeiro tipo, uma faísca é introduzida no cilindro com combustível, causando explosão e acionamento do motor. Esse tipo de motor faz uso de hidrocarbonetos líquidos voláteis – como gasolina e etanol – ou combustíveis gasosos – como gás natural e GLP (CARDOSO, 2009).

O segundo tipo de motor de combustão interna, o motor por compressão, funciona a partir da compressão da mistura ar-combustível até ocasionar a combustão

espontânea do combustível. Esse tipo de motor faz uso de hidrocarbonetos líquidos menos voláteis e mais densos, como o diesel e o biodiesel (CARDOSO, 2009).

Essa tecnologia possui níveis de eficiência entre 25% e 45% (LORA & HADDAD, 2006), podendo ultrapassar 80% com a introdução de sistemas de cogeração (ANDRADE, 2007; BONA; RUPPERT FILHO, 2004 *apud* CARDOSO, 2009).

Como vantagens dessa tecnologia, pode ser destacado o baixo custo de investimento, se comparado às demais tecnologias de GD, a partida rápida, a flexibilidade de combustíveis e a alta confiabilidade (LORA & HADDAD, 2006). Como desvantagens, podem ser mencionadas a emissão de poluentes e a poluição sonora durante a operação e os frequentes intervalos de manutenção (LORA & HADDAD, 2006).

3.2.2. Microturbina a Gás

Microturbinas são turbinas a gás que produzem potência elétrica entre 25 kW e 500 kW (LORA & HADDAD, 2006). Elas podem ser divididas em dois grupos: as que possuem recuperação de calor, sendo mais eficientes, e as que não possuem, sendo menos eficientes. A maioria das microturbinas possui um único eixo, com o compressor, a turbina e o gerador, mas existem modelos com dois eixos que trabalham com rotações menores e, conseqüentemente, possuem menores perdas por atrito (LORA & HADDAD, 2006). A figura a seguir ilustra uma microturbina de eixo simples com recuperação de calor.

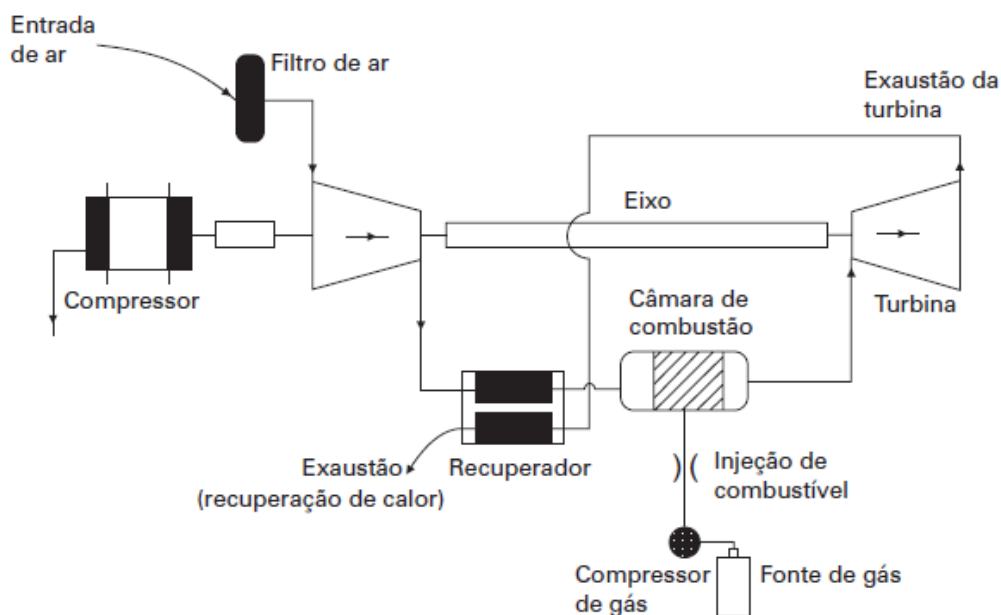


Figura 7: Esquema de uma microturbina de eixo simples com recuperador de calor de exaustão (FONTE: LORA & HADDAD, 2006 : pag. 45)

As microturbinas a gás possuem o mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gás convencionais, mas apresentam modularidade, tamanho compacto e baixa relação peso / potência (ANDRADE, 2007; BONA; RUPPERT FILHO, 2004 *apud* CARDOSO, 2009). Podem operar com diferentes combustíveis como, por exemplo, gás natural, GLP, hidrogênio e diesel. Possuem eficiência entre 20 % a 30%, com recuperação de calor, e 15% sem recuperador, mas se aplicadas com sistemas de cogeração, a eficiência total do sistema pode passar de 80% (ANDRADE, 2007 *apud* CARDOSO, 2009).

Como vantagens das microturbinas, pode ser citado o seu tamanho compacto, sua baixa relação peso / potência, sua elevada eficiência em sistemas de cogeração, o baixo nível de emissões e o longo tempo de intervalo entre manutenções. Como desvantagem, não elas atingem valores elevados de eficiência sem sistema de cogeração e pode haver perda de capacidade de potência e de eficiência em locais de elevada temperatura e altitude (LORA & HADDAD, 2006)

3.2.3. Motor Stirling

O motor *Stirling* é classificado como uma máquina de combustão externa. Ele foi patenteado em 1816 e era popular antes da Primeira Guerra Mundial. Com o aperfeiçoamento das máquinas a vapor e dos motores Otto, ele acabou perdendo

espaço no mercado. Atualmente, ele é projetado, na maioria das vezes, para pequenas capacidades e está sendo produzido em quantidades pequenas para aplicações específicas, como para a indústria espacial e na marinha (LORA & HADDAD, 2006).

Ele utiliza como combustível, preferencialmente, o gás natural, mas possui grande flexibilidade para outros combustíveis. Possuem eficiência entre 12 a 20%, podendo ser utilizados para geração de eletricidade em residências ou em sistemas portáteis, podendo operar tanto com combustíveis fósseis quanto com biomassa (LORA & HADDAD, 2006).

Como vantagens, o motor *Stirling* usualmente possui operação com baixo nível de ruído e vibrações, baixas emissões de poluentes, demanda pouca manutenção e possui alta confiabilidade, possui alta flexibilidade em relação ao tipo de combustível utilizado e possui vida útil longa. Como desvantagens, pode ser destacado seu elevado custo, não sendo competitivo com outras tecnologias disponíveis no mercado, e baixa eficiência (LORA & HADDAD, 2006).

3.2.4. Célula a Combustível

As células a combustíveis são dispositivos eletroquímicos capazes de converter a energia química de um combustível, o hidrogênio, em energia elétrica (ANDRADE, 2007; RODRÍGUEZ, 2002 *apud* CARDOSO, 2009). Sua operação é similar à operação das baterias elétricas, mas o armazenamento de eletricidade é substituído pela introdução constante de combustível, o que resulta na produção contínua de eletricidade (SILVA; et al., 2003 *apud* CARDOSO, 2009).

Uma célula a combustível é, basicamente, composta por dois eletrodos, um ânodo e um catodo, separados por um eletrólito. O hidrogênio é injetado no ânodo, que catalisa a reação de oxidação e conduz eletros para o circuito externo. No catodo ocorre a reação de redução e a condução dos elétrons do circuito externo até a reação catódica (SANTORO, 2004). O eletrólito transporta as espécies iônicas envolvidas nas reações químicas e previne a condução eletrônica entre os eletrodos (SANTORO, 2004). Como resultado, são gerados eletricidade, água e calor. A figura abaixo ilustra o funcionamento de uma célula a combustível.

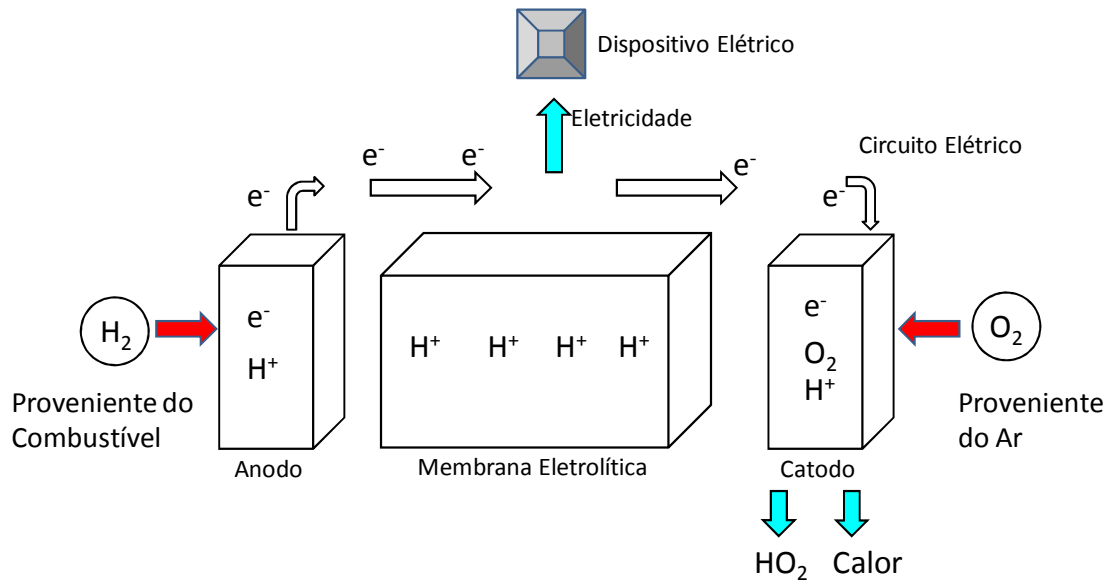


Figura 8: Funcionamento de uma célula a combustível (FONTE: Adaptado de EL-KHATTAM E SALAMA, 2004)

Quando outro combustível é utilizado ao invés do hidrogênio puro, como, por exemplo, o metanol, é necessário um sistema de reforma para que o hidrogênio possa ser separado e inserido na célula a combustível (SANTORO, 2004)

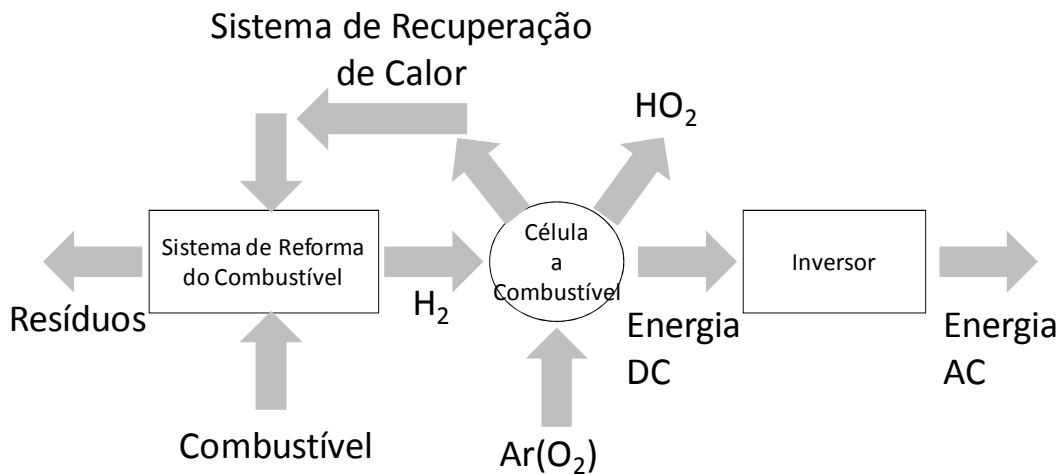


Figura 9: Constituição de uma célula a combustível e sua operação (FONTE: Adaptado de EL-KHATTAM E SALAMA, 2004)

Existem diversos tipos de células, variando, basicamente, o eletrólito utilizado na célula, podendo ser listadas (CARDOSO, 2009):

- a célula de ácido fosfórico PAFC (*Phosphoric Acid Fuel Cell*);
- a célula de carbono fundido (MCFC – *Molten Carbonate Fuel Cell*);
- célula de membrana polimérica (PEFC – *Polymer Electrolyte Fuel Cell*);
- célula de óxido sólido (SOFC – *Solid Oxide Fuel Cell*); e
- as células com membrana para troca de prótons (PEMFC – *Proton Exchange Membrane Fuel Cells*).

Os diferentes tipos de células a combustível se encontram em estágios distintos de desenvolvimento. Atualmente, uma das células mais desenvolvidas é a célula de ácido fosfórico PAFC. Apesar do elevado custo, ela já se encontra em estágio comercial. Ela é alimentada com gás natural, possui uma potência na ordem dos 200 kW e possui uma eficiência entre 36% e 45%, podendo ser introduzido um sistema de cogeração para aumento dessa eficiência (CARDOSO, 2009).

Como vantagens das células a combustível podem ser citados a compatibilidade com outros sistemas modulares, a possibilidade de completa automação, os baixos níveis de ruído e emissão de poluentes, os altos níveis de eficiência e a alta qualidade e confiabilidade da eletricidade. Já como desvantagens, podem ser citadas o elevado custo da tecnologia e o armazenamento do hidrogênio (CARDOSO, 2009).

3.2.5. Turbina Eólica

As turbinas eólicas, também chamadas de aerogeradores ou de geradores eólicos, produzem eletricidade a partir da energia cinética do vento. Esse, ao incidir sobre as pás do gerador, resulta na rotação do eixo da turbina que é acoplada a um gerador elétrico que produz a eletricidade (CARDOSO, 2009).

Segundo Martins (2004), os 3 (três) tipos de aerogeradores encontrados no mercado são o gerador de indução tipo gaiola de esquilo diretamente conectado à rede – GIDC, gerador de indução com dupla alimentação - GIDA e gerador síncrono conectado à rede através de conversores eletrônicos.

O primeiro tipo opera a velocidade quase constante, definida pela frequência da rede elétrica e pelo número de polos do gerador (GASCH ET AL., 2002; HOFFMAN, 2002; 2006 *apud* MARQUES, 2004). Nesse tipo de gerador, existe um único ponto de operação onde a potência de saída é máxima. Quando se opera com

velocidade constante, a turbina terá uma perda, pois somente produzirá energia em uma determinada faixa de velocidade dos ventos (MARQUES, 2004).

Os dois últimos operam a velocidade variável. A velocidade de rotação da turbina é desacoplada da velocidade do vento, de modo a extrair a máxima potência possível. Nesses casos, deve ser adicionado um conversor de frequência entre a turbina e a rede elétrica, permitindo o controle da velocidade do gerador (BURTON AND SHARPE, 2001 *apud* MARQUES, 2004). Nessa situação, as flutuações na potência de saída causadas pela variação do vento podem ser parcialmente absorvidas pela mudança de velocidade (MARQUES, 2004)

No último tipo, as caixas de engrenagens podem ser eliminadas devido à maior quantidade de polos no rotor desse tipo de máquina (MARTINS, 2004). As ilustrações a seguir ilustram os três tipos de aerogeradores.

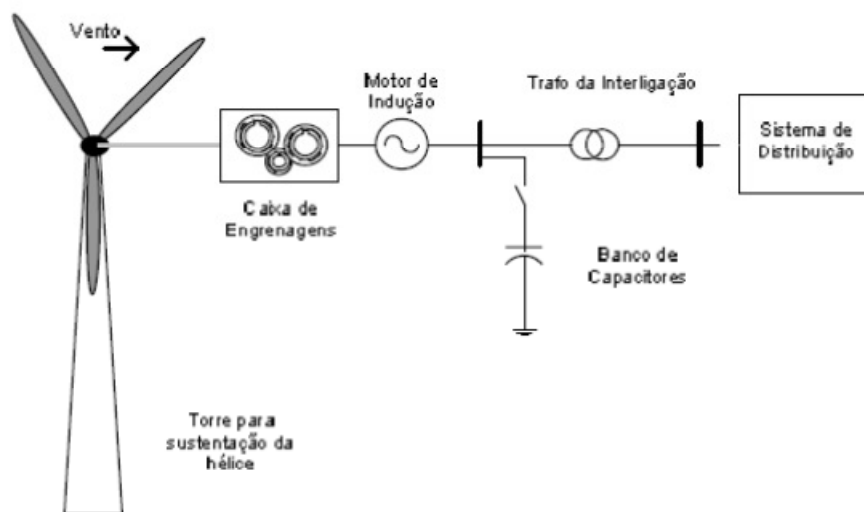


Figura 10: Ilustração de gerador de indução tipo gaiola de esquilo diretamente conectado à rede – GIDC (FONTE: MARTINS, 2004 : pag. 29)

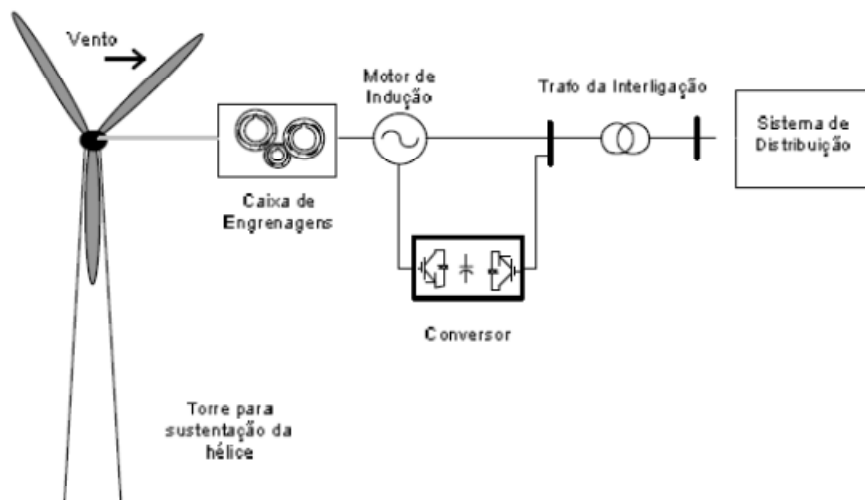


Figura 11: Ilustração de gerador de indução com dupla alimentação (*Doubly Fed Induction Generator*) – GIDA (FONTE: MARTINS, 2004 : pag. 30)

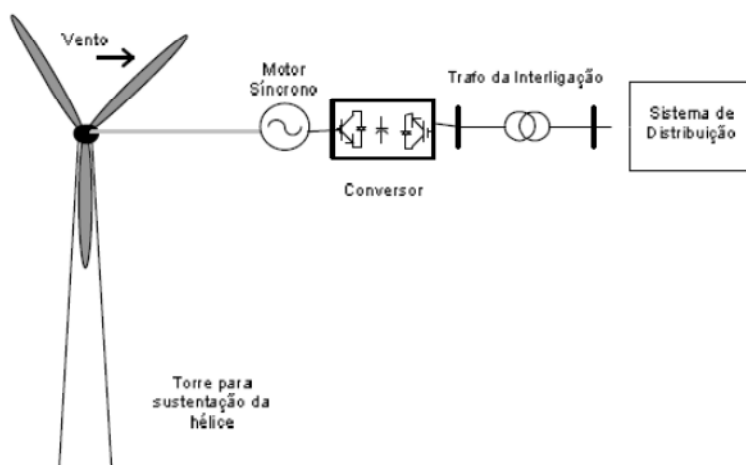


Figura 12: Ilustração de gerador síncrono conectado à rede através de conversores eletrônicos (FONTE: MARTINS, 2004 : pag. 30)

Como vantagens, podem ser citadas o baixo impacto ambiental, decorrente da não emissão de poluentes, o curto período para construção e operação, o custo zero do combustível e o baixo custo de manutenção (CERVANTES, 2002; HINRICHS; KLEINBACH, 2003 apud CARDOSO, 2009). Já como desvantagens, podem ser listados os ruídos, os acidentes com aves, a alteração de rotas de migração de aves e a interferência eletromagnética (HINRICHS; KLEINBACH, 2003 apud CARDOSO, 2009).

3.2.6. Sistema Fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos são compostos por um conjunto de células fotovoltaicas que são capazes de converter energia solar em eletricidade. As células fotovoltaicas são constituídas de material semicondutor, o silício, ao qual são adicionadas substâncias ditas 'dopantes', o boro e o fósforo, que habilitam o silício a converter a energia associada à radiação solar em potência elétrica. Ao adicionar o boro ao silício, cria-se uma região com excesso de cargas positivas, denominada região do tipo *p*. Ao adicionar fósforo ao silício, cria-se uma região com excesso de cargas negativas, denominada região do tipo *n*. A junção das duas camadas, denominada *junção p-n*, cria um campo elétrico dá origem a uma corrente elétrica quando ocorre a incidência da radiação solar na célula (CASTRO, 2007).

A célula fotovoltaica é o menor elemento do sistema fotovoltaico, produzindo, tipicamente, potências elétricas na ordem de 1,5 Wp⁷, que corresponde a uma tensão de 0,5 V e corrente de 3 A. Para obter potências maiores, as células são conectadas em série e/ou em paralelo, formando os módulos e painéis fotovoltaicos (CASTRO, 2007).

A figura a seguir ilustra a constituição de uma célula fotovoltaica típica. A grelha e os contatos frontais constituem os terminais negativos, enquanto o terminal positivo é constituído pelo contato metálico da parte traseira da célula. As camadas do tipo *n* e *p* se situam entre os dois terminais e, entre elas, está localizada a *junção p-n*. Sobre a camada do tipo *n*, é introduzida uma película anti-reflexo, responsável pela redução da reflexão da radiação incidente, proporcionando um maior rendimento na geração de eletricidade (CASTRO, 2007).

⁷ Watt-pico, unidade que mede a potência máxima nas condições de referência, radiação igual a 1.000W/m² e temperatura da célula de 25°C.

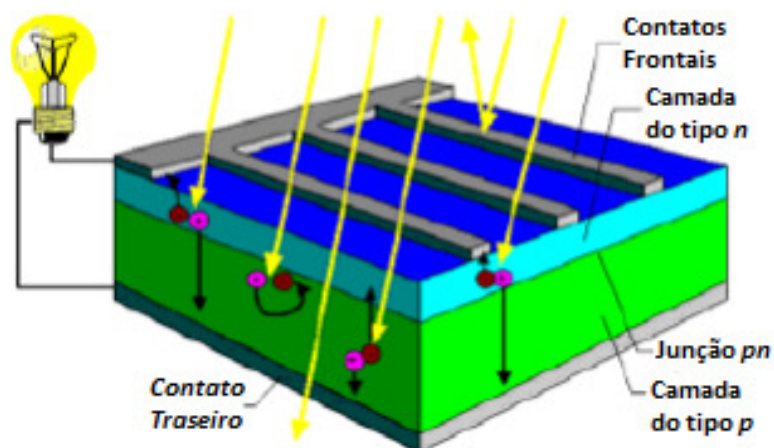


Figura 13: (a) Constituição interna de uma célula fotovoltaica de silício (FONTE: Adaptado de ILSE *apud* CASTRO, 2007)

Os sistemas fotovoltaicos geram energia em corrente contínua, demandando um conversor DC\AC, também denominado inversor, para que possam produzir corrente alternada (CERVANTES, 2002). Pequenas quantidades de módulos fotovoltaicos possuem aplicações em residências e comércio e grandes quantidades podem constituir usinas ou parques solares (CARDOSO, 2009).

Como benefícios podem ser listados sua característica altamente modular, a não emissão de poluentes e a não emissão de ruídos durante a geração de energia (CERVANTES, 2002), além de uma vida útil prolongada e da pequena necessidade manutenção (LORA; HADDAD, 2006 *apud* CARDOSO, 2009). Como desvantagens, podem ser destacados o alto custo e a produção intermitente de energia (CERVANTES, 2002; CARDOSO, 2009)

As principais células fotovoltaicas existentes (GTES; CEPEL; CRESESB, 2004, *apud* CARDOSO, 2009) são produzidas com silício monocristalino, com o silício multicristalino e com o silício amorfo. A maior eficiência encontrada é produzida pelas células de silício cristalino, que possui a maior representatividade no mercado, atingindo valores na faixa de 12 a 16% (GTES; CEPEL; CRESESB, 2004 *apud* CARDOSO, 2009). Atualmente, estão em desenvolvimento outros tipos de células em busca de maior eficiência e de redução no custo dos painéis (CARDOSO, 2009).

3.2.7. Biomassa

Biomassa consiste em toda matéria orgânica que pode ser utilizada como combustível para fornecer energia. Este insumo contém energia química proveniente da transformação energética da radiação solar e essa energia pode ser liberada diretamente através da combustão, ou convertida em outras fontes de energia através de processos tecnológicos diversos (NOGUEIRA, 2000 *apud* OLIVEIRA, 2006).

A biomassa pode ser dividida em três grandes grupos: (1) madeira; (2) resíduos agrícolas e oleaginosas; e (3) resíduos urbanos. A composição química elementar da matéria orgânica, sua composição química imediata, seu teor de umidade e seu poder calorífico são aspectos importantes para a sua utilização com fins energéticos. A partir dessas características pode-se inferir da biomassa o quanto é mais ou menos poluente, se é fácil de ser usada e se possui elevado potencial energético. (OLIVEIRA, 2006).

Os principais processos que permitem o aproveitamento energético da biomassa estão classificados da seguinte maneira: físicos, termoquímicos e biológicos. Nos processos físicos não há produção de energia, possuindo como objetivo a otimização do aproveitamento do recurso. O aspecto relevante desses processos é que eles têm relação direta com o custo da biomassa a ser utilizada para produzir energia elétrica e, assim, esses custos influenciam a viabilidade dos empreendimentos que usarão este insumo. As principais soluções adotadas para a viabilização do seu uso são: a secagem, a redução granulométrica e a densificação, podendo essas serem utilizadas de maneira combinada (OLIVEIRA, 2006).

Os processos termoquímicos têm como objetivo a conversão da biomassa em energia elétrica, existindo os que fazem uso da biomassa em sua forma primária e aqueles que utilizam combustíveis líquidos ou gasosos derivados da biomassa. No primeiro tipo são utilizadas instalações baseadas em ciclos de potência a vapor, onde a queima direta pode ser feita exclusivamente usando biomassa ou junto com um combustível fóssil. No segundo tipo são utilizadas instalações de gaseificação, de pirólise⁸ ou de liquefação integradas a turbinas a gás ou motores de combustão interna alternativos (OLIVEIRA, 2006).

⁸ A pirólise é o processo de degradação térmica da biomassa que resulta em outro combustível de maior densidade energética. Como exemplo, pode ser citado o processo de carbonização, que converte a lenha em carvão (OLIVEIRA, 2006)

Por fim, nos processos biológicos ocorre a decomposição da biomassa através da ação de bactérias. O principal processo existente para a geração de energia elétrica é a digestão anaeróbica, que permite o aproveitamento energético de dejetos orgânicos através da produção de biogás (OLIVEIRA, 2006). A figura abaixo apresenta as principais alternativas tecnológicas para geração de eletricidade a partir da biomassa.

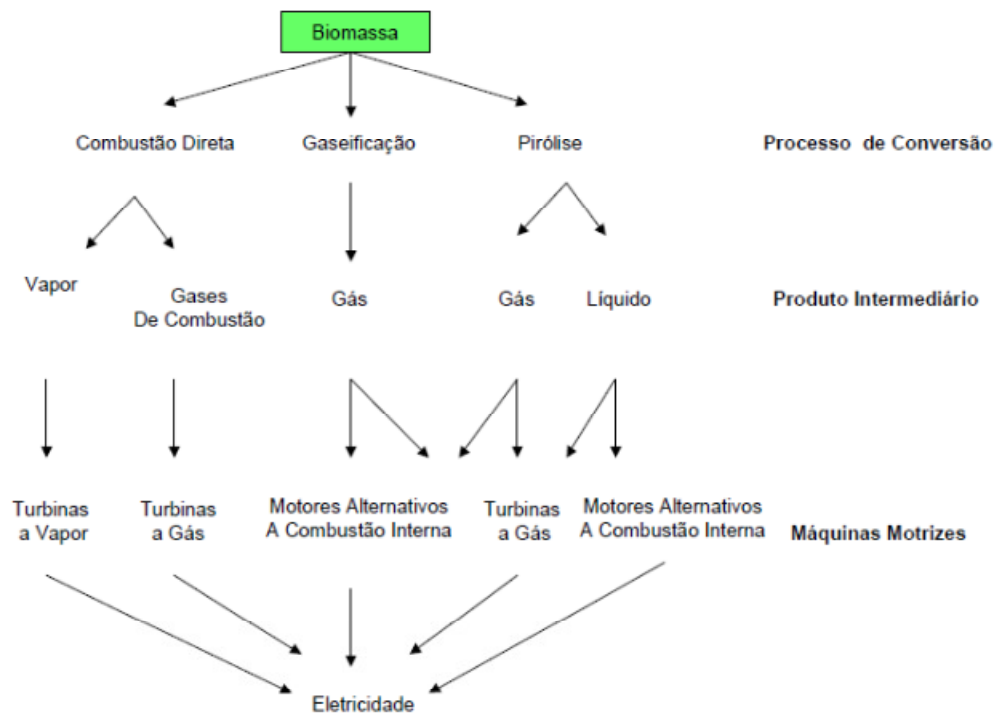


Figura 14: Alternativas Tecnológicas para a Geração de Eletricidade a partir de Biomassa (FONTE: OLIVEIRA, 2006 : pag. 33)

Como vantagens da utilização da biomassa, pode ser citada a baixa emissão de poluentes (RIBEIRO, 2007) e o baixo custo de determinados combustíveis, como, por exemplo, as que fazem uso de resíduos (OLIVEIRA, 2006). Como desvantagens, pode ser mencionado o custo relativamente elevado de implementação, se comparado à quantidade de energia produzida. Além disso, em comparação com combustíveis fósseis sólidos, a biomassa contém muito menos carbono e mais oxigênio e, como consequência possui um baixo poder calorífico (RIBEIRO, 2007).

3.2.8. Pequenas Centrais Hidrelétricas

Uma central hidrelétrica, independentemente de seu porte, é constituída por diversos componentes cuja função principal é captar e aduzir a água para o conjunto

turbina e gerador, que são os componentes responsáveis pela transformação da energia hidráulica em eletricidade (TIAGO FILHO ET AL. 2008). Basicamente uma central hidrelétrica é composta por uma barragem, órgãos adutores e casa de força, componentes estes que participam da geração de energia. A instalação de uma central hidrelétrica começa com a barragem que represa as águas para elevar o seu nível a fim de alcançar um desnível adequado a um aproveitamento hidrelétrico (MENDOZA, 2006).

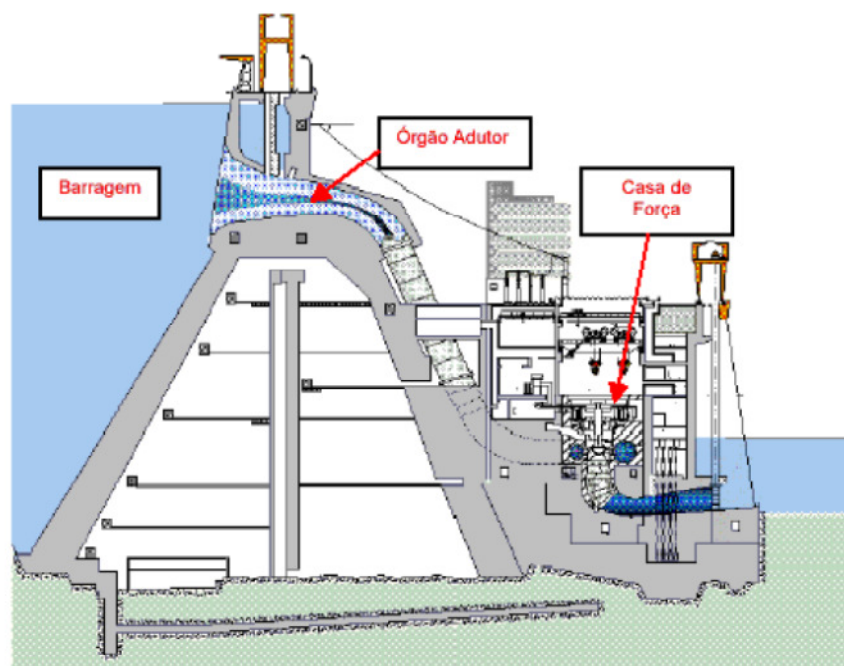


Figura 15: Componentes de uma usina hidrelétrica (FONTE: ITAIPU, 2006 *apud* MENDONZA, 2006 : pag. 7)

Nas barragens, a energia potencial armazenada pela barragem é preparada para se transformar em energia cinética através dos condutos de adução de água. Os órgãos adutores conduzem a água da barragem para as turbinas, localizada na casa de força. A casa de força é composta de um gerador, uma turbina hidráulica e outros equipamentos necessários à manutenção da usina. Após passar pela turbina, a água é conduzida novamente ao rio pelo canal de fuga (MENDOZA, 2006; MAKARON, 2012).

Os pequenos aproveitamentos hidráulicos podem ser classificados quanto à potência produzida, sendo: (1) microcentrais hidrelétricas, para potências menores que 100 kW; (2) minicentrais hidrelétricas, para potências maiores que 100 kW e menores que 1000 kW; e (3) pequenas centrais hidrelétricas, para potências maiores que 1 MW e menores que 30 MW (ELETROBRAS, 2000).

Como vantagens dos pequenos aproveitamentos hidráulicos, pode ser mencionada a produção a taxa constante – sendo quase inexistente a necessidade de baterias – o baixo custo de implantação e manutenção, a facilidade de operação, o baixo impacto ambiental – por exemplo, não possuindo grandes alagamentos – a não utilização de combustíveis, a elevada vida útil, entre outros. Como desvantagens, podem ser citados sua característica de tecnologia de “local específico” – ou seja, não pode ser instalada em qualquer local – sua limitação de potência máxima – não podendo ser aumentada – e a redução de sua potência disponível durante os períodos de seca (TIAGO FILHO ET AL., 2008).

3.3. Impactos da Introdução da Geração Distribuída no Sistema Elétrico

A seguir serão descritos os principais impactos da introdução da GD em um sistema elétrico. As principais referências utilizadas foram dois livros sobre o assunto, sendo Jenkins et al. (2010) e Thong & Driesen (2008), além de teses e dissertações nacionais.

3.3.1. Alteração no Fluxo de Potência

Tradicionalmente, os sistemas elétricos foram projetados para receber um fluxo de energia da rede de transmissão para a rede de distribuição e dessa para os consumidores finais. O fluxo de potência ativa (P) e de potência reativa (Q) flui do nível de alta tensão para o nível de baixa tensão, conforme ilustrado na Figura 16. Mesmos nos casos em que um sistema de distribuição é conectado a outro sistema de distribuição, o comportamento dessas redes é bem compreendido e seus procedimentos de operação e de projeto foram estabelecidos há bastante tempo (JENKINS ET AL., 2010).

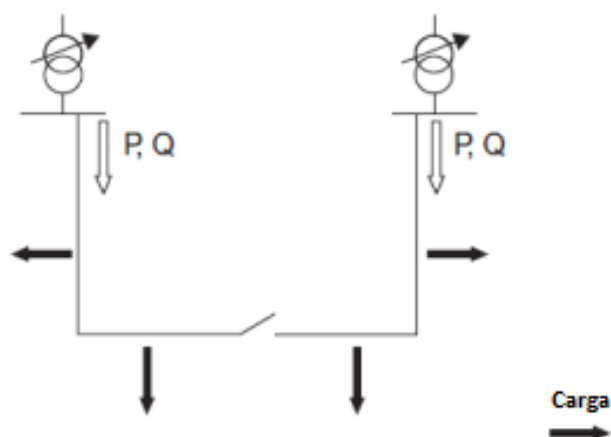


Figura 16: Sistema de distribuição convencional (FONTE: Adaptado de JENKINS ET AL., 2010)

Com a introdução significativa de GD, o fluxo de potência pode ser invertido, fazendo com que a rede de distribuição deixe de ser um circuito passivo, somente fornecendo energia para as cargas conectadas a ele, e passando a ser um circuito ativo, tendo seu fluxo de potência e suas tensões determinados pelas unidades de geração e pelas cargas conectadas (JENKINS ET AL., 2010). A Figura 17 ilustra um sistema de distribuição com unidades de geração distribuída conectadas a ele.

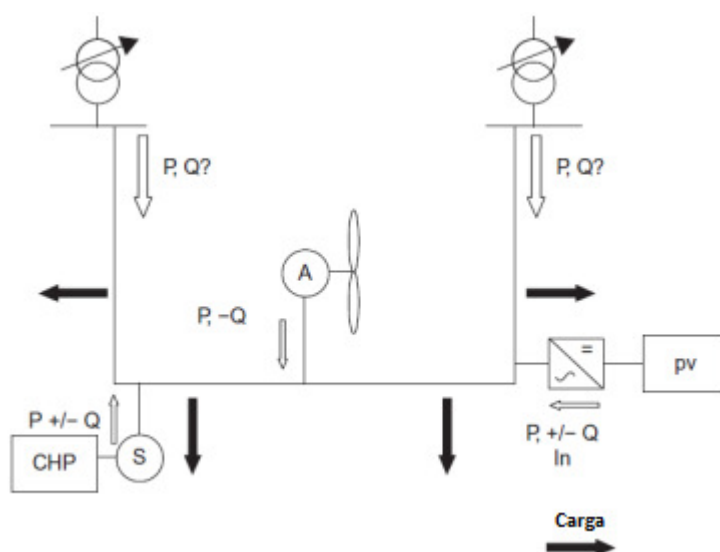


Figura 17: Sistema de distribuição com geração distribuída (FONTE: Adaptado de JENKINS ET AL., 2010)

No exemplo da Figura 17 um sistema de cogeração de energia (CHP) com geradores síncronos (S) exporta energia para a rede quando a carga que ele alimenta é menor do que a potência gerada. Contudo, esse sistema pode absorver ou exportar

potência reativa, dependendo da configuração da excitação do gerador (JENKINS ET AL., 2010).

A turbina eólica, caso seja de velocidade fixa, irá exportar potência ativa para a rede, mas irá absorver potência reativa. Já o conversor de tensão do sistema fotovoltaico (PV) irá exportar potência ativa a um fator de potência definido, mas deve introduzir correntes harmônicas na rede (JENKINS ET AL., 2010), afetando a qualidade de energia.

Por conta dos três elementos introduzidos na rede de distribuição, o fluxo de potência possui uma direção indefinida, dependendo das magnitudes relativas das cargas ativas e reativas da rede em relação às saídas dos geradores conectados à rede e das perdas do sistema (JENKINS ET AL., 2010).

A alteração no fluxo de potência pode resultar em problemas relacionados à qualidade de energia – conforme será descrito mais adiante no documento – e às perdas no sistema. Nesse último caso, pode aumentar as perdas na distribuição, que é responsável por 53% das perdas no sistema elétrico (GUEDES, 2006 apud CARDOSO, 2009).

Para solucionar lidar com tais questões, a maioria dos países estabeleceu padrões e práticas para a conexão da GD às redes de distribuição (JENKINS ET AL., 2010). Atualmente, também é considerada a introdução de um controle ativo da rede de distribuição e/ou das unidades de GD, analogamente ao controle adotado nos sistemas de transmissão (JENKINS ET AL., 2010), além da realização de estudos de reconfiguração da rede, estudos de alocação e dimensionamento ótimo das unidades de GD e estudos de alocação das perdas (CARDOSO, 2009).

3.3.2. Alteração nos Sistema de Proteção

Diferentes aspectos, associados a proteção, impactados pela introdução da GD podem ser identificados, como (JENKINS ET AL., 2010):

- proteção da unidade de GD de faltas internas;
- proteção da rede de distribuição com falta das correntes de falta supridas pelo gerador distribuído;
- proteção anti-ilhamento; e
- impacto da GD na proteção existente da rede de distribuição.

A proteção da unidade de GD contra falta interna é usualmente bastante simples. A corrente de falta que flui da rede de distribuição é utilizada para detectar a falta e técnicas geralmente eficazes são utilizadas para proteger qualquer grande motor ou conversor eletrônico. Em áreas rurais com demanda elétrica limitada, um problema comum é assegurar que existirá corrente de falta adequada da rede para garantir a rápida operação dos relés ou fusíveis. (JENKINS ET AL., 2010)

A proteção da rede de distribuição com falta suprida pelos geradores distribuídos é geralmente mais difícil. Diversos tipos de geradores não são capazes de fornecer corrente de falta para acionar a maioria dos esquemas de proteção convencionais. Assim, é usual depender da somente da proteção da distribuição para eliminar a falta do circuito, isolando a unidade de GD (JENKINS ET AL., 2010).

O problema de ilhamento é ilustrado na figura abaixo.

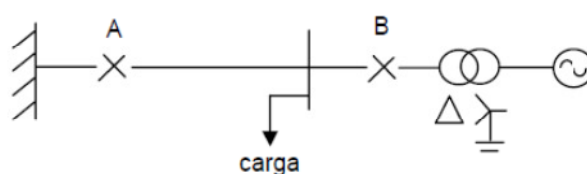


Figura 18: Ilustração do problema de zonas ilhadas (FONTE: OCHOA PIZZALI, 2006 : pag. 29)

Se o disjuntor A abre, por conta de uma falta transitória, não haverá corrente de falta suficiente para operar a proteção do disjuntor B. Nesse caso, o gerador pode continuar a suprir a carga. Se o gerador for capaz de atender a potência ativa e reativa da carga que está perto dele, então não haverá nenhuma mudança na tensão ou frequência da zona ilhada da rede, sendo muito difícil identificar que o disjuntor A está aberto, pois as condições da rede de B não serão afetadas pela abertura ou fechamento da A (JENKINS ET AL., 2010). Essa situação é, geralmente, evitada pelas concessionárias de distribuição, apesar de aumentar os índices de confiabilidade da rede.

Por fim, os geradores distribuídos podem alterar a proteção existente da rede de distribuição. Muitos tipos de grandes unidades de geração distribuída podem usar máquinas rotativas diretamente conectadas à rede, o que resulta no aumento do nível de falta da rede. Sejam motores de indução ou motores síncronos, os geradores irão

aumentar o nível de falta do sistema de distribuição, embora seus comportamentos sejam diferentes em condições de falha. (JENKINS ET AL., 2010)

Em áreas urbanas, o aumento no nível de falta pode ser um sério impedimento para o desenvolvimento de sistemas de geração distribuída. A contribuição da GD para o nível de falta pode ser reduzida a partir da introdução de impedância entre o gerador e a rede, com um transformador ou um reator, mas o lado ruim é que aumenta as perdas e amplia as variações de tensão do gerador. Em alguns países, fusíveis limitadores de corrente de falha são utilizados para limitar o nível de contribuição das unidades de GD e existe um interesse contínuo no desenvolvimento de supercondutores limitadores de corrente de falta (JENKINS ET AL., 2010).

3.3.3. Alteração na Qualidade de Energia

A unidade de GD pode aumentar ou diminuir a qualidade de energia recebida por outros usuários da rede de distribuição, dependendo das circunstâncias particulares da conexão e da rede de distribuição (JENKINS ET AL., 2010). A qualidade da energia fornecida pela concessionária de distribuição pode ser avaliada segundo 7 aspectos (ANEEL, 2012), sendo:

- Variação de tensão em regime permanente;
- Variação de tensão de curta duração;
- Distorção da forma de onda;
- Variação de frequência;
- Flutuação de tensão;
- Desequilíbrio de tensão;
- Fator de potência.

O aumento de tensão é um dos maiores problemas ocasionados pela introdução de GD na rede de distribuição. As distribuidoras devem manter a tensão fornecidas para os consumidores conectados a sua rede dentro de faixas pré-estabelecidas, associadas ao valor de referência da tensão no ponto de conexão (JENKINS ET AL., 2010).

O projeto da rede de distribuição e a definição dos equipamentos a serem utilizados (cabos, transformadores, disjuntores etc.) são definidos para atender a esses limites em todos os pontos da rede. A figura a seguir mostra o perfil de tensão de uma perna radial de distribuição, com os principais pontos identificados (JENKINS ET AL., 2010).

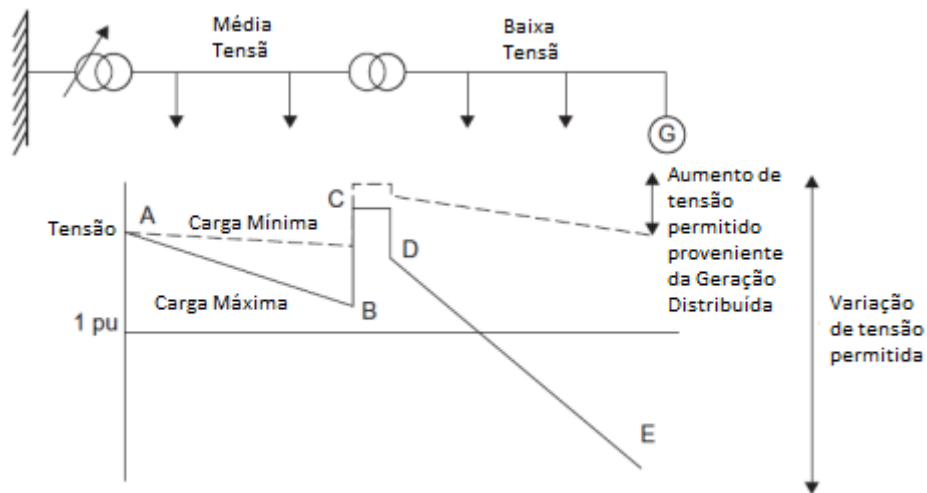


Figura 19: Queda de tensão em uma perna radial (FONTE: Adaptado de JENKINS ET AL., 2010)

A tensão no ponto A é mantida constante por um transformador com tap variável. Entre os pontos A e B, ocorre uma queda de tensão por conta das cargas conectadas e das perdas no circuito de média tensão. No ponto C, o transformador que liga as redes de média e baixa tensão provoca o aumento da tensão. Entre os pontos C e D é considerada uma pequena queda referente às perdas do transformador e entre os pontos D e E ocorre uma queda de tensão por conta das cargas conectadas e das perdas do circuito de baixa tensão (JENKINS ET AL., 2010).

O circuito foi projetado de forma que o consumidor do ponto mais remoto, no caso o ponto E, receba uma tensão dentro dos limites aceitáveis, seja com a rede com carga máxima ou carga mínima. No caso da carga mínima, a tensão é igual ou menor ao máximo permitido e no caso da carga máxima, a tensão deve ser maior ou igual à mínima (JENKINS ET AL., 2010).

Com a introdução da GD a tensão nos pontos da rede pode ser alterada por conta de três razões, introdução de potência ativa, introdução de potência reativa e consumo de potência reativa. O aumento da tensão pode ocorrer devido à introdução de potência ativa ou de potência reativa. Já a diminuição da tensão ocorrerá no caso de consumo de potência reativa (THONG & DRIESEN, 2008).

Além da variação da tensão em regime permanente, dois outros aspectos da qualidade de energia são usualmente considerados como importantes com a introdução da GD: (1) distorção harmônica da tensão da rede e (2) as variações transitórias de tensão.

A distorção harmônica ocorre quando a forma de onda da tensão e da corrente da rede é diferente da forma de onda da frequência fundamental do sistema. Uma forma de onda distorcida pode ser obtida pela composição de diferentes ondas senoidais de diversas frequências e amplitudes (THONG & DRIESEN, 2008). Nos países são estabelecidos limites para a distorção harmônica aceitável da energia fornecida pela concessionária.

A GD pode introduzir harmônicos – tensões e correntes com formas de onda diferentes da frequência fundamental – e influenciar na performance harmônica do sistema de distribuição (THONG & DRIESEN, 2008). Essa introdução é decorrente do uso conversores com eletrônica de potência para conexão da GD à rede, como, por exemplo, nos casos de sistemas fotovoltaicos, geradores eólicos e células a combustíveis. O tipo e a severidade dependem da tecnologia do inversor e sua configuração de conexão. Geradores de rotação também podem ser fontes de harmônicos (Baggini & ZANOLI *apud*. THONG & DRIESEN, 2008).

Assim como no caso dos demais usuários finais, unidades de GD devem ter limitada a injeção de corrente harmônica abaixo do nível máximo permitido. Padrões como o IEEE 519-1992 impõem limites para diferentes tipos de harmônicos e a distorção total de harmônicos (THD). Segundo esse padrão, os limites para a distorção na tensão são de 5% para o THD e 3% para qualquer harmônico individual (THONG & DRIESEN, 2008).

De uma forma geral, os harmônicos injetados pela GD tendem a ser menos severos com o desenvolvimento das tecnologias dos inversores e com métodos de mitigação. A maioria dos inversores novos é capaz de gerar muito perto de uma onda senoidal, devido à alta frequência de comutação (WOYTE, 2003 *apud* THONG & DRIESEN, 2008).

A variação de tensão de curta duração é caracterizada por um desvio significativo do valor eficaz da tensão acima ou abaixo dos limites aceitáveis por um curto período de tempo (ANEEL, 2001 *apud* CARDOSO, 2009). A introdução da GD pode resultar em variações de tensão transitórias na rede se as grandes alterações na corrente injetada durante a conexão e desconexão de um gerador não forem consideradas no projeto da unidade de geração (JENKINS ET AL., 2010).

Os impactos da introdução de GD nos aspectos da qualidade de energia associados à flutuação de tensão (ou *flicker*), variação de frequência e desequilíbrio de

tensão também merecem destaques. A tabela a seguir sintetiza as relações da GD com esses aspectos apontados por Cardoso (2009).

Tabela 1: relação entre a introdução da GD no sistema de distribuição e a flutuação de tensão, desequilíbrio de tensão e variação de frequência (FONTE: CARDOSO, 2009)

Aspecto da qualidade de Energia	Relação com Introdução da GD
Flutuações de Tensão	<i>“Podem ocorrer quando ocorrem frequentes paradas e inícios de geração, ou mesmo, em contínuas variações da potência produzida, devido à intermitência da fonte primária. Assim, alguns tipos de GD, como geradores de indução, turbinas eólicas, e geradores fotovoltaicos, requerem avaliações precisas de sua operação para que seja reduzido o potencial de geração de flicker dessas tecnologias” (CARDOSO, 2009; pag. 70)</i>
Desequilíbrio de Tensão	<i>“Pode ser significativo com a implantação de unidades com geração que não sejam trifásicas, como é o caso de sistemas fotovoltaicos domésticos. Quando esse tipo de GD se tornar comum, haverá a necessidade das empresas de distribuição solucionarem o problema de balanceamento entre as fases, principalmente por causa do carregamento das linhas” (CARDOSO, 2009; pag. 70)</i>
Variação de Frequência	<i>“Um elevado grau de penetração da GD pode exigir um grande esforço por parte do operador da rede para manter as variações de frequência dentro dos limites permitidos, caso não haja uma preocupação no funcionamento adequado das unidades de geração.” (CARDOSO, 2009; pag. 69)</i>

3.4. Considerações Finais do Capítulo

Nesse capítulo foram apresentados os conceitos associados à GD, as principais tecnologias utilizadas para essa forma de geração e os impactos de sua introdução no sistema elétrico de distribuição. O conhecimento dos pontos expostos nesse capítulo é relevante para que se possa compreender de que forma a introdução

da GD pode impactar a atividade de distribuição de energia elétrica, resultando na necessidade de adequações na regulação associada.

A partir do conhecimento desses impactos podem ser desenvolvidas soluções no sentido de explorar os potenciais benefícios de sua introdução e mitigar seus efeitos negativos. Questões como: por que a GD pode ser utilizada para melhoria da qualidade do serviço de distribuição? Por que a GD pode ser utilizada como alternativa para minimizar os custos de expansão dos sistemas de distribuição? Por que a GD pode aumentar a eficiência global do sistema, entre outras, ficam mais fáceis de serem compreendidas, facilitando o desenvolvimento de mecanismos regulatórios para melhoria das atividades de distribuição e aumento de sua eficiência.

4. Regulação da Distribuição para Introdução da Geração Distribuída

Nesse capítulo, serão apresentados os elementos de regulação da atividade de distribuição de energia elétrica que devem ser considerados no desenvolvimento da GD em um país, obtidos a partir das referências identificadas na pesquisa bibliográfica. Inicialmente, será apresentado como os elementos foram identificados e, em seguida, cada um será descrito em detalhes.

4.1. Elementos de Regulação da Distribuição Impactados pela Introdução da GD

Para identificação dos elementos de regulação da distribuição impactados pela introdução da GD em um país, foram utilizadas as referências da literatura selecionadas segundo o 'Critério 1' indicado no Capítulo 2 desse documento, sendo: *artigos que abordam a regulação do setor elétrico e a associam à introdução de GD, procurando identificar as barreiras e/ou propostas de melhoria e incentivos regulatórios para incentivar sua penetração no país.* Dentre essas referências, podem ser identificados dois grupos de artigos com características distintas.

O primeiro grupo de artigos consiste em trabalhos que abordam um número reduzido de elementos, realizando análises aprofundadas sobre os impactos nos elementos considerados, decorrentes da introdução da GD. A maior parte desses artigos propõe modelos para avaliação quantitativa desses impactos. Como exemplos de trabalhos desse primeiro grupo, podem ser mencionados Siano et al. (2009), De Joode et al. (2009) e Harrison et al. (2007).

O segundo grupo de artigos consiste em trabalhos que abordam um amplo conjunto de elementos, realizando considerações mais superficiais acerca dos elementos que são abordados. Esses artigos fazem avaliações mais qualitativas dos impactos decorrentes da implantação da GD. Como exemplos de trabalhos desse segundo grupo, podem ser mencionados Cossent et al. (2009), Frías et al. (2009) e Bauknecht e Brunekreeft (2008). Em ambos os grupos, usualmente, são feitas, ao final do trabalho, orientações sobre como um país deve regulamentar o(s) elemento(s) analisado(s), de forma a incentivar a introdução da GD e/ou para que essa ocorra de forma eficiente.

O conjunto de elementos identificados a partir da literatura é indicado a seguir:

- Desverticalização da Distribuição
- Modelo de Remuneração do Distribuidor;
- Encargo de Conexão e Tarifa de Uso;
- Planejamento do Sistema;
- Perdas de Energia;
- Qualidade do Serviço de Distribuição.

A relação entre esses elementos e as referências bibliográficas utilizadas é indicada na tabela a seguir.

Tabela 2: Relação entre os elementos elencados e as referências utilizadas (FONTE: O AUTOR)

Elemento de Regulação	Autores	GIL e JOOS, 2008	HARRISON ET AL., 2007	SIANO ET AL., 2009	DE JOODE ET AL., 2009	FRÍAS ET AL., 2009	ROPENUS ET AL., 2011	COSSSENT ET AL., 2009	PICCOLO e SIANO, 2009	BAUKNECHT e BRUNEKREFFT, 2008	WOODMAN e BAKER, 2008
Desverticalização da Distribuição				X			X	X			
Modelo de Remuneração do Distribuidor					X			X		X	X
Encargo de Conexão e Tarifa de Uso			X			X	X	X		X	
Planejamento do Sistema		X	X	X		X		X	X	X	
Perdas de Energia		X	X					X			
Qualidade do Serviço		X				X		X			

A seguir, cada um dos elementos identificados será apresentado e será explicitado de que forma a GD o impacta. Ao final de cada descrição, serão expostas recomendações encontradas na literatura sobre como a regulação de um país deve considerar o elemento de forma a facilitar a introdução da GD e/ou para que essa ocorra de forma eficiente.

4.2. Apresentação dos Elementos de Regulação Identificados

4.2.1. Desverticalização da Distribuição

Antigamente, as atividades de geração, transmissão e distribuição eram tratadas como atividades verticalizadas, usualmente sobre controle do Estado. A liberação dos setores elétricos pelo mundo desverticalizou essas atividades, fazendo com que diferentes atores atuassem em cada segmento (COSSSENT ET AL., 2009).

Surgiu, então, a necessidade de se regular cada atividade, de forma a criar as condições legais para que cada ator pudesse competir em seu respectivo segmento.

No caso específico da distribuição de energia, diversos países estabeleceram como regra que a empresa que detém a concessão da atividade de distribuição não pode atuar em atividades de geração de energia. Na União Europeia, por exemplo, através da Diretriz 2009/72/EC, foram criadas regras de separação jurídica e de gestão entre essas atividades, de forma a não criar distorções de competição no mercado de energia (ROPENUS ET AL.,2011, COSSENT ET AL., 2009).

A definição das regras de desverticalização das atividades de geração e de distribuição impacta diretamente a introdução da GD em um país, uma vez que definirão se o distribuidor poderá ou não possuir unidades de GD. A literatura aponta aspectos positivos e negativos em ambas as alternativas (ROPENUS ET AL.,2011).

A situação na qual o distribuidor pode possuir unidades de GD tem como principais argumentos favoráveis a possibilidade de instalação de unidades de GD em local e com capacidade adequados – trazendo maior sinergia entre os segmentos de geração e de distribuição e proporcionando uma maior eficiência na operação do sistema – e a possibilidade de postergação de investimentos em expansão e reforço da rede (SIANO ET AL., 2008).

Por outro lado, alguns autores afirmam que pode ocorrer discriminação no acesso de unidades de GD que não são de propriedade da concessionária de distribuição, como, por exemplo, prolongando o processo de acesso, favorecendo as unidades da própria concessionária ou de empresas filiais a ela (ROPENUS ET AL.,2011, COSSENT ET AL., 2009). Além disso, pode ocorrer subsídio cruzado entre segmentos de competição regulados, desfavorecendo outros atores do setor (COSSENT ET AL., 2009).

Nos casos em que o distribuidor é impedido de possuir unidades de GD ocorre a situação inversa. Os argumentos favoráveis estão relacionados ao acesso justo e não discriminatório de novas unidades de GD, especialmente as menores. Já os argumentos contrários se baseiam no raciocínio de que a situação na qual o distribuidor é impedido de possuir unidades de GD prejudica a sua utilização como opção no planejamento da expansão do sistema e no aumento da eficiência da operação da rede (ROPENUS ET AL.,2011, COSSENT ET AL., 2009).

4.2.2. Modelo de Remuneração do Distribuidor

A distribuição de energia elétrica é considerada um monopólio natural, onde os usuários do serviço não possuem a opção de escolher seu provedor, sendo regulada em termos de preço, acesso e outros aspectos específicos como, por exemplo, a qualidade do serviço e as perdas de energia (COSSENT ET AL., 2009). O distribuidor possui receitas permitidas pelo regulador para cada período regulamentar. Essas receitas são provenientes dos usuários da rede através das tarifas de uso do sistema de distribuição (SKYTE E ROPENUS, 2005).

Existem três regimes regulatórios dominantes que definem a forma de remuneração do distribuidor – podendo existir modelos que considerem elementos de mais de um dos três – sendo: regulação de custo de serviço, ou regulação da taxa de retorno, regulação do incentivo; e regulação do critério⁹ (COSSENT ET AL., 2009; BAHIA ET AL., 2008). Na regulação de custo de serviço, ou regulação da taxa de retorno, o regulador remunera o distribuidor de acordo com os custos necessários para a prestação do serviço. O rendimento é igual aos custos da operação mais a taxa de retorno permitida vezes a taxa base (BAHIA ET AL., 2008).

Nesse regime, as despesas de capital – CAPEX¹⁰ e as despesas operacionais – OPEX¹¹ são atualizadas periodicamente, em geral a cada ano, usualmente com base em um procedimento contábil. A crítica a esse regime de regulação é que ele não incentiva o aumento de eficiência do prestador do serviço, com consequente redução em seus custos (COSSENT ET AL., 2009). No que tange à distribuição de eletricidade, essa forma de regulação era amplamente adotada pelos países, contudo, muitos estão migrando desse regime para o de regulação do incentivo (SKYTE E ROPENUS, 2005).

Na regulação do incentivo são estabelecidos critérios de desempenho do serviço de distribuição e o valor a ser recebido pelo distribuidor é alterado conforme o seu desempenho, podendo ser recompensado ou penalizado. Nesse caso, existe um incentivo para redução do CAPEX e / ou para redução do OPEX, mantendo a

⁹ Tradução para os termos em inglês *cost-of service regulation*, *rate-of-return regulation*, *incentive regulation* e *yardstick regulation*, respectivamente, obtidas no “Glossário de Termos Utilizados na Regulação dos Serviços Públicos e de Infra-Estrutura”, elaborado sob coordenação da Associação Brasileira de Agências Reguladoras – ABAR.

¹⁰ Sigla para o termo em inglês *Capital Expenditures* – CAPEX. Também chamada de custos de capital. Nesse trabalho será utilizado o termo CAPEX.

¹¹ Sigla para o termo em inglês *Operational Expenditures* – OPEX. Também chamado de custos operacionais. Nesse trabalho será utilizado o termo OPEX.

qualidade do suprimento dentro de padrões previamente estabelecidos (BAHIA ET AL., 2008).

A regulação do incentivo pode ser aplicada através da definição de um preço máximo ou de uma receita máxima (COSSENT ET AL., 2009). No caso do preço máximo, é estabelecido um valor máximo para a tarifa cobrada pela distribuidora e ela deverá operar considerando esse valor, de forma que consiga compensar todos os seus custos. A regulação pela receita máxima é similar à de preço máximo, contudo a limitação é referente ao rendimento total e não ao valor da tarifa (BAHIA ET AL., 2008).

No regime de preço máximo ou de receita máxima, a remuneração do distribuidor é desacoplada dos seus custos por um longo período, normalmente entre 3 (três) e 5 (cinco) anos, de forma a incentivar a redução de custos e o aumento da eficiência (SKYTE E ROPENUS, 2005). O incentivo ao aumento de eficiência é fornecido através de um “Fator-X” inserido na fórmula de atualização da remuneração do distribuidor e associado a critérios de eficiência na prestação do serviço (BAHIA ET AL., 2008). O “Fator-X” é um valor que incide sobre o percentual de correção anual do valor da tarifa máxima, ou do valor da receita máxima, podendo ser positivo ou negativo, de acordo com o atendimento da distribuidora aos critérios definidos.

Os valores iniciais das tarifas são calculados com base em projeções de custos de OPEX e CAPEX. Nesse tipo de regulamentação o incentivo para o distribuidor é cortar custos. Dessa forma, os distribuidores irão evitar ao máximo o aumento de custos, visto que serão penalizados por isso (COSSENTE ET AL.). Além disso, é possível inserir critérios de desempenho, orientados a objetivos específicos – como, por exemplo, o aumento da qualidade do serviço de distribuição e a redução das perdas na rede de distribuição – sendo esses atrelados ao “Fator-X” (BAUKNECHT E BRUNEKREEFT, 2008).

A regulação do critério pode ser considerada uma variação da regulação do incentivo com a diferença de que o desempenho da prestação do serviço é comparado com o desempenho de outras empresas similares e comparáveis, através da realização de *benchmarking* entre companhias. Esse regime fornece às empresas fortes incentivos a cortar custos e reduz a assimetria de informações entre as prestadoras de serviço e o regulador (BAHIA ET AL., 2008). Atualmente, poucos países adotam esse regime de regulação, como, por exemplo, a Holanda (COSSENT ET AL., 2009; ROPENUS ET AL., 2011).

Bauknecht e Brunekreeft (2008) afirmam que existe uma relação entre o estágio de desenvolvimento da rede de distribuição e o regime de regulação adotado em cada estágio. No estágio inicial, na fase de construção do sistema, o regime regulatório dominante é o de taxa de retorno. Passada essa fase, o regime dominante passa a ser de incentivo, com a orientação dos incentivos variando de acordo com o estágio do sistema (BAUKNECHT E BRUNEKREEFT, 2008). A tabela a seguir faz a associação entre a fase de desenvolvimento do sistema e o regime regulatório usualmente adotado.

Tabela 3: Relação entre a fase de desenvolvimento do sistema de distribuição e o regime regulatório (FONTE: Adaptado de BAUKNECHT E BRUNEKREEFT, 2008)

	Fase 1: Construção do Sistema	Fase 2: Exploração dos Ativos	Fase 3: Renovação do Sistema	Fase 4: Transformação do Sistema
Objetivo Principal	Construção do sistema elétrico, com segurança no suprimento de energia	Redução dos custos operacionais (OPEX), buscando eficiência no curto prazo	Segurança no abastecimento, com investimentos eficientes na renovação do sistema existente	Realização de transformações no sistema, como, por exemplo, em direção uma maior sustentabilidade, com aumento da participação da GD. Investimentos necessários vistos como uma "janela de oportunidade" para mudanças estruturais
Modelo de Remuneração Dominante	Regulação da taxa de retorno	Regulação do incentivo	Regulação do incentivo, complementada por incentivos orientados. Possível tratamento diferenciado de investimentos	Regulamentação por incentivo, complementada por incentivos orientados e mais mecanismos de coordenação de longo prazo
Principais Deficiências	Falta de incentivos, pouca inovação e sobreinvestimento	Melhorias pontuais de eficiência em detrimento de investimentos e inovação	Foco na adequação do investimento pode negligenciar oportunidades de mudança do sistema	Perigo de transformação em uma direção "errada", não mantendo opções em aberto

O impacto da GD irá variar de acordo com o regime regulatório adotado. Na regulação de custo de serviço, um eventual aumento de custo pela introdução da GD será reportado pelo distribuidor ao regulador que os incluirá nas projeções de custo para definição das tarifas do próximo período (SKYTE E ROPENUS, 2005).

Essa lógica não incentiva o distribuidor a considerar a GD como uma alternativa para aumentar sua eficiência e reduzir seus custos globais de operação, pois ele não será remunerado por isso (FRIAS ET AL., 2009). Por outro lado, ela também não é prejudicial ao distribuidor, uma vez que ele não é penalizado por um eventual aumento dos custos decorrentes da introdução da GD – assumindo que esses serão aceitos pelo regulador (BAUKNECHT e BRUNEKREEFT, 2008, SKYTE E ROPENUS, 2005).

Na regulação do incentivo, o distribuidor é incentivado a cortar custos. Dessa forma, os distribuidores irão evitar ao máximo o aumento de custos, visto que seriam penalizados por isso. Assim, podem enxergar a GD como uma fonte de aumento de custos – tendo em vista que deverão alterar a forma como operam, projetam, mantêm seus sistemas, entre outros impactos – sendo então contra ela (BAUKNECHT e BRUNEKREEFT, 2008). Além disso, a GD poderá afetar os critérios de desempenho associados ao “Fator-X”, podendo resultar em desincentivos à distribuidora para conexão de unidades da GD – como, por exemplo, no caso em que a introdução de uma unidade de GD em uma região específica da rede afeta a qualidade da energia fornecida pelo distribuidor e ela é um elemento que influencia no cálculo do “Fator-X”.

Além disso, é possível que ocorra uma redução da receita do distribuidor decorrente da redução no volume de energia fornecida aos consumidores – que passarão a gerar sua própria energia. É importante que a regulamentação possua mecanismos capazes de compensar essa redução em relação ao volume previsto na definição da tarifa (SKYTE E ROPENUS, 2005).

Bauknecht e Brunekreeft (2008) fazem uma relação entre a forma da remuneração do distribuidor e possíveis impactos decorrentes da introdução da GD. A tabela a seguir indica essas relações.

Tabela 4: Relação entre o impacto da introdução da GD no sistema de distribuição e seu regime regulatório (FONTE: adaptado de BAUKNECHT E BRUNEKREEFT, 2008)

Impacto da Introdução da GD	Modelo de Remuneração Dominante do Distribuidor			Desverticalização
	Regulação da Taxa de Retorno	Preço Máximo	Receita Máxima	
Se GD causa custos adicionais (CAPEX OPEX)	Maximização da taxa base Incentivo para a GD, especialmente se demanda expansão da rede	Lógica de redução de custos para aumento do lucro vai contra a penetração da GD Realização de <i>benchmarking</i> provê incentivo adicional para cortar custos Se somente OPEX é alvo de benchmarking, incentivo para "trocar" OPEX por CAPEX (por exemplo, expandindo a rede ao invés de adotar uma rede inteligente)		Desverticalização pode impedir otimização do sistema (ex: pode levar a custos adicionais e tornar mais difícil fazer uso dos benefícios da GD)
Se GD causa benefícios para a rede	Não existe incentivo para redução de custos através da GD	Distribuidor pode se beneficiar pela redução de custos provocada pela GD Regulação do incentivo pode prover incentivos para reduzir custos a curto prazo em detrimento de benefícios de longo prazo		
Se a carga da rede é reduzida por causa da GD	Menores volumes podem ser compensados com maiores tarifas para atingir à meta de lucro	Menor volume leva a menor receita, criando um contraincentivo à GD	Distribuidor pode se capaz de compensar a redução do volume com aumento da tarifa	Sem desverticalização, incentivo contra a redução do volume é exacerbado Proprietário de GD pode competir contra a firma integrada verticalmente e, assim, o distribuidor ter desincentivos para conectar a GD
Se a GD substitui investimentos em expansão da rede	Contra incentivo do distribuidor de maximizar a taxa base	Redução ou postergação de investimentos pode ser atrativos, mas o distribuidor pode preferir não alterar CAPEX para OPEX		Se o distribuidor não é permitido se envolver na GD, incentivo contra a substituição de investimentos na rede. Deve ser comparado com os benefícios do distribuidor de redução de custos

A maioria dos autores orienta que o distribuidor sempre seja regulado por incentivo. Contudo, no caso de ser adotada a regulação pelo custo do serviço, o regulador pode ser proativo nessa situação em relação à integração da GD, antecipando em cada caso alguns custos permitidos para promover a inovação para a integração da GD e a gestão ativa da rede (SKYTE E ROPENUS, 2005).

Caso seja adotada a regulação por incentivo, o regulador deve incluir no processo de revisão tarifária os mecanismos adequados para levar em consideração os impactos esperados da introdução de novas unidades de GD nos CAPEX e OPEX do distribuidor (SKYTE E ROPENUS, 2005). Nesse caso, devem ser considerados os custos de reforços iniciais não cobertos pelos encargos de conexão, o aumento dos custos de manutenção e de operação, o custo de treinamento de pessoal para operar na nova situação, aumento dos custos de transação e o potencial aumento das perdas (SKYTE E ROPENUS, 2005).

Também deve ser considerado um eventual pagamento ao proprietário da unidade de GD pela contribuição na redução do pico de carga que postergue investimentos do distribuidor ou reduza os gastos com pagamento de energia de reserva (SKYTE E ROPENUS, 2005). Apesar dessas orientações, é destacado que é muito difícil prever o crescimento da GD em um período de 3 (três) a 5 (cinco) anos. Assim, deve ser considerada a possibilidade de cobrir os custos associados à GD posteriormente (SKYTE E ROPENUS, 2005).

Por fim, a regulação também deve prever formas de incentivar o distribuidor a inovar, adotando novas formas de planejamento, operação e controle das redes de distribuição. Os distribuidores são naturalmente avessos a riscos, evitando realizar investimentos em novas tecnologias que ainda não estão maduras. Contudo, ainda é desconhecido até que ponto a regulamentação pode incentivar a inovação (COSSENT ET AL., 2009).

Devem ser desenvolvidas ferramentas regulatórias adequadas para que os distribuidores se envolvam em projetos de pesquisa e desenvolvimento e assumam o risco de novas abordagens para inovação da rede para suportar o aumento da penetração da GD (SKYTE E ROPENUS, 2005). Atualmente, verifica-se que poucas regulamentações incentivam a inovação por parte do distribuidor (COSSENT ET AL., 2009).

4.2.3. Encargo de Conexão e Tarifa de Uso

Existem dois tipos de tarifas de rede que podem ser pagas pelos proprietários de unidades de GD, o encargo de conexão e a tarifa de uso do sistema de distribuição (COSSENT ET AL., 2009). O projeto adequado dessas tarifas é considerado como um aspecto central para garantir um acesso justo e não discriminatório da GD ao sistema de distribuição e é considerado um dos principais requisitos para o aumento da participação da GD (COSSENT ET AL., 2009).

4.2.3.1. Encargo de Conexão

O encargo de conexão é pago somente uma vez, quando usuário requer acesso à rede. Ele tem como objetivo compensar a distribuidora pelo custo da conexão (COSSENT ET AL., 2009; FRÍAS ET AL., 2009). São adotados dois tipos de encargos de conexão, o encargo profundo – do termo em inglês *deep connection charge* – e o encargo raso – do termo em inglês *shallow connection charge* (COSSENT ET AL., 2009; FRÍAS ET AL., 2009; ROPENUS ET AL., 2011).

Na primeira forma de cobrança, encargo profundo, o proprietário da unidade de GD arca com todos os custos de conexão, incluindo os custos de reforços necessários em outros pontos da rede, que não o ponto de conexão. Nesse caso, o proprietário pode arcar, até mesmo, com os reforços necessários na rede de transmissão (FRÍAS ET AL., 2009; ROPENUS ET AL., 2011). Na segunda forma de cobrança, encargo raso, o proprietário arca somente com os custos diretamente associados a reforços em seu ponto de conexão (FRÍAS ET AL., 2009; ROPENUS ET AL., 2011). Existem, ainda, alternativas intermediárias, nas quais o proprietário da unidade de GD paga os custos diretos de conexão à rede mais um valor proporcional ao uso dos novos reforços na rede em outros pontos da rede, normalmente associados à energia gerada (FRÍAS ET AL., 2009; ROPENUS ET AL., 2011).

Segundo Cossent et al. (2009) existe um *trade-off* entre uma cobrança que reflita o custo associado à conexão da GD à rede e uma cobrança que incentive a entrada de novos geradores. Elevados encargos de conexão podem representar uma barreira significativa para a conexão de novos geradores distribuídos, especialmente os de baixa capacidade de geração, mais sensíveis ao custo da conexão (COSSENT ET AL., 2009).

A título de exemplo, no estudo realizado por Cossent et al. (2009) foi identificado que a maioria dos membros da União Europeia pratica o encargo raso. Alguns países adotam o encargo profundo apenas para GD com potências relativamente maiores – por exemplo, acima de 10 MW – casos nos quais não é tão crítica a cobrança desse tipo de encargo (COSSSENT ET AL., 2009).

Um dos problemas identificados na análise de regulamentações da Europa, quando adotado o encargo do tipo profundo, é a inexistência de regras claras para determinação dos custos de conexão e conseqüente falta de transparência na determinação desses custos (COSSSENT ET AL., 2009). Na maioria dos casos, o distribuidor é o responsável por determinar os encargos de conexão. Em alguns países, é possível haver, inclusive, negociações entre o distribuidor e o proprietário de unidade de GD. Nesses casos, ocorre clara desvantagem para o proprietário da GD, por causa da assimetria de informações entre os atores (COSSSENT ET AL., 2009). Para resolver esse problema, em alguns países o encargo de conexão é definido previamente na regulamentação ou pelo próprio distribuidor através de metodologia pré-definida (COSSSENT ET AL., 2009).

Como recomendação, Cossent et al. (2009) sugerem que os encargos de conexão sejam regulamentados e medianos, preferencialmente do tipo encargo raso, especialmente para as unidades de menor capacidade. O restante dos custos de reforço para a conexão devem ser socializados entre todos os consumidores conectados à rede e recuperados pelo distribuidor através das tarifas de uso do sistema de distribuição (COSSSENT ET AL., 2009). Além dessas recomendações, as negociações entre o distribuidor e proprietários de GD devem ser evitadas a todo o custo (COSSSENT ET AL., 2009).

4.2.3.2. Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

As tarifas de uso do sistema de distribuição são pagas periodicamente pela utilização da rede de distribuição. Usualmente, todo consumidor conectado à rede paga pela utilização e a regra pode ser estendida para os geradores distribuídos conectados à rede (COSSSENT ET AL., 2009).

A tarifa de uso do sistema de distribuição deve refletir os custos da distribuidora para que essa possa fornecer o transporte de energia e os serviços de rede para os usuários conectados. A definição de tarifas de uso adequadas, em conjunto com outros mecanismos de incentivo, pode determinar o comportamento da introdução da

GD em um sistema. Elas devem fornecer os incentivos econômicos necessários para uma operação mais eficiente das unidades de GD, facilitando sua integração com o sistema de distribuição (COSSENT ET AL., 2009).

Cossent et al. (2009) propõem que sempre seja cobrada do gerador distribuído uma tarifa de uso e que essa reflita os custos e os benefícios de sua conexão à rede. Nessa situação, ela pode ser negativa ou positiva, pois sua conexão pode reduzir custos do distribuidor – através da redução de perdas de energia, de postergação de investimentos na rede, de prestação de serviços ancilares, entre outros benefícios - ou aumentar seus custos (COSSENT ET AL., 2009).

Além disso, a tarifa deve fornecer os sinais econômicos adequados para uma operação eficiente da unidade de GD, de acordo com as necessidades da rede. Como exemplos, podem ser citados a diferenciação da tarifa por localização – nível de tensão e tipo de rede, urbana ou rural – e a diferenciação pelo horário de utilização da rede. O proprietário da GD deve poder ser remunerado por produzir no pico de carga, desde que reduza as perdas no sistema e mantenha a tensão dentro dos valores de referência (COSSENT ET AL., 2009).

A não remuneração do proprietário da unidade de GD pelo benefício proporcionado à operação do sistema pode resultar em um maior lucro do distribuidor, não previsto no momento da definição das tarifas, enquanto que o proprietário da GD não será remunerado pelo benefício e não terá ciência de sua ocorrência (COSSENT ET AL., 2009).

4.2.4. Planejamento do Sistema

É possível substituir e postergar investimentos em reforços no sistema de distribuição e, até mesmo, no sistema de transmissão com a introdução de unidades de GD em determinados pontos da rede (GIL e JOOS, 2008; HARRISON ET AL., 2007 ; SIANO ET AL., 2009; FRÍAS ET AL., 2009; COSSENT ET AL., 2009; BAUKNECHT e BRUNEKREEFT, 2008). Cossent et al. (2009) e Frias et al. (2009) afirmam que considerar essa possibilidade no planejamento do sistema é uma fator relevante no desenvolvimento da GD no país, por causa do potencial de ganhos financeiros resultantes dessa substituição e postergação.

Esse benefício é causado pois, com a introdução de geração perto do consumo, ou até mesmo no lado da medição do consumidor, ocorre uma redução no fluxo de energia nas redes de distribuição e de transmissão. Dessa forma,

determinados pontos da rede que estão com sobrecapacidade, ou próximos a ela, são aliviados. Esse fato ocorre, especialmente, nos horários de pico de carga. Assim, uma concessionária de distribuição que planejava aumentar sua capacidade em determinado trecho da rede, por causa do aumento da carga atendida, tem a opção de postergar esse investimento (GIL e JOOS, 2008).

Gil e Joos (2008) destacam que a principal tecnologia de GD utilizada com esse intuito é a de máquina a gás com motor alternativo, devido a sua modularidade, eficiência, segurança e disponibilidade de suprimento do combustível. A utilização de tecnologias que fazem uso de fontes renováveis é mais difícil para esses fins, por causa de sua natureza intermitente.

Apesar do reconhecimento dos benefícios proporcionados pela consideração da GD no planejamento do sistema, algumas dificuldades para sua efetiva implantação também são encontradas. Em diversos países, a regulamentação local não permite que o distribuidor possua unidades de GD. Nessa situação, é difícil que ele considere a GD como uma opção no planejamento, visto que não detém a decisão pela localização da unidade e não detém o controle sobre sua operação. Nessa situação, ele somente pode induzir, através de incentivos financeiros, investidores a instalem novas unidades de GD em pontos específicos da rede e a operarem de acordo com as necessidades do sistema (FRIAS ET AL., 2009, COSENT ET AL., 2009, GIL & JOOS, 2008). A natureza intermitente de determinadas fontes de energia e a remuneração do distribuidor de acordo com sua base de ativos também são apontadas como uma barreira para a adoção da GD no planejamento do sistema (FRIAS ET AL., 2009).

Piccolo e Siano (2009) propõem uma abordagem que permita do distribuidor implantar unidades de GD em determinadas circunstâncias, como, por exemplo, em situações nas quais ele demonstre ao regulador que a instalação em determinado local da rede será economicamente mais favorável que o investimento em infraestrutura ou que irá melhorar a eficiência global do sistema. Uma outra solução proposta pelos autores seria introduzir uma obrigação para o distribuidor considerar a GD como uma alternativa ao planejamento e que a permissão pela instalação de uma nova instalação nos pontos indicados pela distribuidora fosse disputada por investidores.

4.2.5. Perdas de Energia

As perdas de energia podem ser classificadas em duas categorias: perdas comerciais – causadas por furto de energia ou por erro na medição ou na cobrança – e perdas técnicas – causadas pelo aumento da temperatura dos equipamentos da rede, resultando em perdas de energia por calor (COSSENT ET AL., 2009). As referências analisadas focam no segundo tipo de perdas.

As perdas de energia no sistema de distribuição são significativas, podendo chegar a valores maiores que 30% nas extremidades da rede (JAMASB ET AL., 2005 *apud* HARRISON ET AL., 2007). Em geral, elas são administradas com investimento em equipamentos que provocam baixas perdas por calor, com alterações na configuração da rede e com iniciativas de gestão da demanda (HARRISON ET AL., 2007).

A introdução da GD em um sistema elétrico irá ocasionar uma alteração das perdas de energia do sistema, podendo reduzi-las ou aumentá-las. Como regra geral, injeção de energia na baixa tensão proporciona uma redução das perdas, caso a geração não ultrapasse a demanda local. Nesse caso, poderá resultar em um aumento global das perdas do sistema (HARRISON ET AL., 2007).

A redução das perdas é influenciada pela GD segundo dois fatores, a concentração das unidades de GD e o grau de penetração da GD. Com baixa penetração e baixa concentração de GD, usualmente, as perdas são reduzidas. Contudo, a medida que a penetração e a concentração aumentam, as perdas tendem a aumentar (FRÍAS ET AL., 2009). Na avaliação das perdas, também deve ser levado em consideração o tipo de rede, rural ou urbana. As redes rurais têm como característica longas linhas e cargas pouco concentradas, o que resulta em maiores perdas quando comparadas com as redes urbanas (DE JOODE ET AL., 2009).

Diversos países incentivam o distribuidor a manter as perdas dentro de valores de referência, podendo penalizá-lo ou recompensá-lo conforme o atendimento a esses valores de referência (COSSENT ET AL., 2009). Nessa situação, é evidente o benefício proporcionado por uma eventual redução de perdas na rede. Outro ganho não tão claro é a diminuição da quantidade de energia comprada pela distribuidora para atendimento ao conjunto de consumidores conectados em sua rede. Com a redução das perdas na rede, o distribuidor poderá atender uma determinada demanda de energia de seus consumidores com quantidades menores de energia adquirida no mercado de energia (GIL E JOOS, 2008).

Contudo, a relação entre a GD e as perdas da rede pode ser vista como um problema pelo distribuidor, influenciando negativamente sua penetração no sistema. Primeiramente, as perdas de energia são um problema particular do distribuidor, não afetando os proprietários de GD, que não são diretamente impactados pelos efeitos de perda de energia (COSSENT ET AL., 2009). Além disso, caso o distribuidor seja penalizado por elevadas perdas em sua rede, ele poderá criar barreiras para tentar manter baixos valores de penetração e concentração de GD, visto que elevados valores poderão aumentar as perdas de energia em seu sistema (HARRISON ET AL., 2007).

4.2.6. Qualidade do Serviço de Distribuição

A qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica pode ser avaliada segundo 2 (dois) aspectos, a prestação de serviços comerciais – relacionados à medição do consumo de energia, ao faturamento mensal, entre outros – e a qualidade técnica do serviço (COSSENT ET AL., 2009). O segundo aspecto pode ser subdividido em duas parcelas, sendo: a continuidade do suprimento de energia – usualmente associada à frequência e à duração de interrupções no suprimento – e a qualidade da energia fornecida, associada à ocorrência de distúrbios na tensão, como, por exemplo, variação de tensão, efeito *flicker*, harmônios, afundamento de tensão etc. (COSSENT ET AL., 2009; FRÍAS ET AL., 2009). O conceito de qualidade de energia é explicado com maiores detalhes no Capítulo 2 desse documento.

A relação entre a introdução da GD em um sistema de distribuição e seus impactos na qualidade da energia fornecida ainda não é clara e fácil de ser medida, sendo objeto de estudos para proposição de metodologias com intuito de realizar essa avaliação (FRÍAS ET AL., 2009). Em relação à continuidade do suprimento de energia, a GD pode contribuir para o fornecimento de energia em casos de interrupção no fornecimento de energia, através da operação em ilhamento¹². Contudo, essa opção não é usual na prática, especialmente por causa da falta de observabilidade e controlabilidade da rede de distribuição e das unidades de GD (FRÍAS ET AL., 2009). A operação em modo de ilhamento é proibida em diversos países por questões de segurança. Os que permitem impõem condições específicas ou somente em casos emergenciais ou projetos pilotos. (COSSENT ET AL., 2009).

¹² A operação em ilhamento e as dificuldades associadas a ela são descritas no Capítulo 2 desse documento.

Em relação à qualidade da energia suprida, a GD pode contribuir para sua melhoria através do provimento de serviços ancilares, como, por exemplo, controle de tensão, reserva de frequência ou serviço de *black start* (FRÍAS ET AL., 2009). Os serviços ancilares são comuns no sistema de transmissão, pois geradores estão usualmente conectados na transmissão. Com a introdução da GD, essa possibilidade passa a existir no nível de distribuição, contribuindo para uma operação mais segura e mais eficiente da rede de distribuição (COSSENT ET AL, 2009).

Unidades de GD com controle local, ou seguindo ordens do operador do sistema, podem prover suporte ao controle de tensão ou ao controle do fluxo de potência, quando demandados na operação do sistema (COSSENT ET AL, 2009). Para que isso ocorra, é necessária a introdução de novas tecnologias para operação da rede de distribuição, de forma a aumentar seu controle (COSSENT ET AL, 2009). Apesar dos potenciais benefícios, a introdução da GD é vista como uma fonte de problema pelo distribuidor, especialmente as que utilizam fontes intermitentes de energia, como, por exemplo, a solar e a eólica (COSSENT ET AL, 2009, FRÍAS ET AL., 2009).

Em poucos países a regulamentação não considera a qualidade do serviço. Em alguns países, os padrões de qualidade de energia são estabelecidos nos contratos firmados entre o distribuidor e o consumidor, não sendo objeto de regulação. Na maioria, os distribuidores são recompensados ou penalizados de acordo com o atendimento a índices preestabelecidos de continuidade do suprimento. Contudo, os possíveis impactos da GD na continuidade do suprimento usualmente não são levados em consideração (COSSENT ET AL, 2009).

Na maioria dos países, não existe ou é muito pequena a contribuição da GD para o provimento de serviço ancilar. Quando existente, usualmente é limitado ao controle de reativo e ao balanço de energia, sendo utilizado para controle de tensão ou, manter o fator de potência dentro de certos limites (COSSENT ET AL, 2009).

Como proposição no sentido de melhoria da qualidade do serviço, Frías et al. (2009) orientam que deve ser adotado um regime de regulação baseado no desempenho do distribuidor, com objetivos voltados para a qualidade do serviço e que promovam incentivos explícitos para o distribuidor melhorar seus níveis de serviço. Os autores afirmam, ainda, que devem ser desenvolvidos programas de inovação que promovam uma transformação do sistema de distribuição, passando de uma gestão passiva para uma gestão ativa da rede, de forma a proporcionar a participação da GD no controle da rede e a atuação em casos de distúrbios. Por fim, eles afirmam que

devem ser projetados incentivos para que as unidades de GD possam prover serviços ancilares para ajudar o distribuidor na operação da rede e melhorar os níveis de serviço.

4.3. Considerações Finais do Capítulo

Nesse capítulo foram apresentados os elementos da regulação da distribuição que são afetados pela introdução da GD em um sistema de distribuição. Após apresentação de todos os elementos, percebe-se que existe uma relação, em algum grau, entre todos eles. É importante que no estabelecimento da regulamentação para acomodação à GD essas relações sejam reconhecidas e consideradas, para que não sejam criadas inconsistências e desfavorecimentos a determinados atores envolvidos – no caso, o distribuidor, os proprietários de GD e os consumidores – resultando em desincentivos ao invés de incentivos à introdução da GD.

Além disso, deve ser percebido que à medida que o sistema físico é alterado – a partir da expansão da rede, da carga e da introdução de novas tecnologias para operação do sistema de distribuição – a relação entre os elementos também é alterada. Essas relações também dependerão do tipo de tecnologia de GD que é introduzida na rede e seus níveis de penetração e de concentração. Tal situação torna o trabalho de ajustar a forma de regulação em vigor para acomodar a entrada da GD um problema complexo.

Nesse sentido, é importante destacar o trabalho de De Joode et al. (2009), onde os impactos da introdução da GD em um sistema são avaliados levando-se em consideração diversos desses aspectos, envolvendo a rede física, a introdução da GD e o modelo regulatório. Para essa avaliação, os autores fazem uso de dois modelos, um para análise dos impactos técnicos da introdução da GD no sistema de distribuição e outro para análise dos impactos econômicos no distribuidor dessa introdução, respeitando o modelo regulatório ao qual ele está inserido. Os dois modelos são acoplados, com o segundo utilizando os resultados gerados pelo primeiro modelo.

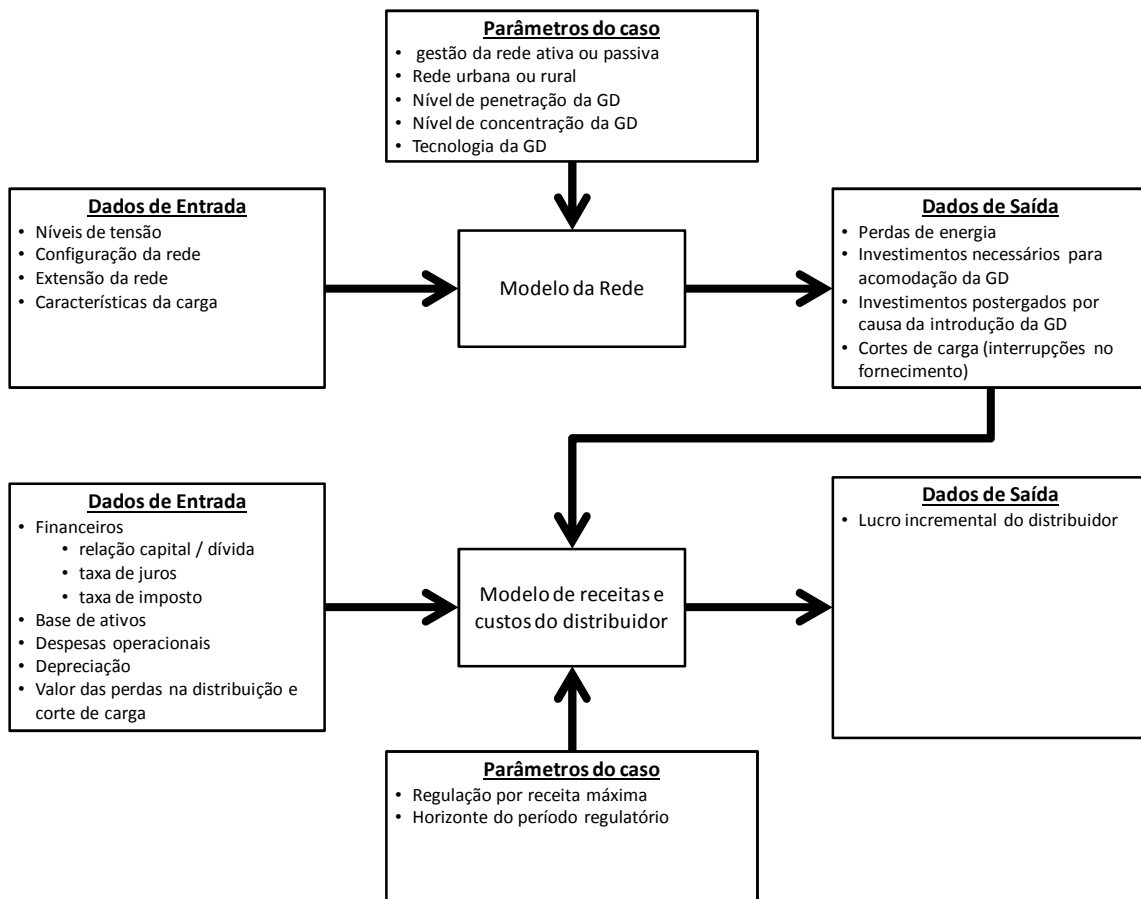


Figura 20: Visão esquemática da relação entre o modelo da rede e o modelo de receitas e custos do distribuidor (FONTE: Adaptado de DE JOODE ET AL., 2009)

Como resultados, percebe-se que a introdução da GD em um sistema de distribuição pode trazer ganhos financeiros tanto para o distribuidor quanto para os proprietários de unidades de GD e para os demais consumidores. Esses ganhos são resultantes de uma possível melhoria na qualidade do serviço de distribuição e de uma possível redução nos custos globais de prestação do serviço. Contudo, para que essa situação “ótima” ocorra, devem ser consideradas todas as variáveis envolvidas, de forma a ajustá-las para que os benefícios sejam compartilhados entre todos os atores impactados. Caso contrário, a introdução da GD poderá prejudicar um determinado ator ou, até mesmo, todos eles.

No próximo capítulo será visto como Alemanha, Espanha e Califórnia\ EUA regulam os elementos apresentados nesse capítulo. Para fornecer uma visão ampla do que será visto em cada país, a seguir é apresentada uma tabela com algumas questões a serem respondidas na avaliação da regulação de cada um dos três países, associadas aos elementos apresentados.

Elemento	Questão(ões) a ser(em) respondida(s)
Desverticalização da Distribuição	O distribuidor pode desenvolver atividades de geração de energia elétrica? Caso positivo, em quais circunstâncias?
Modelo de Remuneração do Distribuidor	Qual o modelo de remuneração dominante do distribuidor? A introdução de unidades de GD no sistema de distribuição é considerada, de alguma forma, na remuneração do distribuidor? Caso positivo, de que forma?
Encargo de Conexão e Tarifa de Uso	Qual o tipo de encargo de conexão praticado, raso ou profundo? Os proprietários de unidades de GD pagam tarifa de uso do sistema de distribuição? Caso positivo elas são fixas ou variáveis? Caso sejam variáveis, quais fatores influenciam sua definição?
Planejamento do Sistema	Existe a indicação para que a GD seja considerada como alternativa na expansão do sistema de distribuição?
Perdas de Energia	O distribuidor é incentivado a reduzir as perdas de energia em seu sistema? Caso positivo, a introdução de unidades de GD no sistema de distribuição é considerada, de alguma forma, na definição dos valores de referência para as perdas de energia?
Qualidade do Serviço de Distribuição	O distribuidor é incentivado a manter os serviços de distribuição em níveis de qualidade pré-definidos? Caso positivo, a introdução de unidades de GD no sistema de distribuição é considerada, de alguma forma, na definição dos valores de referência para a qualidade do serviço de distribuição?

5. Regulação da Distribuição Impactada pela Geração Distribuída na Alemanha, Espanha e Califórnia\ EUA

Nesse capítulo, será apresentado como Alemanha, Espanha e Califórnia \ EUA tratam os elementos de regulação da distribuição indicados no Capítulo 4. Para cada país abordado, será apresentado, brevemente, seu sistema elétrico, a participação da GD na geração de energia, o responsável pela regulação da atividade de distribuição e os documentos que regulam os aspectos avaliados. Por fim, a partir dos documentos apresentados e de referências encontradas na literatura e em sites dos órgãos reguladores nacionais, será exposto como a regulamentação do país responde às questões apresentadas no final do Capítulo 4.

5.1. Alemanha

O sistema elétrico da Alemanha é formado por um sistema de transmissão com linhas de 220 kV e 380 kV e um sistema de distribuição dividido em três níveis de tensão, sendo: alta tensão, entre 60 kV e 110 kV, média tensão, entre 6 kV e 30 kV, e baixa tensão, entre 230 V e 400 V (LÓPEZ & ACKERMANN, 2008). A figura a seguir ilustra a configuração do sistema elétrico da Alemanha, assim como as unidades de consumo e unidades geradoras conectadas a cada parte do sistema.

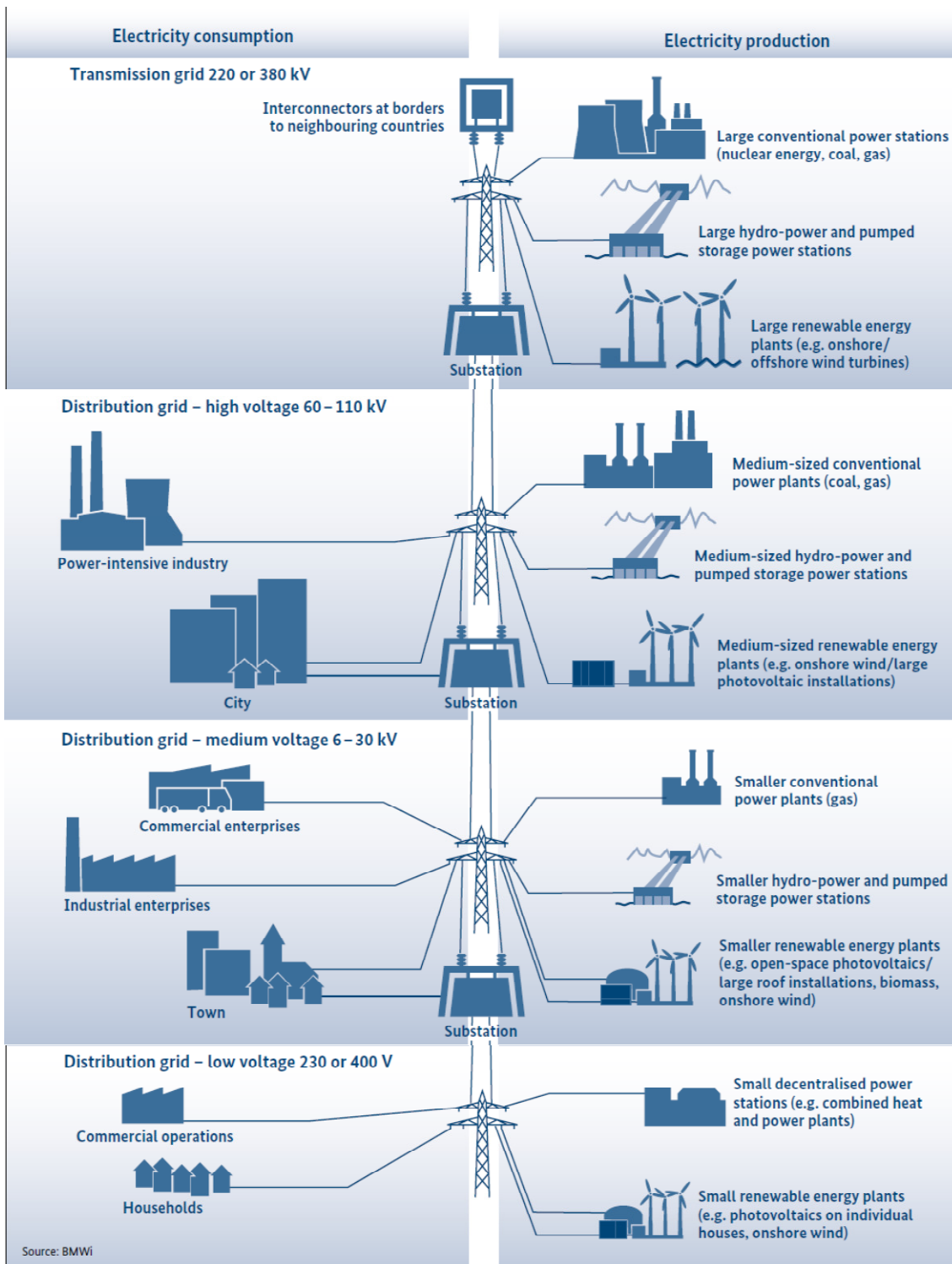


Figura 21: O sistema elétrico da Alemanha (FONTE: BMWi, 2012: pag. 17)

O sistema de transmissão é dividido em 4 (quatro) regiões, cada uma sob responsabilidade e posse de um operador específico, são eles: *Vattenfall Europe Transmission*, *E.on-Netz*, *RWE Transportnetz Strom* e *EnBW Transportnetze AG*

(LÓPEZ & ACKERMANN, 2008). A figura a seguir ilustra as regiões e os respectivos operadores.



Figura 22: O sistema de transmissão da Alemanha e seus operadores (FONTE: LÓPEZ & ACKERMANN, 2008 : pag. 100)

Alemanha possui aproximadamente 700 operadores de redes de distribuição e 50 operadores de redes regionais. Pequenos operadores são responsáveis pela rede de distribuição de pequenas cidades e operadores de maior porte são responsáveis por redes que cobrem mais de um distrito (LÓPEZ & ACKERMANN, 2008). A figura a seguir ilustra a atuação dos diversos distribuidores no país, onde pontos de uma mesma cor representam distribuidores distintos.



Source: VDN (German Network Association)

Figura 23: Representação geográfica das empresas de distribuição da Alemanha (FONTE: LÓPEZ & ACKERMANN, 2008 : pag. 101)

A figura a seguir indica a participação da GD na capacidade de geração de eletricidade da Alemanha, considerando como GD toda unidade de geração conectada à rede de distribuição, independentemente de sua capacidade, de seu proprietário e do comprador da energia produzida. Pela figura, destaca-se a representatividade da GD a partir da energia eólica e fotovoltaica, que correspondem a, aproximadamente, 27% da capacidade de geração do país. Ressalta-se, ainda, que a capacidade de geração conectada à rede de distribuição é maior do que a geração conectada à rede de transmissão, 52% e 48%, respectivamente.

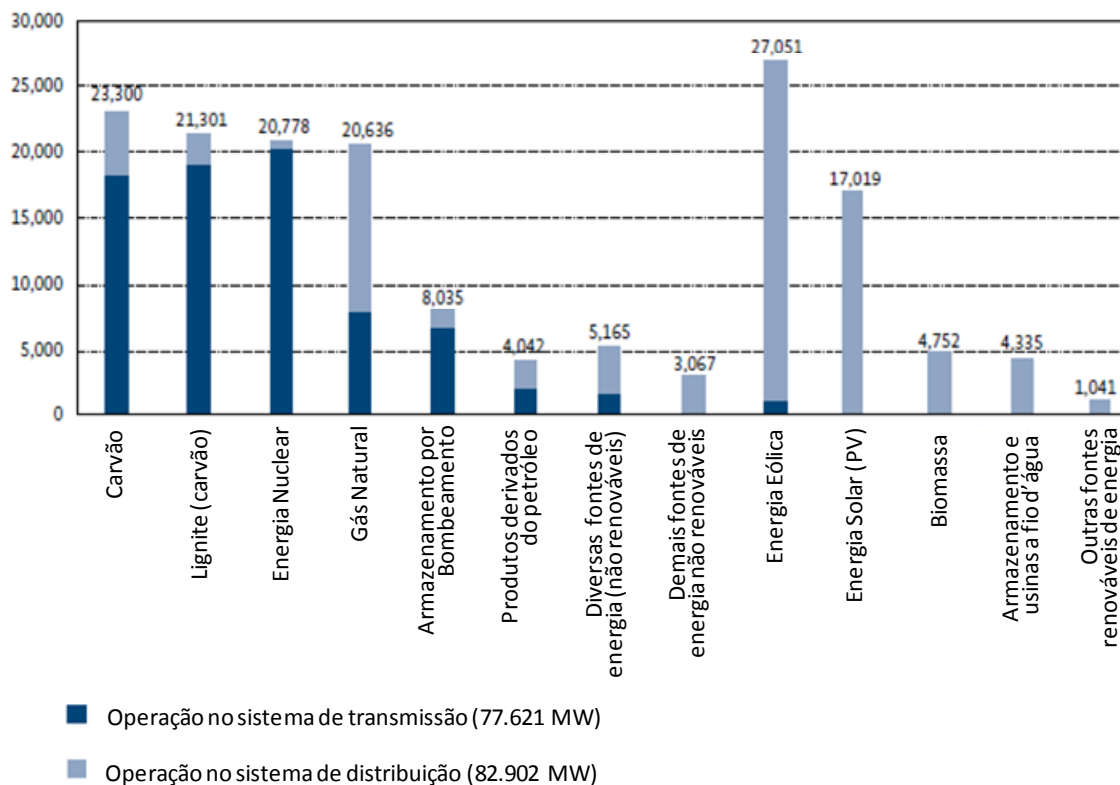


Figura 24: Capacidade de geração (MW) na Alemanha por fonte de energia em 31/12/2012 (FONTE: Adaptado de BMWi, 2012)

O órgão responsável pela regulação da atividade de distribuição de energia elétrica na Alemanha é a Agência Nacional de Eletricidade, Gás, Telecomunicações, Correios e Rodovias¹³. Ela é a responsável por garantir o cumprimento das leis e portarias em vigor associadas aos setores de eletricidade, gás, telecomunicações, correios e rodovias, garantindo, na medida do possível, a prestação de serviços de forma segura, eficiente, ambientalmente adequada e favorável aos consumidores (BUNDESNETZAGENTUR, 2012).

A lei de energia da Alemanha cobre uma diversidade de assuntos relacionados a energia e áreas legais. Não existe uma única codificação das leis de energia da Alemanha. Muitas áreas da lei de energia da Alemanha possuem grande influência das Leis de Energia da Europa (LANG & MUTSCHLER, 2012). Os principais documentos regulatórios da distribuição associados GD na Alemanha identificados estão indicados na tabela a seguir.

¹³ Tradução do autor do termo em inglês *Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Post and Railway* ("Bundesnetzagentur").

Tabela 5: Documentos regulatórios da Alemanha associadas à GD (FONTE: O AUTOR)

Documento Regulatório (em alemão)	Data de Emissão / Início da Vigência	Documento Regulatório (em inglês)	Código	Descrição
<i>Energiewirtschaftsgesetz</i>	Emissão: 07/07/2005 Vigência: 13/07/2005	<i>German Energy Act</i>	EnWG	Define os princípios básicos legais e regulatórios para o sistema de suprimento de energia elétrica da Alemanha, incluindo as obrigações gerais dos operadores da rede, entre outras disposições (LÓPEZ & ACKERMANN, 2008; ROPENUS, 2012).
<i>Erneuerbares-Energien-Gesetz</i>	Emissão: 25/10/2008 Vigência: 01/09/2009	<i>Renewable Energy Sources Act</i>	EEG	Estabelece os princípios básicos para a introdução e o desenvolvimento das fontes energias renováveis na Alemanha, entre outros (LÓPEZ & ACKERMANN, 2008). Além disso, estabelece as obrigações diretamente relacionadas à conexão à rede do GD, associadas à conexão à rede, à expansão da capacidade da rede e à alocação dos custos da introdução da GD incidentes no distribuidor (ROPENUS, 2012)
<i>Anreizregulierungsverordnung</i>	Emissão: 29/10/2007 Vigência: 06/11/2007	<i>Incentive Regulation Ordinance</i>	ARegV	Estabelece e regulamenta o regime de remuneração do distribuidor por incentivo, na forma de receita máxima (LANG & MUTSCHLER, 2012).

A tabela a seguir indica a relação entre os documentos identificados e os elementos de regulação da distribuição impactados pela introdução da GD, descritos no Capítulo 4. Não foi identificado documento que aborde o planejamento da expansão do sistema de distribuição e que possua relação com a introdução da GD no sistema.

Tabela 6: Relação entre os documentos regulatórios da Alemanha e os elementos de regulação da distribuição impactados pela introdução da GD (FONTE: O AUTOR)

Documento Regulatório (em inglês)	Código	Elemento de Regulação da Distribuição Impactado pela Introdução da GD
<i>German Energy Act</i>	EnWG	Desverticalização
<i>Renewable Energy Sources Act</i>	EEG	Tarifa de Uso e Encargo de Conexão
<i>Incentive Regulation Ordinance</i>	ARegV	1) Modelo de Remuneração do Distribuidor 2) Perdas de Energia 3) Qualidade do Serviço

Em relação à desverticalização, a Lei de Energia da Alemanha (EnWG) seção 7, estabelece que os distribuidores não podem exercer atividades de geração e de comercialização de energia elétrica. Uma exceção é feita para distribuidores que possuem menos do que 100.00 consumidores conectados (BMW, 2005).

Em relação ao modelo de remuneração do distribuidor, a Portaria de Regulação do Incentivo (ARegV) estabelece que os distribuidores serão remunerados segundo o modelo de receita máxima permitida. Esse novo modelo passou a vigorar a partir de 1º de janeiro de 2009 e prevê um período de adaptação de 5 anos. Ele não se aplica a distribuidores com menos de 30.000 consumidores conectados em sua rede. Antes de 2009, o modelo adotado pela Alemanha era pelo custo do serviço (BMW, 2007).

Tal modelo leva em consideração, entre outros fatores, um fator que avalia a qualidade na prestação do serviço de distribuição e um fator que avalia a eficiência econômica do distribuidor em relação a outros distribuidores da Alemanha. O número e a capacidade das unidades de GD que utilizam energia eólica e solar são parâmetros considerados na comparação da eficiência entre distribuidores. Além disso, o custo de expansão decorrente da introdução de GD na rede de distribuição é

considerado um custo não controlável pelo distribuidor, sendo passível de ressarcimento no próximo período regulamentar (BMW, 2007).

A qualidade do serviço de distribuição é avaliada segundo indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica, sendo: a duração de interrupções no fornecimento de energia, a frequência de interrupções no fornecimento de energia, a quantidade de energia não fornecida e o nível de carga não atendida. A lei prevê que, na avaliação da qualidade, as diferenças estruturais das concessionárias devem ser consideradas, podendo ser formados grupos de empresas. Contudo tal requisito não é detalhado, não sendo explicitados quais seriam os critérios de formação de grupos. A redução das perdas de energia não é considerada pela regulação da Alemanha, não influenciando na remuneração do distribuidor (BMW, 2007).

Em relação ao encargo de conexão ao sistema de distribuição pago pelos proprietários de GD, o § 13 da EEG estabelece que os proprietários das unidades de GD devem arcar somente com os custos de conexão ao ponto mais próximo de sua unidade à rede, bem como com os custos dos dispositivos de medição necessários para registrar a energia transmitida e recebida. Eventuais reforços e expansões do sistema de distribuição necessários para a conexão de uma nova unidade de GD deverão ser arcados pelo distribuidor, que irá ser ressarcido através das tarifas de uso do sistema de distribuição pagas pelos consumidores atendidos pelo distribuidor (BMW, 2009).

Os proprietários de unidades de GD não pagam tarifa de uso do sistema de distribuição, independentemente de sua localização e do seu horário de operação. A regulamentação alemã EEG considera que o distribuidor é o comprador da energia gerada, e não somente importador da energia gerada pela unidade de GD, e deve arcar com os custos associados à compra. Por conta disso, o distribuidor também possui inteira responsabilidade pelos efeitos da energia que importa para sua rede (BMW, 2009).

5.2. Espanha

O sistema elétrico da Espanha é formado por um sistema de transmissão com linhas de 400 kV e 220 kV, além das conexões internacionais, que também são consideradas parte do sistema de transmissão. O sistema de distribuição é dividido em 4 (quatro) níveis de tensão: (1) 132 kV, denominado de extra-alta tensão; (2) 66 kV, 45 kV e 30 kV, denominado de alta tensão; (3) 20 kV, 15 kV, 13.2 kV e 11 kV,

denominado de média tensão; e (4) 400V, denominado de baixa tensão (LÓPEZ & ACKERMANN, 2008). A figura a seguir ilustra o sistema de transmissão da Espanha.



Figura 25: Ilustração do sistema de transmissão da Espanha (FONTE: REE *apud* LÓPEZ & ACKERMANN, 2008 : pag. 23)

As unidades de geração da Espanha são classificadas em dois tipos, Regime Ordinário e Regime Especial. No primeiro tipo se enquadram as unidades geradoras “tradicionais”, que fazem uso de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis, nuclear e hidráulica de grande capacidade. As unidades que se enquadram no Regime Especial são aquelas que fazem uso de fontes alternativas de energia – solar, eólica, biomassa, resíduos e usinas hidráulicas de pequena capacidade – e cogeração (LÓPEZ & ACKERMANN, 2008). A tabela a seguir indica a capacidade total instalada por fonte de energia em 2011 e produção por fonte de energia em 2011.

Tabela 7: Capacidade total instalada por fonte de energia em 2011 e produção por fonte de energia em 2011 (FONTE: O AUTOR)

Tipo de Geração	TOTAL (MW)	% TOTAL	%11/10	TOTAL (GWh)	% TOTAL	%11/10
Hidráulica	17.564	17%	0,00	27.571	10%	-28,70
Nuclear	7.777	7%	0,00	57.731	20%	-6,90
Carvão	12.210	12%	0,27	46.519	16%	82,60
Gás Combustível	4.376	4%	-15,00	7.479	3%	-21,70
Ciclo Combinado	27.123	26%	0,10	55.140	19%	-19,60
Total do Regime Ordinário	69.050	65%	-0,60	194.440	68%	-4,80
Hidráulica	2.041	2%	0,30	5.284	2%	-22,60
Eólica	21.239	20%	7,00	42.160	15%	-3,20
Solar Fotovoltaica	4.249	4%	10,60	7.414	3%	15,40
Solar Termoelétrica	1.049	1%	97,10	1.823	1%	163,60
Térmica com Fontes Renováveis	859	1%	8,50	3.825	1%	14,80
Térmica com Fontes não Renováveis	7.401	7%	1,30	32.305	11%	4,30
Total do Regime Especial	36.838	35%	7,20	92.811	32%	1,10
TOTAL	105.888	100%	2,00	287.251	100%	-2,10

DADOS (REE, 2012)

A evolução da capacidade de geração de fontes de energia que se enquadram no Regime Especial foi significativamente alta nos últimos anos, em comparação às fontes de energia que se enquadram no Regime Ordinário, conforme pode ser observado na Tabela 8. O total de capacidade instalada do Regime Especial cresceu 57% entre 2007 e 2011 - com destaques para o crescimento das fontes eólica e solar, que cresceram 56% e 718%, respectivamente – enquanto a capacidade referente a fontes de energia do Regime Ordinário cresceu apenas 2,4% nesse período.

Tabela 8: Evolução anual da potência instalada (MW) (FONTE: O AUTOR)

Tipo de Geração	Evolução Anual da Potência Instalada (MW)				
	2007	2008	2009	2010	2011
Hidráulica	17.506	17.554	17.554	17.563	17.563
Nuclear	7.716	7.716	7.716	7.777	7.777
Carvão	11.356	11.359	11.359	11.380	11.700
Gás Combustível	4.768	4.401	3.008	2.282	1.492
Ciclo Combinado	20.962	21.677	23.066	25.235	25.269
Total do Regime Ordinário	62.308	62.707	62.703	64.237	63.801
Hidráulica	1.871	1.979	2.022	2.035	2.041
Eólica	13.529	15.977	18.712	19.710	21.091
Solar Fotovoltaica	612	3.207	3.249	3.657	4.047
Solar Termoelétrica	11	61	232	532	1.049
Térmica com Fontes Renováveis	550	590	718	753	858
Térmica com Fontes não Renováveis	6.543	6.803	7.024	7.187	7.282
Total do Regime Especial	23.116	28.617	31.957	33.874	36.368
TOTAL	85.424	91.324	94.660	98.111	100.169

DADOS (REE, 2012)

Importante ressaltar que nem todas as unidades geradoras que se enquadram no Regime Especial podem ser consideradas GD, visto que elas também podem ser conectadas à rede de transmissão. O gráfico a seguir indica a proporção da capacidade instalada de cada tipo de geração enquadrada como Regime Especial de acordo com o nível de tensão da rede, podendo, assim ser estimada a quantidade de GD instalada na Espanha. No gráfico, o valor de 145 kV foi criado para distinguir as redes de transmissão e de distribuição (COSSENT ET AL., 2011).

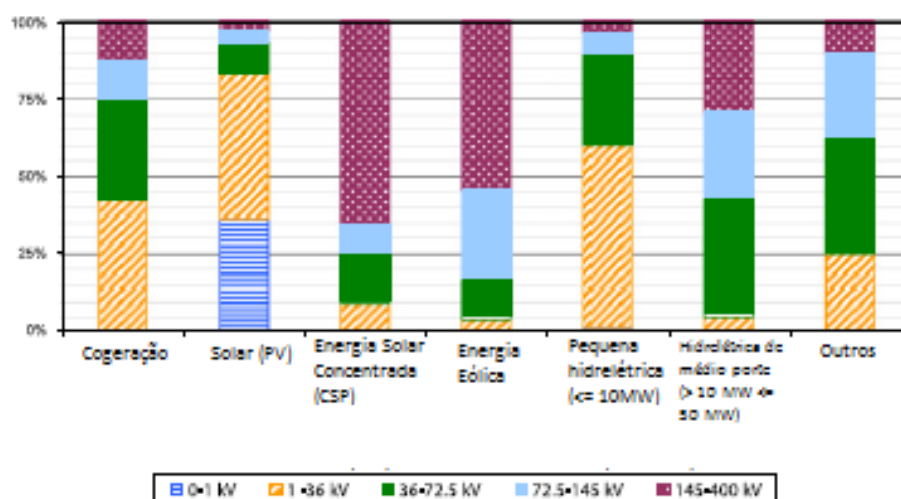


Figura 26: Distribuição das fontes de energia enquadradas no Regime Especial, de acordo com o nível de tensão da rede (FONTE: Adaptado de COSSENT ET AL., 2011)

Cossent et al. (2011) estimam que a Espanha possui uma capacidade instalada de GD de, aproximadamente, 22 GW, representando 21% da capacidade total de

geração. A partir da análise do gráfico acima, percebe-se que a maior parte das usinas eólicas e Energia Solar Concentrada¹⁴ – CSP instaladas na Espanha são conectadas ao sistema de transmissão, não sendo enquadráveis na categoria de GD. Contudo, as demais fontes enquadráveis no Regime Espacial estão predominantemente conectadas no sistema de distribuição.

Red Eléctrica de España – REE é o Operador do Sistema de Transmissão e detém quase que a totalidade dos ativos de transmissão (LÓPEZ & ACKERMANN, 2008). A Espanha possui 5 (cinco) distribuidoras que juntas detém uma participação de mercado que totaliza, aproximadamente, 99% do total de atividades de distribuição, são elas: *Iberdrola*, *Endesa*, *Unión Fenosa*, *Hidrocantábrico*, e *Viesgo*. Durante os últimos anos, ocorreu um aumento considerável na quantidade de companhias de distribuição, contudo esse crescimento ainda não atingiu uma participação significativa no mercado (LÓPEZ & ACKERMANN, 2008). A figura a seguir indica as áreas de atuação das principais distribuidoras da Espanha.

¹⁴ Tradução do autor para o termo *Concentrate Solar Power* – CPS.



Figura 27: Área de atuação das principais distribuidoras da Espanha (FONTE: Adaptado de PROYECTOSTIPO, 2012)

A *Comision Nacional de Energia* – CNE é o órgão regulador do sistema elétrico da Espanha. Ela é a responsável por desenvolver e executar as regras contidas nos Decretos Reais e ordens do Ministério da Economia, estabelecidas para o desenvolvimento energético. Dentre as diversas tarefas de responsabilidade da CNE, destacam-se a criação de disposições gerais que afetam o mercado de energia, o planejamento energético e o estabelecimento de tarifas, encargos e condições de pagamento para as atividades relacionadas à energia (CNE, 2012).

Em relação à regulação dos elementos identificados no Capítulo 4, foram identificados os documentos indicados na Tabela 9. Atualmente, está em tramitação no Ministério de Indústria, Turismo e Comércio da Espanha um conjunto de Procedimentos da Rede de Distribuição, elaborado pela CNE e pelas empresas distribuidoras de energia. Contudo, esses ainda se encontram em fase de revisão pela CNE e aprovação pelo Ministério da Economia.

Tabela 9: Documentos regulatórios da Espanha associadas à GD (FONTE: O AUTOR)

Documento Regulatório	Data de Emissão / Início da Vigência¹⁵	Descrição / Objetivo do Documento Regulatório (em espanhol)	Descrição / Objetivo do Documento Regulatório (em espanhol)
RD 1955/2000	Emissão: 27/12/2000 Vigência:01/01/2001	<i>“Regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.”</i>	Estabelecer o regime jurídico aplicável às atividades de transporte, distribuição, comercialização e fornecimento de energia elétrica e as relações entre os vários assuntos que se desenvolvem, estabelecendo as medidas necessárias para assegurar este serviço essencial a todos consumidores finais.
RD 661/2007	Emissão: 26/05/2007 Vigência:01/06/2007	<i>“Regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.”</i>	Estabelecer de um quadro jurídico e econômico da produção de eletricidade em Regime Especial.
RD 1699/2011	Emissão: 08/12/2011 Vigência: 09/12/2011	<i>“Regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.”</i>	Estabelece as técnicas administrativas, contratuais, econômicas e de base para a conexão com as redes de distribuição de energia elétrica das instalações de produção de energia elétrica de pequena potência.

¹⁵ Está sendo considerada como data de emissão a data de publicação no Boletim Oficial. Quando existe variação do início da vigência entre os artigos de um mesmo decreto, é considerada a última data de entrada em vigor.

Documento Regulatório	Data de Emissão / Início da Vigência	Descrição / Objetivo do Documento Regulatório (em espanhol)	Descrição / Objetivo do Documento Regulatório (em espanhol)
RD 222/2008	Emissão: 18/03/2008 Vigência: 19/03/2008	<i>“Estabelece el regime retributivo de La actividad de distribución de energia eléctrica.”</i>	Estabelece a remuneração aplicável à atividade de distribuição de energia elétrica, estabelecendo as medidas necessárias para garantir a prestação de serviço adequado, incentivando a melhoria da qualidade do abastecimento e reduzir as perdas em redes de distribuição.
RD-Lei 14/2010	Emissão: 24/12/2010 Vigência: 01/01/2011	<i>“Estabelece medidas urgentes para corrigir o déficit tarifário do setor eléctrico.”</i>	Realiza alterações na regulamentação do setor elétrico da Espanha, no sentido de corrigir o déficit tarifário do Setor Elétrico.

A tabela a seguir indica a relação entre os documentos regulatórios identificadas e os elementos de regulação descritos no Capítulo 4. Não foi identificado documento que aborde o planejamento da expansão do sistema de distribuição e possua relação com a introdução da GD no sistema. Esse assunto será tema de um dos Procedimentos da Distribuição que está em fase de aprovação.

Tabela 10: Relação entre a regulamentação da Espanha e os elementos da regulamentação impactados pela introdução da GD (FONTE: O AUTOR)

Código da Regulamentação	Elemento da Regulamentação impactados pela introdução da GD
RD 222/2008	<ol style="list-style-type: none"> 1) Modelo de Remuneração do Distribuidor 2) Perdas de Energia 3) Qualidade do Serviço
RD 1955/2000	Desverticalização
RD 661/2007 RD 1699/2011 RD-Lei 14/2010	<ol style="list-style-type: none"> 1) Encargo de Conexão 2) Tarifa de Uso

Em relação à desverticalização, o Artigo 37º do RD 1955/2000, estabelece que as empresas de distribuição não podem desenvolver atividades diretamente relacionadas a atividades de geração ou de comercialização de energia elétrica. O negócio das concessionárias se limita a atividades de distribuição de energia elétrica; construção, operação e manutenção das instalações de distribuição; e venda de energia elétrica a preços regulados (BOE, 2000).

Em relação ao modelo de remuneração do distribuidor, a RD 222/2008 estabelece que as concessionárias de distribuição serão remuneradas segundo o modelo de receita máxima permitida. O modelo foi desenvolvido para incentivar a eficácia da gestão, eficiência técnica e econômica, qualidade do fornecimento de eletricidade e redução das perdas de energia na redes de distribuição (BOE, 2008).

A remuneração das distribuidoras é determinada para um período de 4 (quatro) anos. Antes do início desse período, é calculada a receita base da distribuidora, com base na previsão de custos de investimento, custos de operação e manutenção e outros tipos de custos, que envolvem a gestão do negócio e contratos de clientes - relacionados com o acesso e a conexão de consumidores e instalação de medição e

equipamentos de medição - o planejamento da rede e a gestão de energia (BOE, 2008).

Anualmente, após um período regulamentar, a remuneração base é atualizada por uma taxa de ajuste e é avaliada a mudança na remuneração associada ao aumento as atividades de distribuição – custo de investimento, custo de operação e manutenção e outros custos. Além disso, são aplicados incentivos ou penalidades associados à qualidade do serviço e às perdas de energia na rede de distribuição (BOE, 2008).

Em relação à qualidade do serviço, essa está relacionada à continuidade do suprimento. São avaliados indicadores que avaliam o tempo de interrupções e o número de interrupções, diferenciados pelo tipo de área da rede de distribuição – urbana, semi-urbana e rural. A remuneração do distribuidor pode variar em 3%, para mais ou para menos (BOE, 2008).

Em relação às perdas de energia na rede de distribuição, essa é calculada pela soma da energia medida nos pontos de fronteira da rede de distribuição e a energia gerada na rede de distribuição, descontado a energia faturada. A remuneração do distribuidor pode variar em 1%, para mais ou para menos. Para ambos os indicadores, não existe diferenciação entre distribuidoras de acordo com o número e a capacidade de unidades de GD conectada a sua rede, nem como sua tecnologia (BOE, 2008).

Em relação ao encargo de conexão ao sistema de distribuição pagos pelos proprietários de GD, a RD 661/2007 estabelece que o proprietário deverá arcar com todos os custos de conexão e com os custos de possíveis expansões na rede de distribuição, necessárias para a conexão. Essa disposição não diferencia GD de baixa potência (BOE, 2007; BOE, 2011). Além disso, os proprietários de unidades de geração com capacidade maior do que 10 MW devem ligar a unidade a um sistema de controle, sendo responsáveis pelo custo de instalação e manutenção desse, incluindo as linhas de comunicação com o distribuidor (BOE, 2007). Essa disposição também é válida para um conjunto de GD ligados a um mesmo ponto de conexão, quando a capacidade somada das unidades de GD ultrapassar 10 MW.

Em relação à tarifa de uso do sistema de distribuição, o RD-Lei 14/2010 estabelece que todos os proprietários de GD devem pagar 0,5 € / MWh para a concessionária responsável pela rede de distribuição à qual está conectado. Essa regra se aplica a todas as unidades, independentemente de sua capacidade de geração, tecnologia, localização ou horário de geração (BOE, 2010).

5.3. Califórnia / EUA

Nos EUA cada é Estado responsável por elaborar as suas políticas e suas formas de regulação, não existindo uma regulação única para todo o país. Por conta disso, o presente documento irá focar no caso da Califórnia e não do país como um todo.

O sistema elétrico da Califórnia é formado por um sistema de transmissão que varia de um nível de tensão de 500 kV a 33 kV (CEC, 2012). O nível de tensão do sistema de distribuição varia de 138 kV a 208 V (CORFEE ET AL., 2011). As instalações entre 33 kV e 138 kV podem ser classificadas como pertencentes ao sistema de transmissão ou ao sistema de distribuição, dependendo do proprietário da instalação (CORFEE ET AL., 2011). A figura a seguir ilustra o sistema de transmissão da Califórnia.

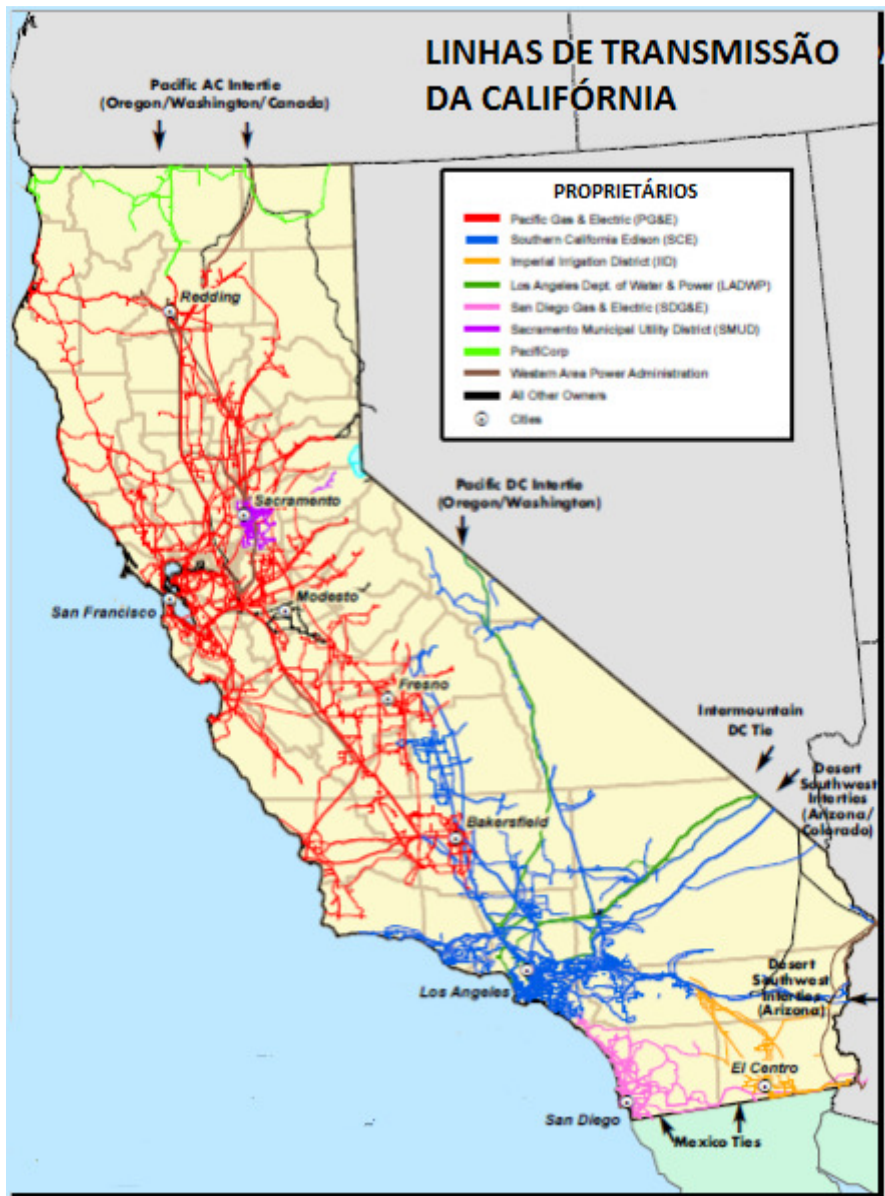


Figura 28: Mapa do sistema de transmissão da Califórnia (FONTE: Adaptado de CEC, 2012)

O responsável pela operação do sistema de transmissão da Califórnia é o *California Independent System Operator*, California ISO. O sistema de distribuição possui dois tipos de operadores, públicos – denominados *Publicly Owned Utility* (POU) – e privados – denominados *Investor-Owned Utility* (IOU), sendo esses últimos os responsáveis pela maior parte do sistema de distribuição da Califórnia. Existem 3 (três) principais IOUs, o *Pacific Gas and Electric Company* – PG&E, *Southern California Edison* – SCE e *San Diego Gas and Electric Company* – SDG&E e quatro empresas menores (CPUC, 2012a). A figura a seguir ilustra a atuação dos distribuidores na Califórnia.

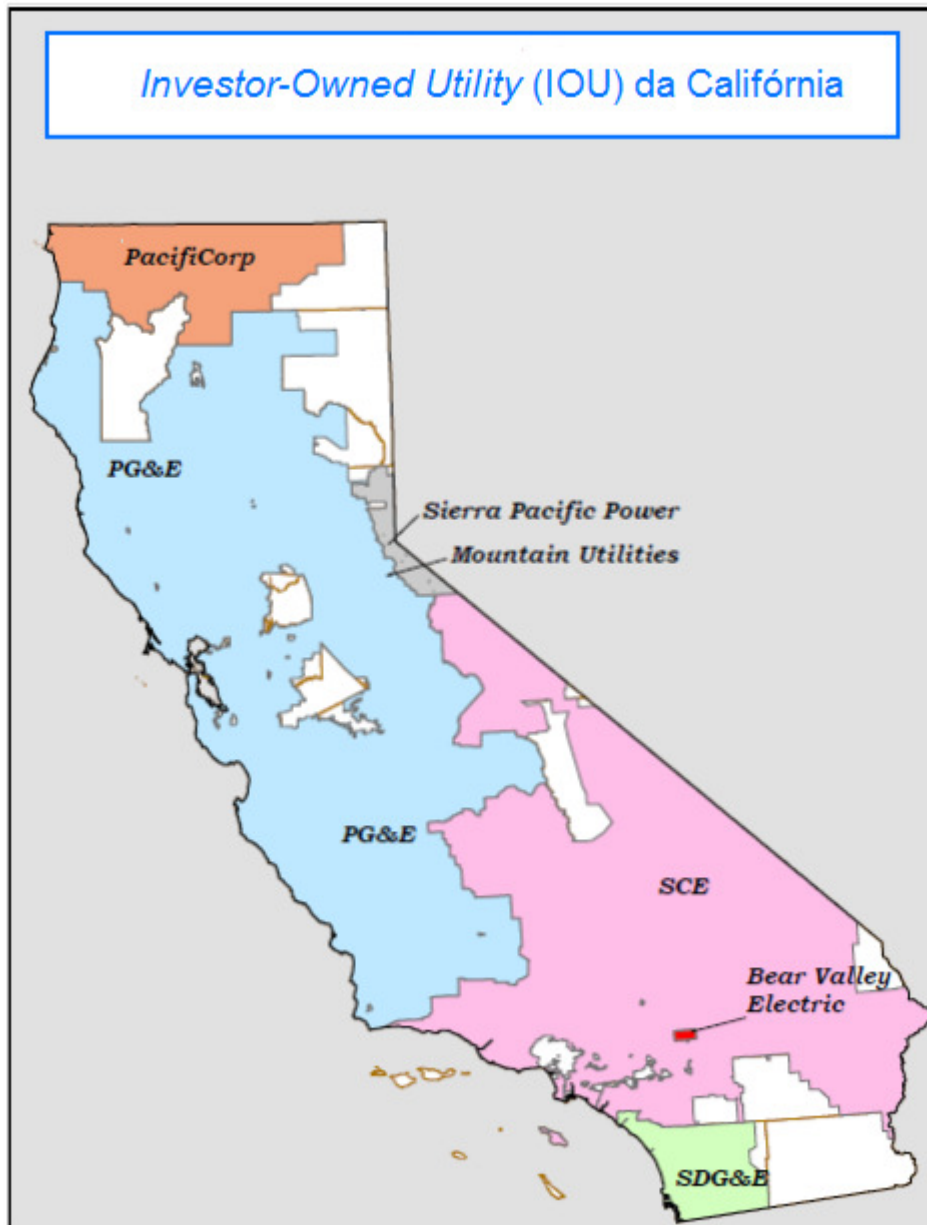


Figura 29: IOUs da Califórnia (FONTE: CPUC, 2012b)

A Califórnia possui uma capacidade instalada de geração na ordem de 70.000 MW, como pode ser visualizado na Figura 30, que indica, ainda, a evolução dessa capacidade nos últimos 10 (dez) anos. Percebe-se que a fonte primária predominante na Califórnia é o gás natural. Atualmente, a Califórnia possui uma capacidade instalada de GD na ordem de 3.000 MW, como pode ser visualizado na Figura 30, que também indica as perspectivas de crescimento dessa forma de geração até 2020. Atualmente, o Estado possui como objetivo chegar a 12.000 MW de GD até 2020, sendo a maior parte composta por unidades que fazem uso de fontes renováveis de energia. Comparado ao restante dos Estados Unidos, a Califórnia possui uma

significativa capacidade instalada de GD na rede, particularmente a que faz uso de energia solar (ITRON, 2010).

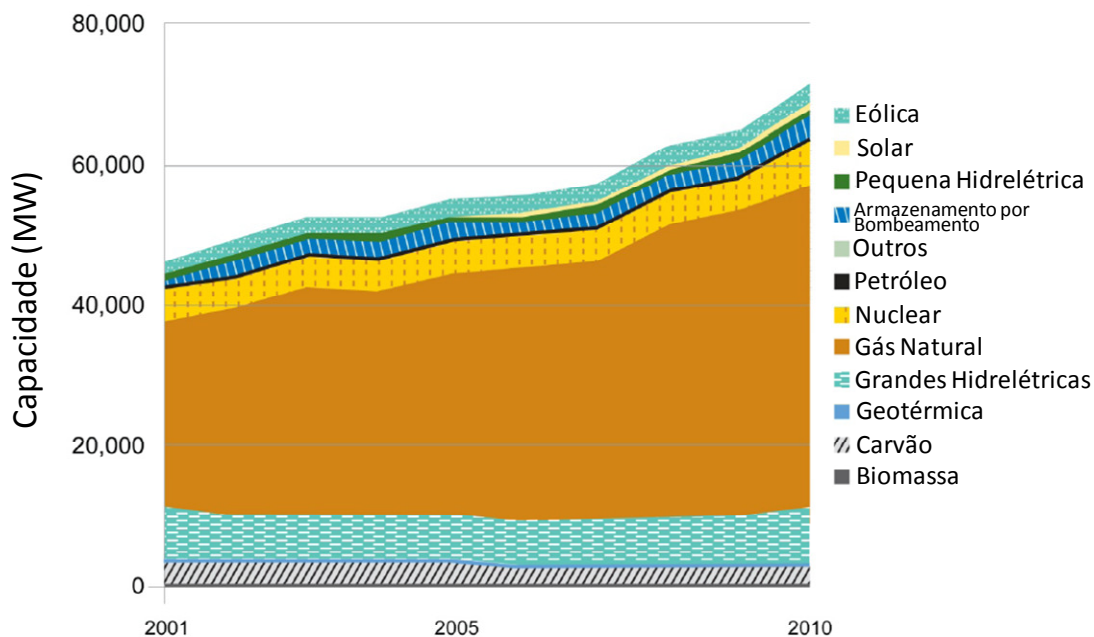


Figura 30: Capacidade instalada de geração por tecnologia na Califórnia (FONTE: Adaptado de CCEF, 2012a)

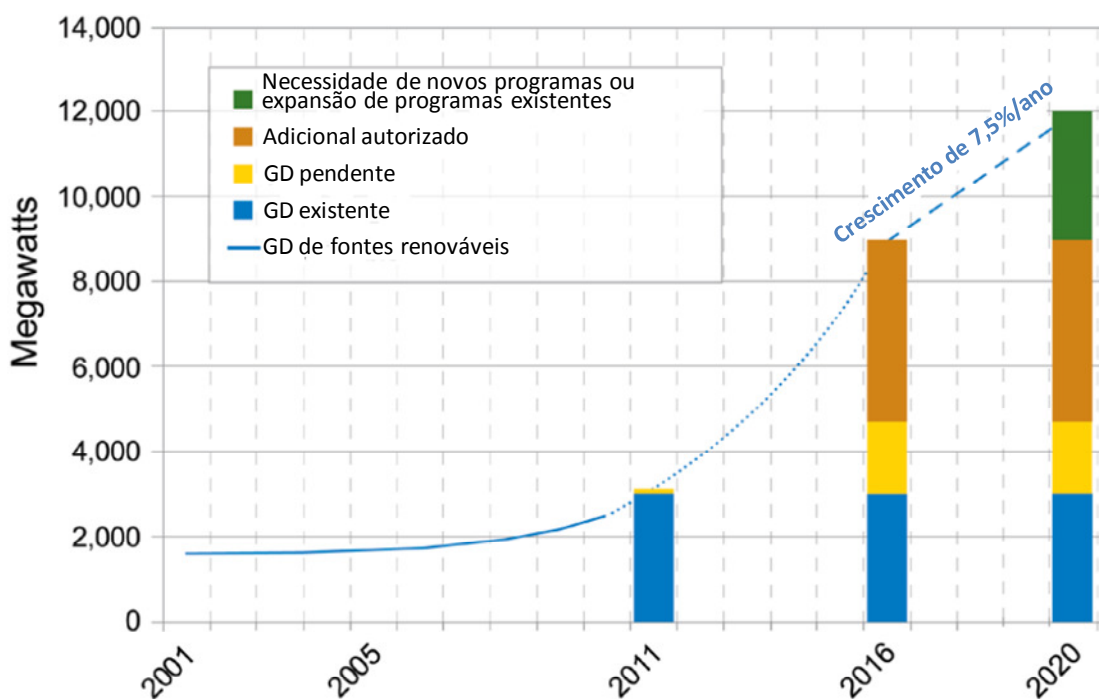


Figura 31: GD renováveis na Califórnia até 2020 (FONTE: Adaptado de CCEF, 2012b)

Como principais entidades responsáveis pela regulação da distribuição na Califórnia, podem ser citados a Comissão de Energia, *California Energy Commission*, e a Comissão de Utilidades Públicas da Califórnia, *California Public Utilities*

Commission – CPUC. A primeira é a agência responsável que concebe as políticas de energia primária e elabora o planejamento energético da Califórnia. Ela é responsável pela previsão das necessidades futuras de energia, pelo licenciamento das unidades de geração, pela promoção da eficiência energética, pelo suporte à pesquisa e desenvolvimento em energia, pelo planejamento e resposta a emergências energéticas, entre outros (CEC, 2012).

A CPUC é a responsável por regular os IOUs de telecomunicações, eletricidade, gás natural e água (CEC, 2012). A CPUC possui plena autoridade sobre a operação dos operadores de utilidades públicas, definindo e projetando suas taxas de retorno a partir dos documentos denominados *General Rate Cases* – documentos elaborados pelos IOUs que detalham sua previsão de custos para o próximo período tarifário – rateando os custos de operação pelos consumidores (CPUC, 2012a).

Os documentos regulatórios que respondem aos elementos indicados no Capítulo 4 estão indicados na tabela a seguir. Não foi identificada a data de emissão e a data de início de vigência do documento *California Public Utilities Codes*. O documento disponível no site oficial do Conselho Legislativo da Califórnia não indica essas informações, informando, apenas, que é disponibilizada a última versão em vigor do documento.

Tabela 11: Documentos regulatórios da Califórnia associadas à GD (FONTE: O AUTOR)

Documento Regulatório (em inglês)	Data de Emissão / Início da Vigência	Descrição
<i>California Public Utilities Codes</i>	Não identificado	Regulamenta os serviços públicos de utilidades, incluindo o de eletricidade. Ele define os principais conceitos associados à prestação do serviço, bem como as responsabilidades do governo e das empresas privadas, as formas de taxaço do serviço e remuneração do prestador, entre outras disposições.
<i>Rule 21</i>	Emissão: 30/09/2012 Vigência: 30/09/2012	Estabelece as regras de acesso das unidades de Geração Distribuída na Califórnia, bem como os encargos e tarifas pagos pelos proprietários das unidades.

A tabela a seguir indica a relação entre os documentos identificados e os elementos de regulação descritos no Capítulo 4. Não foram identificados documentos que abordem questões referentes à qualidade do serviço de distribuição e às perdas de energia no sistema de distribuição.

Tabela 12: Relação entre a regulamentação da Califórnia e os elementos da regulamentação impactados pela introdução da GD (FONTE: O AUTOR)

Documento Regulatório (em inglês)	Elemento de Regulação Impactado pela Introdução da GD
<i>California Public Utilities Codes</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Desverticalização 2) Regime de Remuneração do Distribuidor 3) Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição
<i>Rule 21</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Encargo de Conexão 2) Tarifa de Uso

Em relação à desverticalização, de acordo com o Código de Utilidades Públicas da Califórnia, as concessionárias de distribuição podem ser proprietárias de unidades de geração distribuída em suas redes de distribuição. Além disso, de acordo com o item 353 do Código, elas devem considerar em seus processos de planejamento da expansão do sistema recursos de energia distribuídos como alternativa para investimentos em seu sistema de distribuição, a fim de garantir um serviço confiável com o menor custo possível.

Em relação ao modelo de remuneração do distribuidor, o Código de Utilidades Públicas da Califórnia determina que o distribuidor é remunerado segundo o custo do serviço. A concessionária de distribuição deve elaborar um documento denominado *General Rate Case*, com uma previsão detalhada de como irá estruturar sua operação e seus investimentos para os próximos 3 (três) anos. A CPUC irá avaliar esse documento e aprovar, ou não, os custos previstos pelo IOU.

Em relação ao encargo de conexão ao sistema de distribuição, esses variam de acordo com a capacidade da unidade de GD e sua tecnologia. Unidades de GD que comercializam sua energia nos mercados atacadista de energia também possuem uma diferenciação em relação às unidades que não comercializam sua energia. O proprietário da unidade de GD poderá pagar elevados encargos de conexão – no caso de grande capacidade de geração, com fonte não incentiva e que comercialize energia no mercado atacadista – ou pagar pequenos encargos associados a testes de comissionamento da instalação – no caso de pequena capacidade de geração, com fonte incentiva e que não comercialize energia no mercado atacadista.

Em relação à tarifa de uso do sistema de distribuição, ela é fixa. Contudo, a concessionária de distribuição pode criar programas de incentivo à produção de energia em determinados horários do dia.

5.4. Considerações Finais do Capítulo

Nesse capítulo foi apresentado de que forma Alemanha, Espanha e Califórnia\EUA tratam os elementos de regulação da distribuição impactados pela introdução da GD. O exposto nesse capítulo servirá como subsídio, juntamente com as orientações da literatura, para formulação de orientações no sentido de aprimoramento da regulação no Brasil a serem apresentadas no próximo capítulo.

6. Regulação da Distribuição Impactada pela Geração Distribuída no Brasil

Nesse capítulo, será apresentado como o Brasil trata os elementos de regulação da distribuição indicados no Capítulo 4, para, em seguida, realizar uma comparação entre os quatro países considerados no estudo. Inicialmente, será descrito, brevemente, o sistema elétrico brasileiro, será indicada a participação da GD na geração de energia do país, será apresentado o responsável pela regulação da atividade de distribuição e serão indicados os documentos regulatórios que normalizam os elementos apresentados no Capítulo 4. Por fim, será realizada uma síntese do apresentado nos capítulos anteriores, com o objetivo de comparar a regulamentação adotada pelos quatro países e indicar orientações para o aprimoramento da regulação no Brasil para introdução da GD, considerando, inclusive, as orientações encontradas na literatura.

6.1. Brasil

O sistema elétrico do Brasil possui um sistema de transmissão com instalações que variam de 750 kV e 138 kV (ONS, 2012a). O sistema de distribuição é formado por instalações com nível de tensão inferior a 230 kV, com uma tensão de fornecimento a consumidores residenciais que varia entre 380 V e 127 V, dependendo do Estado atendido (ANEEL, 2012; ABRADÉE, 2012). A figura a seguir ilustra o Sistema Interligado Nacional – SIN, formado pelo sistema de produção e de transmissão de energia elétrica do Brasil (ONS, 2012a).

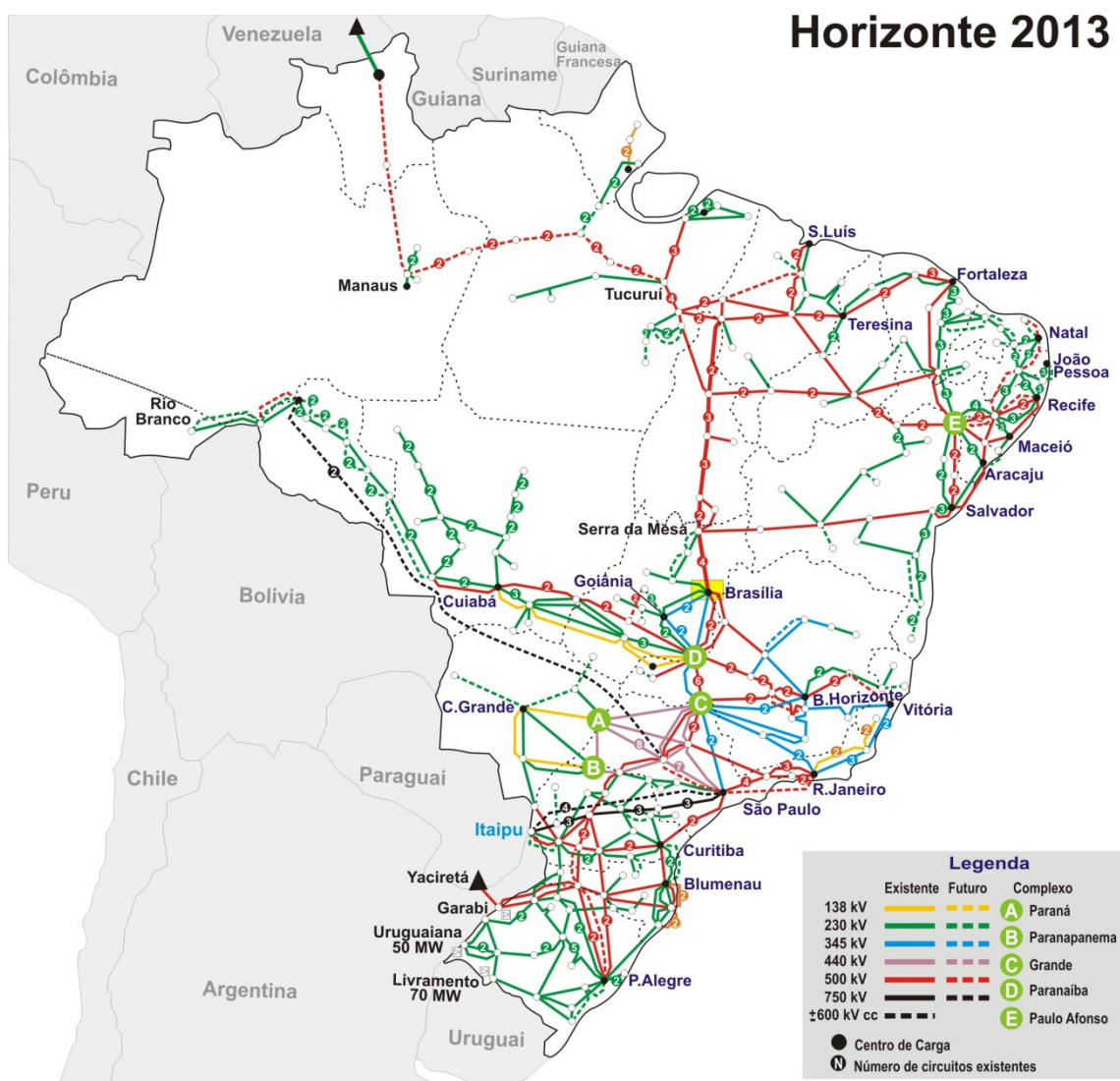


Figura 32: O sistema de transmissão do Brasil (FONTE: ONS, 2012a)

O Brasil possui, atualmente, 64 empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, entre empresas privadas e públicas, federais, estaduais e municipais, além de um conjunto de cooperativas de eletrificação rural que passaram pelo processo de enquadramento como permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2012; ABRADÉE, 2012). A tabela a seguir indica as 10 maiores concessionárias de distribuição no Brasil, segundo a quantidade de consumidores atendidos. Na tabela, ainda, é apresentada a quantidade anual de energia consumida por essas distribuidoras. No ANEXO V desse documento se encontra a relação de todas as concessionárias de distribuição do Brasil, com indicação do grupo econômico ao qual estão filiadas e se são empresas privadas ou empresas públicas.

Tabela 13: As 10 maiores empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil, de acordo com a quantidade de consumidores atendidos (FONTE: ABRADÉE, 2012)

Empresa	Grupo Econômico	Total Consumidores	Total (GWh)
CEMIG	Empresa Pública Estadual	7.273.170	24.401
AES ELETROPAULO	AES	6.314.797	36.756
COELBA	NEOENERGIA	5.079.622	14.925
COPEL	Empresa Pública Estadual	3.915.730	22.284
CPFL PAULISTA	CPFL ENERGIA	3.716.232	20.972
LIGHT	RME	3.698.214	19.877
CELPE	NEOENERGIA	3.054.952	9.786
COELCE	ENDESA	2.967.365	7.981
CELESC	Empresa Pública Estadual	2.420.707	14.584
AMPLA	ENDESA	2.347.902	8.621

O Brasil possui um parque gerador formado predominantemente por usinas hidrelétricas de energia – UHE, que correspondem a 66% da capacidade de geração do país. A tabela 2 apresenta a quantidade de centrais geradoras existente no país, por tipo de usina, com indicação das respectivas potências instaladas. Não foram encontrados dados estruturados sobre o total de capacidade instalada de unidades de GD no país.

Tabela 14: Empreendimentos de geração em operação no Brasil, segundo Banco de Informações de Geração da ANEEL (FONTE: ANEEL, 2012)

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada ¹⁶ (kW)	Potência Fiscalizada ¹⁷ (kW)	% ¹⁸
Central Geradora Hidrelétrica	397	237.084	235.454	0,2
Central Geradora Eolielétrica	82	1.820.378	1.814.982	1,51
Pequena Central Hidrelétrica	434	4.280.117	4.227.873	3,51
Usina Fotovoltaica	11	11.578	7.578	0,01
Usina Hidrelétrica de Energia	204	82.312.467	79.541.974	65,97
Usina Termelétrica de Energia	1.605	34.658.937	32.730.890	27,15
Usina Termonuclear	2	1.990.000	2.007.000	1,66
TOTAL	2.735	125.310.561	120.565.751	100

No Brasil, a GD é definida pelo Decreto 5.163 de 30 de julho de 2004 como sendo a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, com exceção de

¹⁶ A Potência Outorgada é igual à considerada no Ato de Outorga.

¹⁷ A Potência Fiscalizada é igual à considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

¹⁸ Os valores de porcentagem são referentes à Potência Fiscalizada.

empreendimento hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW e termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75% (setenta e cinco por cento). Os empreendimentos termelétricos que utilizam biomassa ou resíduos de processo como combustível não estão limitados ao percentual de 75% de eficiência.

Os dados estruturados encontrados sobre unidades geradoras não fazem distinção entre unidades conectadas no sistema de transmissão e no sistema de distribuição, não permitindo encontrar um número preciso referente à capacidade instalada de GD no país. Deve ser ressaltado, que, de acordo com a definição adotada no Brasil, nem todas as unidades de geração conectadas nesses níveis de tensão podem ser enquadradas como GD, uma vez que não necessariamente estão conectadas no sistema de distribuição do comprador da energia.

Alvim Filho (2010) indica que o total de GD contratado pelas distribuidoras no país até 2009 era de 253 MWmed. Mesmo considerando que esse número tenha crescido após 2009, acredita-se que o percentual da capacidade de geração enquadrada na categoria de GD no país não é representativo perante a capacidade total de geração centralizada, proveniente de grandes usinas. Esse cenário pouco deve mudar no curto prazo, tendo em vista os empreendimentos de geração em construção no Brasil, como pode ser observado na tabela a seguir. A maior parte da capacidade de geração a ser adicionada é proveniente de UHE, correspondendo a 67% da potência dos empreendimentos em construção.

Tabela 15: Empreendimentos de geração em construção no Brasil, segundo Banco de Informações de Geração da ANEEL (FONTE: ANEEL, 2012)

Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	1	848	0
Central Geradora Eolielétrica	79	1.950.296	7,09
Pequena Central Hidrelétrica	48	567.441	2,06
Usina Hidrelétrica de Energia	11	18.370.400	66,75
Usina Termelétrica de Energia	38	5.281.710	19,19
Usina Termonuclear	1	1.350.000	4,91
TOTAL	178	27.520.695	100

O responsável pela regulação do serviço de distribuição de energia elétrica no Brasil é a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Ela foi criada através a Lei 9.427/1998 com atribuições de regular e fiscalizar as atividades de geração, de

transmissão, de distribuição e de comercialização da energia elétrica no país, entre outras atribuições. A ANEEL é a responsável por emitir as Resoluções Normativas que aprovam regras e procedimentos técnicos e comerciais no sentido de regular essas atividades.

No que tange a atividade de distribuição, além das Resoluções Normativas, devem ser destacados os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST e os Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET. O primeiro conjunto de procedimentos são documentos que normalizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e ao desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2012). Eles detalham os procedimentos, critérios e metodologias a serem seguidos pelas empresas concessionárias de distribuição, respeitando as regras estabelecidas nas Resoluções Normativas existentes.

O segundo conjunto de procedimentos tem como objetivo detalhar os procedimentos, critérios e metodologias a serem seguidos nos processos de revisão e ajuste tarifário das concessões do setor elétrico, dentre elas as concessões de distribuição de energia elétrica. Os PRORET têm caráter normativo e consolidam a regulamentação acerca dos processos tarifários no país (ANEEL, 2012).

A partir desse conjunto – Resoluções Normativas, PRODIST e PRORET – os principais documentos regulatórios da distribuição associados à GD no Brasil identificados estão indicados na tabela a seguir. Nela foram acrescentadas as leis e os decretos relacionados ao assunto considerados relevantes para a discussão, identificados ao longo da leitura dos documentos. Deve ser destacado que as resoluções que alteram as resoluções mencionadas não estão sendo explicitadas. Na avaliação dos documentos foram consideradas as versões atualizadas das resoluções indicadas, que incorporam alterações estabelecidas em resoluções emitidas após sua data de publicação¹⁹.

¹⁹ Por exemplo, a RES 271/2007 somente altera a RES 77/2004, não possuindo disposições “próprias”. No site da ANEEL estão disponíveis duas versões da RES 77/2004, a original e a que considera as alterações posteriores, dentre elas a da RES 271/2007. De forma a simplificar a tabela, as resoluções que possuem a mesma característica da RES 271/2007 não foram indicados.

Tabela 16: Documentos regulatórios do Brasil associadas à GD (FONTE: O AUTOR)

Regulamentação	Código	Descrição
Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995	-	Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.
Decreto nº 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.
Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004	REN 077/2004	Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de distribuição para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, entre outras providências
Procedimentos de Regulação Tarifária	PRORET	Consolida a regulamentação acerca dos processos de reajuste e revisão das tarifárias das concessionárias de distribuição, entre outras providências
Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional	PRODIST	Normalizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.
Resolução Normativa nº 349, de 13 de janeiro de 2009	REN 349/2009	Estabelece os critérios para o cálculo locacional da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição aplicável às centrais geradoras – TUSDg conectadas no nível de tensão de 138 kV ou 88 kV, e dá outras providências
Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012	REN 482/2012	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

A tabela a seguir indica a relação entre as regulamentações identificadas e os elementos da regulamentação da distribuição impactados pela introdução da GD, identificados e descritos no Capítulo 4.

Tabela 17: Relação entre a regulamentação do Brasil e os elementos da regulamentação impactados pela introdução da GD (FONTE: O AUTOR)

Regulamentação	Código	Elemento da Regulamentação impactados pela introdução da GD
Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995	-	Desverticalização
Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004 Resolução Normativa nº 349, de 13 de janeiro de 2009 Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012	REN 077/2004 REN 349/2009 REN 482/2012	Tarifa de Uso e Encargo de Conexão
Módulo 2 e Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária	PRORET	4) Modelo de Remuneração do Distribuidor 5) Perdas de Energia 6) Qualidade dos Serviços
Módulo 2 dos Procedimentos de Distribuição	PRODIST	Planejamento da expansão do sistema

Em relação à desverticalização, a Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995 estabelece que as concessionárias, as permissionárias e as autorizadas de distribuição de energia elétrica que atuam no SIN não podem desenvolver atividades de geração e de transmissão de energia elétrica. Uma exceção é prevista para as empresas que atendem a sistemas elétricos isolados e para o atendimento ao mercado próprio, desde que esse seja inferior a 500 (quinhentos) GWh/ano e a totalidade da energia gerada seja a ele destinada.

Em relação ao modelo de remuneração do distribuidor, ele é por incentivo, com definição de um preço máximo para a tarifa cobrada por cada distribuidora. Esse modelo de remuneração foi inicialmente definido nos contratos de concessão de cada distribuidora. Os primeiros contratos de concessão foram assinados em 1997 (ANEEL, 2012) e previam que a tarifa máxima a ser cobrada pelas distribuidoras seria reajustada anualmente, de acordo com a inflação verificada, e revista, de uma forma mais ampla, a cada cinco anos.

Em 2006, foi emitida a REN 234/2006 estabelecendo os conceitos, as metodologias e os procedimentos para o segundo ciclo de revisão periódica da tarifa.

Após essa resolução, com intuito de facilitar o próximo ciclo de revisão, iniciou-se a elaboração dos Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET, que consolida e detalha todos os conceitos, metodologias e procedimentos para o próximo ciclo de revisões tarifárias, compreendido entre janeiro de 2011 e dezembro de 2014 (ANEEL, 2011c).

A receita anual da distribuidora corresponde à receita compatível com a cobertura dos custos operacionais eficientes e com o retorno adequado para o capital investido prudentemente, sendo formada por duas parcelas (ANEEL, 2011c). A primeira parcela, denominada Parcela A, compreende os custos relacionados às atividades de transmissão e geração de energia elétrica, inclusive geração própria, além dos encargos setoriais definidos em legislação específica, cujos montantes e preços escapam à vontade ou gestão da distribuidora. Ela é composta pela soma dos custos de aquisição de energia elétrica e geração própria; custo com conexão e uso dos sistemas de transmissão e/ou de distribuição; e encargos setoriais (ANEEL, 2011c).

A segunda parcela, denominada Parcela B, compreende os custos próprios da atividade de distribuição e de gestão comercial dos clientes, sujeitos ao controle ou influência das práticas gerenciais adotadas pela concessionária. Ela é composta pela soma dos custos de administração, operação e manutenção da distribuidora e o custo anual de seus ativos (ANEEL, 2011c).

Na revisão são consideradas alterações na estrutura de custos e de mercado das concessionárias, os níveis de tarifas observados em empresas similares no contexto nacional e internacional e estímulos à eficiência e à modicidade tarifária (ANEEL, 2011c). Para isso, a revisão faz uso de dois mecanismos, o Reposicionamento Tarifário – RT, que redefine as tarifas em nível compatível com o equilíbrio econômico-financeiro do contrato de concessão – e o Fator X – que tem como objetivo compartilhar com os consumidores os ganhos de produtividade estimados para o período (ANEEL, 2011c).

Nas revisões tarifárias, é calculada a receita idealizada para cada distribuidora, segundo metodologias específicas que definem os custos operacionais eficientes esperados, a remuneração do investimento realizado, a depreciação dos ativos, entre outros. Essa é dividida pela receita verificada, que considera as tarifas em vigor, e o resultado é o RT da distribuidora, que irá ajustar a tarifa para mais ou para menos (ANEEL, 2011c).

Anualmente, nos reajustes tarifários, é aplicado o Índice de Reajuste Tarifário – IRT, que é calculado tendo como base a receita anual de fornecimento, a receita anual de suprimento e a receita anual associada ao uso dos sistemas de distribuição do ano anterior, além do índice de atualização associado ao IGPM e do Fator X (ANEEL, 2011c).

O Fator X tem por objetivo principal garantir que o equilíbrio entre receitas e despesas eficientes, estabelecido no momento da revisão tarifária, se mantenha ao longo do ciclo tarifário. O Fator X é composto por três componentes, os ganhos de produtividade da atividade de distribuição (Pd), a trajetória de custos operacionais (T) e a qualidade do serviço (Q). Os dois primeiros são definidos no processo de revisão tarifária e o último é apurado anualmente em cada reajuste²⁰ (ANEEL, 2011d).

O componente Pd contempla os ganhos de produtividade potenciais associados à distribuição de energia elétrica. Ele é estimado a partir da relação entre o crescimento do mercado faturado e os custos operacionais e de capital associados à atividade de distribuição. Ele leva em consideração uma produtividade média do setor de distribuição – definida no processo de revisão – e variações no número de unidades consumidoras e no consumo de energia no mercado, verificadas no período referente ao reajuste (ANEEL, 2011d).

O componente T tem por objetivo estabelecer uma trajetória na definição dos custos operacionais regulatórios. Quando o valor dos custos operacionais definidos na última revisão, atualizados pelos ganhos de produtividade, estiver contido no intervalo de custos operacionais eficientes definidos através de *benchmarking* com outras distribuidoras, não haverá aplicação do componente T. Caso contrário, será aplicado um percentual limitado a 2% (dois por cento), para mais ou para menos, no sentido a atingir o valor mais próximo da faixa obtida no *benchmarking* (ANEEL, 2011d).

O componente Q tem por objetivo incentivar a melhoria da qualidade do serviço de distribuição ao longo do ciclo tarifário, alterando as tarifas nos processos de reajustes de acordo com o comportamento de indicadores de qualidade. Além desse mecanismo, é previsto nos contratos de concessão das distribuidoras a possibilidade de aplicação de uma penalidade pela ANEEL para as distribuidoras que não atenderem determinados requisitos de qualidade previstos.

²⁰ O componente associado à qualidade do serviço será aplicado a partir dos reajustes tarifários do ano de 2013 (ANEEL, 2011f).

Os índices de qualidade estão associados a indicadores de continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras, a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – DEC e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora – FEC. Anualmente, são apurados os indicadores DEC e FEC de todas as distribuidoras e feita uma comparação entre os resultados obtidos por cada uma, tendo como referência limites definidos pela ANEEL. No cálculo do DEC e FEC são expurgadas as causas externas a distribuidoras, como, por exemplo, falhas no sistema de transmissão (ANEEL, 2011f).

As distribuidoras são separadas em dois grupos, as de grande porte e as de pequeno porte. As distribuidoras de grande porte são aquelas que possuem um mercado faturado acima de 1 TWh/ano no ano da apuração do indicador. As de pequeno porte são todas as demais. Em cada grupo, as distribuidoras são separadas em 3 (três) categorias, as de melhor desempenho, as de pior desempenho e as demais. São consideradas as distribuidoras de melhor desempenho aquelas cujo indicador for inferior ao primeiro quartil dos indicadores individuais das concessionárias dentro do seu grupo. As distribuidoras de pior desempenho são aquelas cujo indicador supere o terceiro quartil (ANEEL, 2011f).

O componente Q é então definido a partir da variação dos indicadores DEC e FEC verificada nos dois últimos anos. Para cada categoria é definido um valor preestabelecido para Q de acordo com a variação verificada no ano do reajuste, podendo esse ser ou positivo – penalizando a distribuidora pelo aumento nos indicadores de continuidade/interrupção – ou negativo – remunerando a distribuidora pela diminuição dos indicadores de continuidade/interrupção – ou nulo. O valor de Q pode variar em 1% (um por cento), para mais ou para menos (ANEEL, 2011f).

Em relação às perdas de energia na rede de distribuição, são considerados dois tipos de perdas, as perdas técnicas e as perdas não técnicas. A primeira é referente às perdas na rede de distribuição inerente aos processos de transporte, de transformação e de medição de energia elétrica. As perdas não técnicas se referem às demais perdas no sistema de distribuição, associadas a furtos de energia, erros de medição, erros no processamento do faturamento, unidades consumidoras sem equipamentos de medição, entre outros (ANEEL, 2011g).

As perdas técnicas são integralmente remuneradas pela TUSD e definidas no processo de reajuste ou revisão tarifária. Anualmente, o valor correspondente a esse tipo de perdas é estimado e inserido no cálculo de definição da TUSD, para que o distribuidor recupere os custos associados (ANEEL, 2012a). Não existe mecanismo

que incentive o distribuidor a reduzir suas perdas técnicas, uma vez que é remunerado integralmente por elas.

Em relação às perdas não técnicas, são estabelecidas metas para esse tipo de perda na revisão e no reajuste tarifário. É realizada uma comparação entre as distribuidoras com áreas de concessão semelhantes, sendo construído um ranking de complexidade no combate às perdas não técnicas, que considera aspectos sócio-econômicos da área de concessão. A meta de perdas não técnicas estabelecida para uma concessionária é definida a partir da comparação com empresas que operam em áreas tão ou mais complexas, mas praticando um nível de perdas em patamar inferior (ANEEL, 2011g).

Caso seja identificado um potencial de redução das perdas não técnicas para uma empresa, é estabelecida uma trajetória de redução das perdas, sendo essa definida de acordo com a complexidade da área de concessão. Os limites de redução podem chegar a 2,5% (dois e meio por cento) ao ano para uma empresa com grandes perdas não técnicas e que opera em área de baixa complexidade (ANEEL, 2011g). Definido o valor das perdas não técnicas a ser considerado no período, esse irá ser inserido no cálculo de definição da TUSD (ANEEL, 2012a).

Em relação ao encargo de conexão ao sistema de distribuição pago pelos proprietários de GD, ele é do tipo encargo raso, ou seja, referente apenas aos custos de conexão ao sistema de distribuição. Eventuais custos de ampliações e reforços ao sistema de distribuição necessários para conexão da GD são de responsabilidade do distribuidor, que será ressarcido através das tarifas de uso.

Em relação à tarifa de uso do sistema de distribuição, diferentes tratamentos são estabelecidos de acordo com a fonte de energia, a capacidade instalada e a localização da unidade de GD. São previstos descontos nas TUSD para as unidades de GD, dependendo da fonte de energia e da capacidade instalada da unidade, incidindo na produção e no consumo da energia. São previstos os seguintes descontos na REN 77/2004:

- Redução de 50% (cinquenta por cento):
 - Empreendimentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 1.000 (mil) kW;
 - Pequena Central Hidrelétrica;

- Empreendimentos que fazem uso de fontes eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada no sistema de distribuição seja menor ou igual a 30.000 (trinta mil) kW.
- Redução de 80% (oitenta por cento):
 - Empreendimentos que fazem uso de fonte solar, para empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, aplicável nos 10 (dez) primeiros anos de operação da usina. Após o décimo ano, redução para 50% (cinquenta por cento) de desconto. Após 31 de dezembro de 2017, novos empreendimentos passarão a ter desconto de 50%.
- Redução de 100% (cem por cento):
 - Empreendimentos que utilizem como insumo energético, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto.

Ainda, é previsto pela REN 349/2009 o cálculo de uma tarifa locacional para unidades geradoras conectadas no nível de tensão de 138 kV ou 88 kV (ANEEL, 2009).

Em relação ao planejamento da expansão do sistema de distribuição, o Módulo 2 dos PRODIST estabelece que as distribuidoras devem considerar as instalações de GD em seus estudos para definição dos planos de expansão de seus sistemas. Contudo, esse quesito não é detalhado, sendo tratado apenas como mais um elemento de rede a ser considerado nos estudos. Não é previsto que a distribuidora deva tomar a GD como alternativa para a expansão do seu sistema (ANEEL, 2011b).

6.2. Comparação da Forma de Regulação da Distribuição entre os Países Considerados na Pesquisa

A tabela a seguir sintetiza de que forma os 4 (quatro) países considerados na pesquisa regulam os elementos elencados no Capítulo 4.

Tabela 18: Síntese dos aspectos da regulamentação da distribuição associados à GD nos quatro países analisados (FONTE: O AUTOR)

Questão(ões) a ser(em) respondida(s)	Regulamentação Brasil	Regulamentação Alemanha	Regulamentação Espanha	Regulamentação Califórnia/EUA
DESVERTIVALIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO				
O distribuidor pode desenvolver atividades de geração de energia elétrica? Caso positivo, em quais circunstâncias?	Sim, com limitações associadas ao mercado atendido pelo distribuidor	Sim, com limitações associadas ao mercado atendido pelo distribuidor	Sim, com limitações associadas ao mercado atendido pelo distribuidor	Sim. Não foram identificadas restrições nesse sentido
MODELO DE REMUNERAÇÃO DO DISTRIBUIDOR				
1) Qual o modelo de remuneração dominante do distribuidor? 2) A introdução de unidades de GD no sistema de distribuição é considerada, de alguma forma, na remuneração do distribuidor? Caso positivo, de que forma?	1) Preço Máximo 2) Não identificado	1) Receita Máxima 2)O número e a capacidade das unidades de GD que utilizam energia eólica e solar são parâmetros considerados na comparação da eficiência entre distribuidores.	1) Receita Máxima 2) Não identificado	1) Custo do Serviço 2) Não identificado

Questão(ões) a ser(em) respondida(s)	Regulamentação Brasil	Regulamentação Alemanha	Regulamentação Espanha	Regulamentação Califórnia/EUA
ENCARGO DE CONEXÃO E TARIFA DE USO				
<p>1) Qual o tipo de encargo de conexão praticado, raso ou profundo?</p> <p>2) Os proprietários de unidades de GD pagam tarifa de uso do sistema de distribuição? Caso positivo elas são fixas ou variáveis? Caso sejam variáveis, quais fatores influenciam sua definição?</p>	<p>1) Encargo raso</p> <p>2) Tarifa varia de acordo com a fonte de energia e o nível de tensão no qual está conectada a unidade de GD</p>	<p>1) Encargo raso</p> <p>2) Não</p>	<p>1) Encargo profundo</p> <p>2) Sim, um valor de 0,5 € / MWh, independente da localização, tipo de tecnologia e capacidade da unidade.</p>	<p>1) Encargo raso</p> <p>2) Sim. Os valores são definidos pelo distribuidor, podendo variar de acordo com a forma de comercialização da energia, a capacidade e a tecnologia da unidade e o horário de geração.</p>

Questão(ões) a ser(em) respondida(s)	Regulamentação Brasil	Regulamentação Alemanha	Regulamentação Espanha	Regulamentação Califórnia/EUA
PLANEJAMENTO DO SISTEMA				
Existe a indicação para que a GD seja considerada como alternativa na expansão do sistema de distribuição?	Não identificado	Não identificado	Não identificado	Sim
PERDAS DE ENERGIA				
<p>1) O distribuidor é incentivado a reduzir as perdas de energia em seu sistema?</p> <p>2) Caso positivo, a introdução de unidades de GD no sistema de distribuição é considerada, de alguma forma, na definição dos valores de referência para as perdas de energia?</p>	<p>1) Sim, mas apenas as perdas não técnicas</p> <p>2) Não</p>	<p>1) Não identificado</p>	<p>1) Sim</p> <p>2) Não identificado</p>	<p>1) Não identificado</p>

Questão(ões) a ser(em) respondida(s)	Regulamentação Brasil	Regulamentação Alemanha	Regulamentação Espanha	Regulamentação Califórnia/EUA
Qualidade do Serviço de Distribuição				
O distribuidor é incentivado a manter os serviços de distribuição em níveis de qualidade pré-definidos? Caso positivo, a introdução de unidades de GD no sistema de distribuição é considerada, de alguma forma, na definição dos valores de referência para a qualidade do serviço de distribuição?	1) Sim 2) Não identificado	1) Sim 2) Não identificado	1) Sim 2) Não identificado	1) Não identificado

Em relação à desverticalização das atividades da distribuição, verificou-se que na Alemanha, na Espanha e no Brasil existem regras que impedem que as empresas que atuam na distribuição executem atividades de geração de energia. Nos três países são previstas exceções para distribuidoras cujo mercado atendido seja pequeno, variando entre os países os critérios que definem o tamanho do mercado. Na Califórnia\EUA essa regra não foi identificada, sendo previsto que os distribuidores podem possuir unidades de geração distribuída, desde que seja a melhor alternativa econômica para expansão do sistema.

Em relação ao modelo de remuneração das atividades da distribuição, verifica-se que a Alemanha e a Espanha praticam o modelo do tipo receita máxima e o Brasil o modelo do tipo preço máximo. Ambos os modelos são formas de remuneração por incentivo. Já a Califórnia\EUA adota um modelo que remunera segundo o custo do serviço. A Alemanha é o único país que considera o número de unidade de GD e a capacidade das unidades no momento da comparação de custos entre os distribuidores.

Em relação à qualidade do serviço de distribuição, verifica-se que Alemanha, Espanha e Brasil fazem uso de indicadores para apurar a qualidade dos serviços de distribuição e para penalizar ou remunerar o distribuidor de acordo com a qualidade verificada. Na Califórnia\EUA não foi identificado um indicador com essa finalidade.

Em nenhum dos três países que possuem indicadores verificou-se algum tipo de diferenciação dos distribuidores segundo o número de unidades e a capacidade instalada de GD existente em suas redes. Na Espanha, os indicadores são diferenciados por tipo de rede de distribuição, urbana, semi-urbana e rural. Os três países adotam indicadores que apuram a duração e a frequência das interrupções, mas somente a Alemanha adota outros indicadores além desses, sendo: a quantidade de energia não suprida e o nível de carga não atendida.

Em relação às perdas de energia na distribuição, verifica-se que somente o Brasil e a Espanha estabelecem metas para controle das perdas de energia, mas a forma de controle das perdas é bastante distinta entre os dois países. O Brasil faz distinção entre as perdas técnicas e as perdas não técnicas e possui metodologia de controle somente para esse último tipo de perdas. Na Espanha não existe essa diferenciação, sendo controladas as perdas técnicas e não técnicas, uma vez que é utilizado o valor faturado pela distribuidora para desconto na energia recebida pelo distribuidor e cálculo das perdas.

O impacto na remuneração do distribuidor também é distinto entre os dois países. No Brasil, esse impacto irá variar, dependendo do volume das perdas não técnicas existente e do valor da energia, podendo ser traçada uma trajetória de redução dessas perdas. Na Espanha, o distribuidor é recompensado ou penalizado em uma faixa que varia entre mais ou menos 1% (um por cento) de sua remuneração.

Em relação aos encargos de conexão ao sistema de distribuição, verifica-se que Alemanha, Brasil e Califórnia\ EUA praticam encargo do tipo raso, ou seja, o proprietário da GD arca apenas com os custos de conexão à rede. A Espanha é o único país entre os 4 (quatro) que pratica encargo do tipo profundo, ou seja, o proprietário da GD é responsável financeiramente pelos custos de ampliações e reforços no sistema de distribuição, decorrentes da conexão da GD à rede.

Em relação às tarifas de uso do sistema de distribuição, verifica-se que cada país adota uma regra distinta. Na Alemanha, o proprietário da GD não paga pelo uso do sistema de distribuição, independentemente da capacidade, da tecnologia, da localização e do horário de geração de sua unidade. Na Espanha, o proprietário da GD paga uma tarifa fixa de 0,5 euros/ MWh, independentemente da capacidade, da tecnologia, da localização e do horário de geração de sua unidade.

No Brasil, o valor pago pela tarifa de uso varia de acordo com a fonte de energia utilizada pela unidade de GD, podendo ser aplicada uma redução de 50% (cinquenta por cento), 80% (oitenta por cento) ou 100% (cem por cento), dependendo da fonte utilizada. Também é prevista uma diferenciação associada à localização da unidade de GD, caso essa esteja conectada no nível de tensão de 138 kV ou 88 kV. Na Califórnia\ EUA, é adotada uma tarifa de uso fixa. Contudo, o distribuidor pode fornecer descontos incentivando a geração de acordo com o horário de geração.

Em relação ao planejamento da expansão do sistema de distribuição, verifica-se que apenas na Califórnia\ EUA os distribuidores são orientados a considerar a GD como uma alternativa nos estudos de expansão do sistema de distribuição.

6.3. Orientações para Aprimoramentos da Regulação da Distribuição no Brasil

A seguir serão descritas as orientações sobre como a regulação da distribuição no Brasil pode ser aprimorada buscando incentivar a introdução da GD no país de forma eficiente, explorando os benefícios de sua adoção e tratando os impactos

negativos. Primeiramente, em relação à desverticalização, acredita-se que as regras em vigor possam ser aprimoradas, de forma a potencializar os benefícios decorrentes da introdução de GD no sistema de distribuição, em especial referente aos custos com ampliações e reforços na rede. As regras atuais impostas aos distribuidores – associadas, especialmente, ao tamanho do mercado atendido - restringindo que esses desenvolvam atividades de geração podem ser revistas.

A lógica atual foi concebida considerando a atividade de geração sendo realizada, predominantemente, através de grandes usinas localizadas distantes dos centros de consumo. Acredita-se que uma diferenciação entre geração centralizada e geração distribuída possa ser introduzida na regra atual. Na Califórnia\ EUA práticas nesse sentido já são adotadas, permitindo o distribuidor possuir unidades de GD, caso seja economicamente favorável. Determinados autores, como, por exemplo, Piccolo e Siano (2009) defendem a criação de regras específicas que permitam o distribuidor possuir unidades de GD. Tais regras têm como objetivo minimizar a possibilidade de discriminação de investidores que desejem conectar unidades de GD na rede.

Uma possibilidade seria permitir o distribuidor possuir unidade de GD quando demonstrasse através de estudos específicos para o regulador que a implantação da unidade em um determinado ponto da rede é economicamente mais vantajosa do que investir em infraestrutura da rede ou que a eficiência global do sistema pode ser melhorada sem alterar a competitividade do mercado de energia elétrica (PICCOLO E SIANO; 2009).

Uma outra alternativa, sugerida por Piccolo e Siano (2009), seria introduzir uma obrigação para o distribuidor considerar a GD como uma alternativa para reforços na rede e, posteriormente, realizar uma licitação de contratos de geração em pontos de conexão predeterminados. Caso não existam investidores interessados, o distribuidor estaria habilitado a investir na unidade de GD. Siano et al. (2008) também sugerem iniciativas dessa natureza, através da permissão ao distribuidor para possuir unidades de GD que gerem energia somente nos horários de pico, de forma a postergar e/ou eliminar a necessidade de reforços na rede.

Em relação ao planejamento da expansão do sistema de distribuição, percebe-se que, considerando o exposto acima, ele possui forte relação com elemento de desverticalização. Acredita-se deve ser considerada a possibilidade de implantação de unidades de GD como alternativa para ampliações e reforços na rede de distribuição. Além disso, nesses casos, redução de perdas de energia também deve ser um critério para definição da melhor alternativa para expansão.

Uma alternativa para viabilização da instalação de GD nos locais indicados nos estudos de planejamento seria permitir que as empresas constituíssem parcerias com investidores para implantar unidades de GD em locais que trouxessem ganhos para o sistema. A distribuidora seria responsável pela operação e manutenção da unidade de GD e o investidor seria remunerado pela comercialização da energia produzida e/ou pela prestação de serviços ancilares da unidade para o sistema de distribuição.

Nesse sentido, podem ser previstos diferentes modelos de desenvolvimento da GD que promovam a interação do distribuidor com investidores, e até mesmo com consumidores, como, por exemplo, os propostos por Sauter e Watson (2007), ilustrados na figura abaixo.

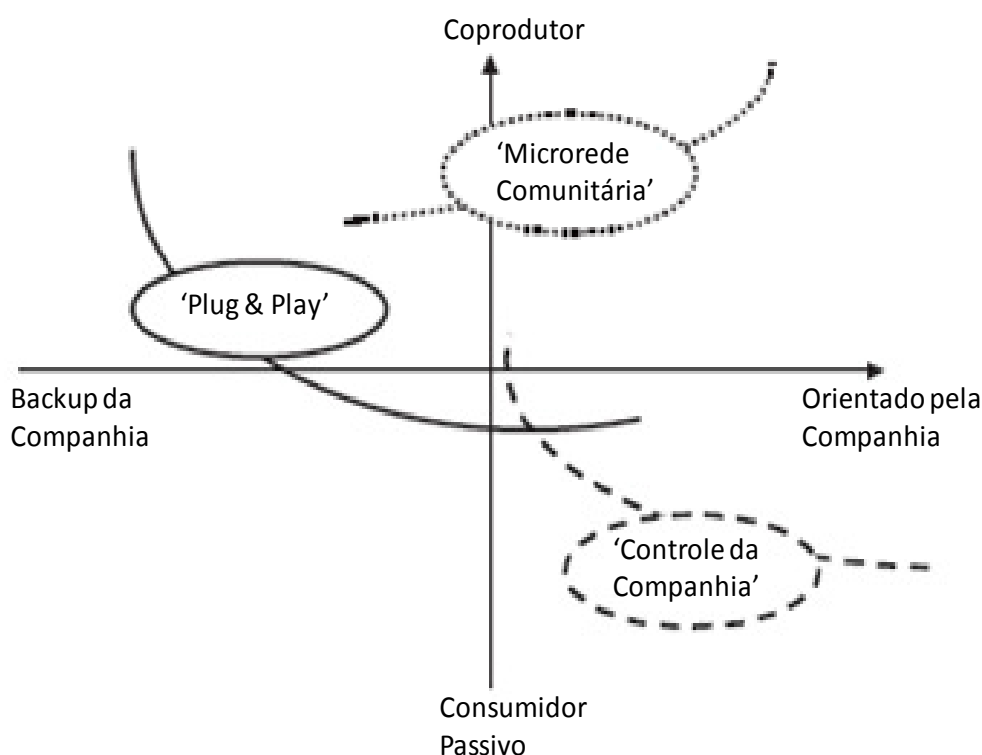


Figura 33: Modelos de desenvolvimento de GD (Fonte: Adaptado de SAUTER E WATSON, 2007)

O modelo do tipo “Plug & Play” é inspirado na ideia de que a GD permite que os consumidores sejam menos dependentes dos fornecedores tradicionais de energia. Nesse modelo, a unidade de GD é propriedade e é financiada pelo proprietário da instalação na qual a unidade é instalada. Dependendo do mecanismo de recompensa induzido pela regulação, o consumidor pode mudar seu padrão de consumo de energia, podendo escolher por maximizar sua receita através da exportação de

energia para a rede ou maximizar sua produção para consumo próprio. Nessa situação, é fundamental que a regulação em vigor possibilite que o consumidor seja induzido a operar em sinergia com a operação da rede de distribuição.

O modelo “Controle da Companhia” é baseado na ideia de que as empresas podem usar um conjunto de unidades de GD em substituição à geração centralizada. Ele prevê um papel mais passivo dos consumidores, que somente proveem o local para a instalação das unidades de GD, que são propriedade de uma empresa de serviços de energia ou da própria concessionária de distribuição. Nesse caso, é mais simples, teoricamente, que as unidades sejam operadas de acordo com as necessidades da concessionária, resultando em ganhos operacionais para todo o sistema.

No modelo de “Microrede Comunitária” os consumidores e/ou instituições de uma determinada região geográfica decidem se unir e compartilhar seus recursos para desenvolver negócios a partir de unidades de GD. Os envolvidos compartilham os lucros obtidos pela operação das unidades de GD. Assim como no modelo “Plug & Play”, a regulação deve induzir que a orientação dos envolvidos no negócio para o lucro tenha sinergia com as necessidades da operação da rede de distribuição.

Assumindo a possibilidade de existência de modelos análogos aos descritos acima, nos casos em que for vantajosa a instalação de unidades de GD em determinados pontos da rede, promovendo um ganho global para o sistema, a distribuidora poderia se associar a um ou mais consumidores e instalar unidades de GD e desenvolver modelos do tipo “Controle da Companhia” ou “Microrede Comunitária”. Nesses casos, ela teria influência na localização e na operação das unidades proporcionando benefícios para o seu negócio e os compartilhando com os demais consumidores envolvidos (SAUTER E WATSON, 2007).

Em relação ao modelo de remuneração do distribuidor, acredita-se que ele deva ser aprimorado no sentido de considerar os impactos da entrada da GD nos custos e receitas do distribuidor. O cálculo atual de alguns componentes que definem sua remuneração é impactado com o aumento da penetração da GD, como é o caso, por exemplo, do cálculo dos custos operacionais definidos pelo Modelo de Empresa de Referência e do cálculo da produtividade da atividade de distribuição.

O primeiro é impactado na medida em que o aumento da penetração da GD provavelmente irá alterar as atividades realizadas pelas distribuidoras, uma vez que demandará execução de novas atividades e alteração nas atividades executadas

atualmente, podendo impactar sua estrutura organizacional “típica”. Além disso, possivelmente os relacionamentos do distribuidor com os usuários conectados em seu sistema de distribuição se tornarão mais complexos e, eventualmente, mais numerosos.

O cálculo da produtividade da atividade de distribuição também sofre impactos, na medida em que é calculado levando em consideração o número de consumidores atendidos, a energia consumida e a extensão da rede de distribuição, além dos custos operacionais do distribuidor. A introdução de novos GD pode provocar uma queda na energia consumida e um aumento dos custos operacionais do distribuidor, refletindo diretamente no cálculo da produtividade do distribuidor.

Além da reavaliação dos cálculos para definição da remuneração do distribuidor, outros aspectos que influenciam em sua remuneração também podem ser reavaliados, como, por exemplo, de que forma a diminuição na energia consumida – em decorrência da geração própria de energia por parte de consumidores - impacta as suas receitas. O tratamento inadequado dessa questão pode resultar em um aumento da tarifa de uso do sistema para todos os consumidores ou em prejuízos financeiros para o distribuidor, tal como ocorreu na Espanha. Ainda, a consideração da quantidade de GD e dos tipos de tecnologias conectadas no sistema de distribuição como critério para categorização de distribuidores para realização do *benchmarking* entre empresas também pode ser avaliada quando a GD atingir níveis elevados de penetração, assim como é feito na Alemanha.

Por fim, acredita-se a própria definição de um modelo de remuneração único para todos os distribuidores possa ser reavaliada. Diversos autores apontam uma associação entre o estágio de desenvolvimento da rede de distribuição e o modelo de remuneração mais adequado. Percebe-se que no Brasil existem regiões que possuem sistemas com níveis de desenvolvido significativamente distintos e que talvez devam ser tratados de formas distintas na definição da forma de remuneração do serviço de distribuição.

Em relação à qualidade dos serviços de distribuição, as recentes alterações no modelo de remuneração dos distribuidores que incentivam a melhoria da qualidade no suprimento de energia parecem adequadas, contudo esse item também é passível de melhorias. Os incentivos para aumento da qualidade do serviço de distribuição são defendidos na literatura – como, por exemplo, por Cossent et al. (2009); Frías et al. (2009) – e adotados em alguns países, como visto nos casos da Espanha e da Alemanha. Acredita-se que com a possibilidade de introdução da GD no sistema de

distribuição maiores níveis de qualidade podem ser almejados, na medida em que a GD habilita novas alternativas na operação do sistema, como por exemplo a operação em ilha.

Interrupções que atualmente são expurgadas do cálculo dos indicadores de continuidade, como falhas na geração e na transmissão de energia, podem ser consideradas em indicadores que avaliam a qualidade do serviço de distribuição, remunerando o distribuidor caso mantenha esses indicadores elevados. Cargas consideradas críticas, como, por exemplo, hospitais, aeroportos, estações de tratamento de água, entre outros, podem ser supridas por unidades de GD em caso de interrupções decorrentes de falhas na geração e na transmissão. Ao invés desses consumidores críticos arcarem com os custos de instalação e de operação de geradores de *backup* particulares, o distribuidor de sua região poderia ser induzido a projetar sua rede de forma a garantir um elevado índice de continuidade no suprimento.

Em relação às perdas de energia, os distribuidores podem ser incentivados a reduzir as perdas de energia, técnicas e não técnicas. Tal prática é defendida na literatura – como, por exemplo, por Cossent et al. (2009); Frías et al. (2009) – e adotada em alguns países, conforme visto no caso da Espanha. Atualmente, no Brasil, os distribuidores somente são incentivados a manter as perdas não técnicas dentro de padrões de referência, calculados a partir de dados de outras distribuidoras. A GD pode ajudar em ambos os casos.

No caso das perdas técnicas, a instalação de unidades de GD em determinados pontos da rede é capaz de reduzir a quantidade total de perdas técnicas. Podem ser criados mecanismos para remuneração do distribuidor e dos proprietários de unidade de GD de forma incentivar a redução das perdas técnicas. No caso dos distribuidores, uma parcela referente a perdas técnicas poderia ser introduzida no cálculo do “Fator-X”, por exemplo. No caso dos proprietários de unidades de GD, caso sua geração seja capaz de contribuir para a redução das perdas no sistema eles poderiam ser incentivados e remunerados através da tarifa de uso da rede – assunto a ser abordado adiante.

Em relação a perdas não técnicas, a GD também pode contribuir para sua redução. Por exemplo, em analogia ao indicado por Sauter e Watson (2007), podem ser desenvolvidos programas voltados para instalação de unidades de GD em áreas pobres com elevado índice de furto de energia. Os consumidores poderiam ser remunerados pela energia gerada e por um eventual benefício proporcionado à rede.

Tal iniciativa traria o benefício de reduzir o subsídio existente aos consumidores de baixa renda – atualmente eles pagam tarifas menores que os consumidores convencionais – além de reduzir o furto de energia, através do maior controle na energia produzida e consumida pelas unidades. Além disso, essa situação criaria um “desincentivo” ao roubo de energia gerada na região.

Em relação aos encargos de conexão, acredita-se que o tipo de encargo praticado atualmente no Brasil, encargo raso, é o mais adequado. Ele é coerente com o praticado em diversos países e com o recomendado na literatura, como, por exemplo, por Cossent et al. (2009) e Frías et al. (2009).

Em relação às tarifas de uso do sistema de distribuição, acredita-se que a forma atual de cobrança possa ser aprimorada. É indicado na literatura que as tarifas reflitam o custo ou benefício decorrente da instalação de GD. A adoção da tarifa locacional pode ser expandida para outros níveis de tensão, não ficando limitada aos níveis atuais de 138 kV e 88 kV. Para isso, não necessariamente a metodologia atual para cálculo da tarifa locacional precisa ser alterada. Podem ser criadas regras mais simples indicando valores distintos somente em função do nível de tensão ao qual a unidade está conectada. A diferenciação da tarifa de unidades localizadas em áreas urbanas e rurais também pode ser praticada.

As reduções aplicadas para os diversos tipos de fontes, sem relação com os impactos provocados pela introdução das unidades de GD, criam problemas na forma de remuneração do distribuidor e repassam os custos das unidades de GD para os consumidores conectados à rede, podendo resultar em aumento da tarifa para os demais usuários da rede e/ou um prejuízo para o distribuidor. Um exemplo a ser considerado é o caso da Espanha, onde recentemente a tarifação do uso do sistema de distribuição por unidades de GD foi alterada para corrigir distorções na cobrança pelo uso do sistema de distribuição.

Diversos autores apontam soluções análogas às descritas. De Joode et al. (2009), Cossent et al. (2009) e Frías et al. (2009) defendem que a tarifa deve ser locacional e horária, podendo ser positiva ou negativa. Unidades de GD em níveis mais baixos de tensão e produzindo em horário de pico devem ser incentivadas, pois, como regra geral, resultam em redução nas perdas de energia e na postergação e/ou eliminação de investimentos na rede (FRÍAS ET AL., 2009). Na Califórnia\ EUA práticas dessa natureza já são adotadas. Ainda, segundo Cossent et al. (2009), elas devem levar em consideração as particularidades de cada rede de distribuição e sua

metodologia de definição deve ser adaptada a medida que a GD atingir níveis significativos de penetração.

Em relação à possibilidade da tarifa ser negativa, ela é importante na medida que o distribuidor deixa de receber lucros decorrentes de benefícios proporcionados pela unidade de GD e o proprietário da unidade passa a ter ciência do benefício proporcionado ao sistema, além de ser remunerado por ele (COSSENT ET AL., 2009). Por fim, especial atenção deve ser despendida na relação entre a tarifa de uso e os mecanismos de incentivo estabelecidos para os proprietários de GD (COSSENT ET AL., 2009; FRÍAS ET AL., 2009), de forma que os demais usuários da rede e/ou os distribuidores não sejam sobretaxados para incentivar a difusão da GD.

Por fim, acredita-se que, cedo ou tarde, a introdução da GD em larga escala irá ocorrer no país. Essa introdução pode seguir diferentes trajetórias, resultando em diferentes configurações específicas da rede física – englobando não só a infraestrutura do sistema de distribuição, mas também os níveis de penetração e de concentração das unidades de GD e os diferentes tipos de tecnologias adotadas. Conforme visto no trabalho, as diferentes configurações poderão resultar em benefício ou prejuízo para o distribuidor e os usuários envolvidos, dependendo da forma de regulação dos elementos apontados no trabalho que seja adotada no país. A figura a seguir ilustra essa situação.

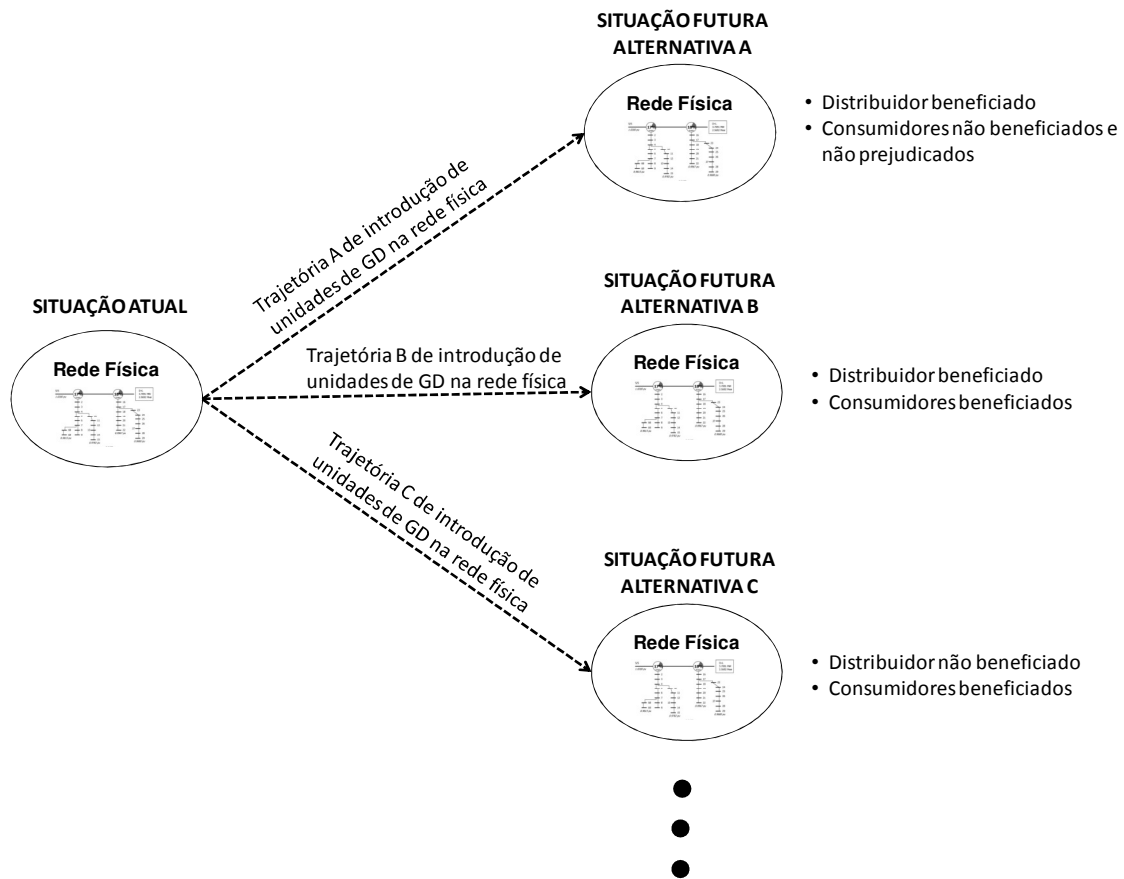


Figura 34: Diferentes trajetórias de introdução de GD na rede de distribuição e possíveis impactos dessa introdução (FONTE: O AUTOR)

Dessa forma, a definição da regulação da distribuição deve sempre buscar o incentivo a uma trajetória que beneficie ambas as partes diretamente envolvidas, o distribuidor, os consumidores e os proprietários de unidades de GD a ele conectados. Modelos que avaliam e quantificam o impacto da introdução da GD na rede física – tal como o exposto por De Joode et al. (2009) para uma rede de distribuição genérica – devem ser utilizados tanto na definição de políticas, diretrizes e regras para cada elemento quanto na orientação de atuação do distribuidor, proporcionando benefícios para todos os atores envolvidos.

7. Considerações Finais

Nesse capítulo será realizada uma síntese do trabalho, explicitando sua estrutura e os principais resultados alcançados. Em seguida, serão listadas as principais contribuições da pesquisa e serão explicitadas suas limitações. Por fim, serão sugeridas pesquisas futuras, vislumbradas ao longo da elaboração da pesquisa.

7.1. Síntese do Trabalho

O trabalho se propôs a conceber orientações para melhorias na regulação da distribuição do Brasil para introdução em larga escala da Geração Distribuída – GD no país. As melhorias indicadas buscam facilitar a introdução da GD no país, explorar os benefícios da conexão da GD no sistema elétrico e mitigar os problemas resultantes de sua implantação em larga escala. Para isso, inicialmente, foi realizada a caracterização do termo Geração Distribuída, a partir das três referências mais utilizadas em sua definição. A discussão sobre sua definição não evoluiu desde esses trabalhos, uma vez que os artigos recentes discutem sobre os mesmos aspectos abordados nos mais citados. Contudo, é possível perceber uma consolidação em torno do termo ‘geração distribuída’, apesar de não existir um consenso em torno de uma definição única.

Em seguida, foi descrita a forma de funcionamento, as vantagens e as desvantagens das principais tecnologias de GD, tanto as que fazem uso de fonte não renováveis – motor de combustão interna alternativo, microturbina a gás, motor Stirling e célula a combustível – quanto as que fazem uso de fontes renováveis – turbina eólica, sistemas fotovoltaicos, biomassa e pequenos aproveitamentos hidráulicos. Também foram identificados e descritos os principais impactos técnicos decorrentes da introdução da GD em um sistema de distribuição, a alteração no fluxo de potência, a alteração nos sistemas de proteção e a alteração na qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores.

Após essa contextualização, foram listados os elementos de regulação da distribuição de energia elétrica que devem ser reavaliados com a introdução da GD, obtidos a partir do conjunto de artigos identificados na revisão bibliográfica. Os elementos identificados foram: (1) a desverticalização da distribuição; (2) o modelo de remuneração do distribuidor; (3) os encargos de conexão e as tarifas de uso do sistema de distribuição; (4) o planejamento da expansão do sistema de distribuição;

(5) as perdas de energia na rede de distribuição; e (6) a qualidade de energia fornecida pela distribuidora. Cada elemento foi descrito e foram apresentadas as propostas de regulação desses elementos, identificadas nas referências sobre o assunto.

Após identificação dos elementos que devem ser reavaliados para introdução da GD em grandes níveis no país, foi realizada uma avaliação de como Alemanha, Espanha e EUA\Califórnia e Brasil regulam esses elementos, de forma a obter subsídios para proposições de aprimoramentos para a regulamentação brasileira da distribuição. Comparando a regulação dos quatro países considerados com as orientações da literatura, percebe-se que as formas de regulação adotadas pelos países ainda se encontram distantes do indicado pela literatura sobre o assunto. Apesar de não ser possível indicar razões para tal fato, pode-se atribuí-lo a alguns fatores, como a estágio inicial de adoção da GD nos países, a não consolidação do assunto na literatura e o elevado tempo de adequação da regulação de um país. Tais fatores podem ajudar a compreender o porque das orientações de literatura divergirem da prática dos países estudados.

Após a comparação da regulação entre os quatro países, foi proposto um conjunto de orientações para a melhoria da regulação da distribuição no Brasil, vinculadas aos seis elementos identificados anteriormente como relevantes. Em relação à desverticalização da distribuição acredita-se que as regras em vigor possam ser aprimoradas, de forma a potencializar os benefícios decorrentes da introdução de GD no sistema de distribuição, em especial o referente a diminuição dos custos com ampliações e reforços na rede. Acredita-se que uma diferenciação entre geração centralizada e geração distribuída possa ser introduzida na regra atual, com a criação de regras específicas que permitam o distribuidor possuir unidades de GD. Por exemplo, poderia ser permitido que o distribuidor possua unidade de GD quando demonstrar, através de estudos específicos para o regulador, que a implantação da unidade em um determinado ponto da rede é economicamente mais vantajosa do que investir em infraestrutura da rede.

Em relação ao planejamento da expansão do sistema, verifica-se que ele possui forte relação com elemento de desverticalização. Acredita-se que a possibilidade de implantação de unidades de GD deve ser considerada nos estudos de planejamento, como alternativa a ampliações e reforços na rede de distribuição. Em relação ao modelo de remuneração do distribuidor, acredita-se que ele deva ser aprimorado no sentido de considerar os impactos da entrada da GD. O cálculo atual de alguns

componentes que definem sua remuneração é diretamente impactado pela penetração da GD no sistema elétrico, como é o caso, por exemplo, do cálculo dos custos operacionais definidos pelo Modelo de Empresa de Referência e do cálculo da produtividade da atividade de distribuição.

Outros aspectos que influenciam a remuneração do distribuidor também podem ser reavaliados, como, por exemplo, a forma como a remuneração do distribuidor é impactada pela diminuição da energia demandada pelos consumidores – uma vez que ela deve se acentuar com a penetração em larga escala da GD no sistema – e os critérios de categorização dos distribuidores para realização dos *benchmarks* entre empresas – considerando, por exemplo, a quantidade de GD e os tipos de tecnologias conectadas no sistema de distribuição. Ainda em relação ao modelo de remuneração, acredita-se a própria definição de um modelo de remuneração único para todos os distribuidores do Brasil possa ser reavaliada, tendo em vista os diferentes estágios de desenvolvimento dos sistemas de distribuição no país.

Em relação à qualidade do serviço as recentes alterações no modelo de remuneração dos distribuidores que incentivam a melhoria da qualidade no suprimento de energia parecem ser adequadas, contudo o item também é passível de melhorias. Acredita-se que, com a possibilidade de introdução da GD no sistema de distribuição, maiores níveis de qualidade podem ser almejados, na medida em que a GD habilita novas alternativas na operação do sistema, como por exemplo a operação em ilha.

Em relação às perdas de energia os distribuidores podem ser incentivados a reduzir as perdas de energia, técnicas e não técnicas. Podem ser criados mecanismos para remuneração do distribuidor e dos proprietários de unidade de GD de forma a incentivar a redução das perdas técnicas. Quanto às perdas não técnicas, também podem ser desenvolvidos mecanismos para sua redução, como, por exemplo, com criação de programas voltados para instalação de unidades de GD em áreas pobres com elevado índice de furto de energia.

Em relação aos encargos de conexão acredita-se que o tipo de encargo praticado atualmente no Brasil, encargo raso, é o mais adequado. Já quanto à tarifa de uso acredita-se que a forma atual de cobrança possa ser aprimorada. As tarifas devem refletir o custo ou o benefício decorrente da instalação de GD, devendo ser locacional e horária, podendo ser positiva ou negativa. A adoção da tarifa locacional pode ser expandida para outros níveis de tensão, não ficando limitada aos níveis atuais de 138 kV e 88 kV.

Além disso, as reduções atualmente aplicadas para os diversos tipos de fontes, sem relação com os impactos provocados pela introdução das unidades de GD, devem ser reavaliadas. Elas criam problemas na forma de remuneração do distribuidor e repassam os custos das unidades de GD para os consumidores conectados à rede, podendo resultar em aumento da tarifa para os demais usuários da rede e/ou um prejuízo para o distribuidor. Por fim, especial atenção deve ser despendida na relação entre a tarifa de uso e os mecanismos de incentivo estabelecidos para os proprietários de GD, de forma que os demais usuários da rede e/ou os distribuidores não sejam sobretaxados para incentivar a difusão da GD.

7.2. Contribuições e Limitações da Pesquisa

Primeiramente, deve ser destacado que o trabalho se trata de uma pesquisa exploratória, que tem como objetivo desenvolver conceitos e ideias sobre temas pouco explorados, buscando a formulação de problemas mais precisos para estudos posteriores. Pode-se dizer que tanto o tema Geração Distribuída quanto o tema regulação da distribuição são pouco consolidados, especialmente no Brasil, apesar de ambos não serem necessariamente temas novos. Assim, acredita-se que as principais contribuições do trabalho são no sentido de proporcionar uma visão geral dos objetos abordados e fornecer subsídios para pesquisas futuras.

Seguindo essa linha de pensamento, pode ser destacada como principal contribuição, a explicitação de como a GD impacta a regulação da distribuição, com destaque para a indicação de um conjunto de elementos da regulação que devem ser reavaliados para introdução em larga escala da GD. Além da simples explicitação, a indicação de possibilidades de alterações na regulação em vigor no Brasil também merece ser destacada, apesar de se reconhecer que uma efetiva alteração requer maiores aprofundamentos.

Além das contribuições indicadas acima, a revisão bibliográfica realizada e a apresentação de como outros países tratam o assunto também podem ser destacadas. Acredita-se que o leitor que deseje se aprofundar nas questões abordadas na pesquisa possa utilizar o trabalho desenvolvido como um ponto de partida, especialmente para identificação de referências bibliográficas e para localização dos documentos regulatórios dos países considerados. Para os leitores que não querem se aprofundar no tema, apenas almejam conhecê-lo superficialmente, o trabalho fornece uma visão geral sobre conceitos associados à Geração Distribuída,

suas tecnologias e seus impactos no sistema elétrico, o que também pode ser considerado como uma contribuição relevante.

Como principal limitação da pesquisa realizada, pode ser mencionado o fato de que ela não abordou todos os elementos relacionados à introdução da GD em um país, com destaque para os mecanismos de incentivo e a comercialização da energia gerada, mesmo sabendo que esses se relacionam, em algum grau, com os elementos abordados. Optou-se por restringir o escopo da pesquisa, uma vez que a regulação das atividades de distribuição já é um tema demasiadamente amplo.

Além disso, deve ser destacada como limitação a não realização de entrevistas com especialistas no setor de distribuição dos países abordados. É reconhecido que a regulação de um país é um objeto complexo e que possui diversos detalhamentos e especificidades. É possível que entrevistas com especialistas no assunto fornecessem outras perspectivas sobre as questões abordadas. Contudo, tendo em vista o caráter exploratório da pesquisa, acredita-se que essas limitações não invalidam os resultados obtidos.

7.3. Sugestões de Pesquisas Futuras

Como sugestões de pesquisas futuras, com base no apresentado pelo trabalho, pode ser indicado, primeiramente, a expansão do escopo da análise dos elementos impactados pela introdução em larga escala da GD, considerando outros elementos da regulação do setor elétrico não considerados. Elementos como os mecanismos de incentivo aos proprietários de unidades de GD e as regras de comercialização da energia produzida – como, por exemplo, a adoção de um sistema de preços ou um sistema de quotas favorecendo a compra e venda da energia gerada pelas unidades de GD – podem ser considerados. Os impactos nas outras atividades da cadeia de energia elétrica – como a geração e a transmissão – também podem ser investigados.

Além do aumento do escopo do objeto estudado, também é possível avançar no aprofundamento das questões tratadas e indicadas no documento. Uma investigação mais detalhada de como a regulação da distribuição no Brasil pode ser alterada também pode ser realizada. Por exemplo, podem ser concebidas propostas de nova metodologia para o planejamento da expansão do sistema a ser adotada na distribuição ou de formas de incentivo ao distribuidor para aumento da qualidade dos serviços prestados e para redução das perdas no sistema de distribuição, ambas considerando a possibilidade de introdução de unidades de GD no sistema de

distribuição. A concepção de modelos para análise dos impactos nos custos operacionais do distribuidor com a entrada de unidades GD em diferentes níveis de penetração e com diferentes tipos de tecnologias em sistemas de distribuição reais brasileiros também pode ser objeto de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, T., ANDERSSON, G., SÖDER, L. “Distributed generation: a definition”, *Electric Power Systems Research*, v. 57, pp. 195–204, 2001

ADLER, M.; VAN DOREN, C. “How to read a book: A guide to reading the great books”. New York: Simon & Schuster, 1967

ALVIM FILHO, A. C. “Geração Distribuída com Fontes Renováveis (Situação Atual e Expectativas)”. Encontro de Energias Inteligentes, 1ª Edição, Apresentação Especialista em Regulação, SRG/ANEEL, Londrina, Paraná, novembro de 2010

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Estabelece os procedimentos para prestação de serviços ancilares de geração e distribuição.” Resolução ANEEL Nº 265, de 10 de junho de 2003.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW”. Resolução Normativa Nº 77, de 18 de agosto de 2004

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Estabelece os critérios para o cálculo locacional da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição aplicável às centrais geradoras – TUSDg conectadas no nível de tensão de 138 kV ou 88 kV, e dá outras providências”. Resolução Normativa Nº 349, de 13 de janeiro de 2009

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004”. Resolução Normativa Nº 481, de 17 de abril de 2012a

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “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”. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012b

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, “Proposta de abertura de Audiência Pública para o recebimento de contribuições visando reduzir as barreiras para a instalação de geração distribuída de pequeno porte, a partir de fontes

incentivadas, conectada em tensão de distribuição e também alteração do desconto na TUSD e TUST para usinas com fonte solar”. Nota Técnica nº 0025/2011, junho de 2011a

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 2: Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição” Revisão 3.0, Data de Vigência: 01 de dezembro de 2011b

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Regulação Tarifária – Submódulo 2.1: Procedimentos Gerais” Revisão 1.0, Data de Vigência: 11 de novembro de 2011c

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Regulação Tarifária – Submódulo 2.2: Custos Operacionais” Revisão 1.0, Data de Vigência: 11 de novembro de 2011d

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Regulação Tarifária – Submódulo 2.3: Base de Remuneração Regulatória” Revisão 1.0, Data de Vigência: 11 de novembro de 2011e

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Regulação Tarifária – Submódulo 2.5: Fator X” Revisão 1.0, Data de Vigência: 11 de novembro de 2011f

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Regulação Tarifária – Submódulo 2.6: Perdas de Energia” Revisão 1.0, Data de Vigência: 11 de novembro de 2011g

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Regulação Tarifária – Submódulo 2.8: Geração Própria de Energia” Revisão 1.0, Data de Vigência: 11 de novembro de 2011h

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Regulação Tarifária – Submódulo 7.1: Procedimentos Gerais” Revisão 1.1, Data de Vigência: 02 de julho de 2012a

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “Procedimentos de Regulação Tarifária – Submódulo 7.3: Tarifas de Aplicação” Revisão 1.1, Data de Vigência: 02 de julho de 2012b

BAHIA, G. C.; MEIRA, L. H.; ROCHA, M. S. W.; DE OLIVEIRA, M. R. G. “GLOSSÁRIO DE TERMOS UTILIZADOS NA REGULAÇÃO DOS SERVIÇOS PÚBLICOS E DE INFRA-ESTRUTURA”. Baseado na Obra original em inglês “GLOSSARY FOR THE BODY OF KNOWLEDGE ON INFRASTRUCTURE REGULATION” Public Utility Research Center, University of Florida, 2008

BAUKNECHT, D., BRUNEKREEFT, G., “Distributed Generation and the Regulation of Electricity Networks”. In: Sioshansi, F. P. (ed), *Competitive Electricity Markets – Design, Implementation, Performance*, 1ª ed., chapter 13, Oxford, UK, Elsevier, 2008

BAYOD-RÚJULA, A. a., 2009, “Future development of the electricity systems with distributed generation”, *Energy*, v. 34, n 3, pp. 377-383, 2009

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE – BMWi. “Germany’s new energy policy - Heading towards 2050 with secure, affordable and environmentally sound energy”. Berlin, Alemanha, abril de 2012

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE – BMWi. “Energiewirtschaftsgesetz – EnWG”. Data de Vigência: 13/07/2005 Disponível em: http://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/index.html. Acessado em: janeiro de 2013

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE – BMWi. “Erneuerbares-Energien-Gesetz – EEG”. Data de Vigência: 01/09/2009. Disponível em: http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2009/index.html. Acessado em: janeiro de 2013

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE – BMWi. “Anreizregulierungsverordnung – ARegV”. Data de Vigência: 11/06/2007. Disponível em: < <http://www.gesetze-im-internet.de/aregv/index.html>>. Acessado em: janeiro de 2013

BOLETIM OFICIAL DO ESTADO, BOE. “Real Decreto 1955/2000”. Boletín Oficial del Estado, núm. 310 de 27 de diciembre de 2000, páginas 45988 a 46040 (em Espanhol). Disponível em: < <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2000-24019>> Acessado em: janeiro de 2013

BOLETIM OFICIAL DO ESTADO, BOE. “Real Decreto 661/2007”. Boletín Oficial del Estado, núm. 126 de 26 de mayo de 2007, páginas 22846 a 22886 (em Espanhol).

Disponível em: < <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-10556>>
Acessado em: janeiro de 2013

BOLETIM OFICIAL DO ESTADO, BOE. “Real Decreto 222/2008”. Boletín Oficial del Estado, núm. 67 de 18 de marzo de 2008, páginas 16067 a 16089 (em Espanhol). Disponível em: < <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-5159>> Acessado em: janeiro de 2013

BOLETIM OFICIAL DO ESTADO, BOE. “Real Decreto 1699/2011” Boletín Oficial del Estado, núm. 295 de 8 de diciembre de 2011, páginas 130033 a 130064 (em Espanhol). Disponível em: < <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-19242>> Acessado em: janeiro de 2013

BOLETIM OFICIAL DO ESTADO, BOE. “Real Decreto-ley 14/2010”. Boletín Oficial del Estado, núm. 312 de 24 de diciembre de 2010, páginas 106386 a 106394 (em Espanhol). Disponível em: < <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-19757>> Acessado em: janeiro de 2013

BUNDESNETZAGENTUR, Agência Nacional de Eletricidade, Gás, Telecomunicações, Correios e Rodovias. Disponível em: <<http://www.bundesnetzagentur.de>>. Acessado em: dezembro de 2012

CALIFORNIA CLEAN ENERGY FUTURE, CCEF. Disponível em: <<http://www.cacleanenergyfuture.org/installed-capacity.html>>. Acessado em: dezembro de 2012a

CALIFORNIA CLEAN ENERGY FUTURE, CCEF. Disponível em: <<http://www.cacleanenergyfuture.org/distributed-generation.html>>. Acessado em: dezembro de 2012b

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, CEC. *Energy Maps of California*. Disponível em: <<http://www.energy.ca.gov/maps/>> Acessado em: dezembro de 2012

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, CEC. *Who's Who in California Energy*. Disponível em: <<http://www.energy.ca.gov/newsroom/links.html>>. Acessado em: dezembro de 2012

CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION, CPUC. *California's Electric Investor-Owned Utilities (IOUs)*. Disponível em:

<http://www.energy.ca.gov/maps/serviceareas/CA_Electric_IOU.pdf> Acessado em: dezembro de 2012a

CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION, CPUC. *Regulatory Responsibilities of the California Public Utilities Commission*. Disponível em: <<http://www.cpuc.ca.gov/NR/rdonlyres/77E9A246-8F2F-46D7-8C4A-BE8B06A6A57A/0/CPUCRegulatoryResponsibilities0410.pdf>> Acessado em: dezembro de 2012b

CARDOSO, GRACIELI SARTÓRIO. “Uma visão crítica do cenário da geração distribuída no Brasil”. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-graduação em Energia, 2009. Santo André: Universidade Federal do ABC, 2009.

CARLEY, S., “Distributed generation: An empirical analysis of primary motivators”. *Energy Policy*, v. 37, n. 5, pp. 1648-1659, 2009

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRAS. “Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas”. Diretoria de Energia, Janeiro, 2000

CERVANTES RODRÍGUES, CARLOS ROBERTO. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, SP, 2002

CORFEE, K., D. KORINEK, C. HEWICKER, M. PEREIRA MORGADO, H. ZIEGLER, J. ZILLMER and D.HAWKINS, KEMA. 2011. Distributed Generation in Europe. California Energy Commission. Publication Number: CEC-400-2011-011. Sacramento, Calif.

COSSANT, RAPHAEL. GÓMEZ, TOMÁS. FRÍAS, PABLO. “Towards a future with large penetration of distributed generation: Is the current regulation of electricity distribution ready? Regulatory recommendations under a European perspective” *Energy Policy* Vol. 37, pp. 1145–1155, 2009

CHAMBERS, A. “Distributed generation: a nontechnical guide”. *PennWell*, Tulsa, OK, p. 283, 2001

DE JOODE, J., JANSEN, J. C., VAN DER WELLE, A. J., & SCHEEPERS, M. J. J., “Increasing penetration of renewable and distributed electricity generation and the need for different network regulation”. *Energy Policy*, v. 37, n. 8, pp. 2907-2915, 2009

Dondi, P., Bayoumi, D., Haederli, C., Julian, D., Suter, M., 2002. “Network integration of distributed power generation”. *Journal of Power Sources* 106, 1–9, 2002

EL-KHATTAM, W., SALAMA, M.M.A. “Distributed generation technologies, definitions and benefits”, *Electric Power Systems Research*, v. 71, pp. 119–128, 2004

FRÍAS, P., GÓMEZ, T., COSSENT, R., & RIVIER, J., “Improvements in current European network regulation to facilitate the integration of distributed generation”. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 31, n. 9, pp. 445-451, 2009

GIL, ANTONIO CARLOS. “Métodos e técnicas de pesquisa social”. Editora Atlas, 6ª. ed. São Paulo, 2008

GIL, HUGO A. JOOS, GEZA. “Models for Quantifying the Economic Benefits of Distributed Generation” *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 23, nº. 2, maio de 2008

HARRISON, GARETH P. PICCOLO, ANTONIO. SIANO, PIERLUIGI. WALLACE, A. ROBIN. Exploring the Tradeoffs Between Incentives for Distributed Generation Developers and DNOs”. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 22, nº. 2, maio de 2007

IEA, INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. “Technology Roadmap – Smart Grids”. 9 rue de la Fédération 75739 Paris Cedex 15, France, OECD/IEA, 2011

ITRON, INC. “Impacts of Distributed Generation”. Prepared for: California Public Utilities Commission, Energy Division Staff. California, janeiro de 2010

JENKINS, N., EKANAYAKE, J.B., STRBAC, G. “Distributed Generation” *IET RENEWABLE ENERGY SERIES 1*, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2010

KEANE, ANDREW. DENNY, ELEANOR. O’MALLEY, MARK. “Quantifying the Impact of Connection Policy on Distributed Generation” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 22, nº. 1, março de 2007

LANG, M.; MUTSCHLER, U. German Energy Blog – Energy in Germany – Legal Issue, Facts and Opinions. http://www.germanenergyblog.de/?page_id=513 Acessado em dezembro de 2012

LORA, ELECTO EDUARDO SILVA; HADDAD, JAMIL (Coord.). “Geração Distribuída Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais”. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2006.

LÓPEZ, E. C.; ACKERMANN, T. *Grid Issues for Electricity Production Based on Renewable Energy Sources in Spain, Portugal, Germany, and United Kingdom*. Statens Offentliga Utredningar, Stockholm, 2008

NAIR, N. K. C., & ZHANG, L., “SmartGrid: Future networks for New Zealand power systems incorporating distributed generation”. *Energy Policy*, v. 37, n. 9, pp. 3418-3427, 2009

MAKARON, PAULA MATOS, “Análise de Viabilidade de Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas: Pontos Críticos de Sucesso a partir de Estudos de Caso no Estado de Santa Catarina”. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Energia PPGE – EP/FEA/IEE/IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012

MARQUES, JEFFERSON. “Turbinas Eólicas: Modelo, Análise e Controle do Gerador de Indução com Dupla Alimentação”. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004

MARTINS, CAMILA CAPOBIANGO. “Avaliação de Determinados Aspectos Estáticos e Dinâmicos da Presença de Geração Distribuída numa Rede de Distribuição”. Dissertação (mestrado), Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2004

MENDOZA, YESID ERNESTO ASAFF. “Desenvolvimento de um Sistema Servopneumático para Regulação de Velocidade de Turbinas em Pequenas Centrais Hidrelétricas”. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, dezembro de 2006

MME, Ministério de Minas e Energia, “Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas”. In: Relatório do Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos – GT – GDSF, Brasília, Brasil, 2009

OCHOA PIZZALI, LUIS FERNANDO. “Desempenho de redes de distribuição com geradores distribuídos”. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2006

OLIVEIRA, RICARDO ALEXANDRE FREITAS DE. “A Geração de Energia Elétrica através do uso de Biomassa na Bahia: Condicionantes e Oportunidades”. Dissertação (mestrado), Departamento de Engenharia e Arquitetura, Universidade Salvador – UNIFACS, Salvador, 2006

Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. *Sistema de Transmissão Horizonte – 2013*. Disponível em: www.ons.org.br – acessado em dezembro de 2012a

Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. *Submódulo 1.1 – O Operador Nacional do Sistema Elétrico e os Procedimentos de Rede: Visão Geral*. Disponível em: www.ons.org.br – acessado em dezembro de 2012b

PASSEY, R., SPOONER, T., MACGILL, I., WATT, M., & SYNGELLAKIS, K.. “The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and non-technical factors”. *Energy Policy*, ARTICLE IN PRESS, 2011

PEPERMANS, G., DRIESEN, J., HAESLONCKX, D., BELMANS, R., D’HAESELEER, W. “Distributed generation: definition, benefits and issues”, *Energy Policy*, v. 33, pp. 787–798, 2005

PICCOLO, ANTONIO. SIANO, PIERLUIGI. “Evaluating the Impact of Network Investment Deferral on Distributed Generation Expansion”. *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 24, nº. 3, agosto de 2009

PROYECTOSTIPO. “Mapa de las Compañías” Disponível em: <<http://www.proyectostipo.com/Seccion00%20Index/Mapa%20electrico.jpg>> Acessado em: janeiro de 2013

REE, RED ELÉCTRA DE ESPAÑA. “El Sistema Eléctrico Español 2011”. Información elaborada con datos a 1 de julio del 2012. P.º del Conde de los Gaitanes, 177, Madrid, Espanha, 2012. Disponível em: <www.ree.es>. Acessado em: dezembro de 2012.

RIBEIRO, RICARDO DA SILVA “Investigação Experimental e Integração de um Sistema de Geração de Energia Elétrica por Gaseificação de Biomassa para Comunidades Isoladas” Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília,

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Distrito Federal, 2007

ROPENUS, STEPHANIE. “Financing Grid Connection and Extension”. Pre-Conference Seminar EWEA 2012, Copenhagen, abril de 2012

ROPENUS, STEPHANIE. JACOBSEN, HENRIK KLINGE. SCHRÖDER, SASCHA THORSTEN. “Network regulation and support schemes e How policy interactions affect the integration of distributed generation”. *Renewable Energy* Vol. 36, pp.1949-1956, 2011

SANTORO, THAIS ARANHA DE BARROS. “Estudo Tecnológico de Células a Combustível Experimentais a Membrana Polimérica Trocadora de Prótons” Dissertação (mestrado), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004

SAUTER, RAPHAEL. WATSON, JIM. “Strategies for the deployment of micro-generation: Implications for social acceptance” *Energy Policy* Vol. 35, pp. 2770–2779, 2007

SIANO, P. OCHOA, L. F. HARRISON, G. P. PICCOLO, A. “Assessing the strategic benefits of distributed generation ownership for DNOs”. *IET Generation, Transmission & Distribution*. Vol 3, n^o. 3, pp. 225-236, 2009

SISTEMA FIRJAN – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. “Quanto Custa a Energia Elétrica para a Indústria no Brasil?”. In: Estudos para o Desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, No 8, agosto, 2011

THONG, VU VAN, DRIESEN, JOHAN. “Distributed Generation and Power Quality”. In: Baggini, Angelo, University of Bergamo, Italy (eds), *Handbook of Power Quality*, Chaper 16, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2008

TIAGO FILHO, GERALDO LÚCIO; STANO JÚNIOR, A.; BRASIL JÚNIOR, A.; FERRARI, J. T.; LEMOS, H.; NUNES, C. F.; ALVES, L. H. F.; NUNES, C. F.; MOURA, J. S.; RAMOS, R.; VAN ELS, R.; LEITE, F. “Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos – Soluções Energéticas para a Amazônia”. 1^a Edição, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2008

WATSON, JIM. SAUTER, RAPHAEL. BAHAJ, BAKR. JAMES, PATRICK. MYERS, LUKE. WING, ROBERT. "Domestic micro-generation: Economic, regulatory and policy issues for the UK". *Energy Policy*, v. 36, pp. 3095–3106, 2008

WONG, STEVEN. BHATTACHARYA, KANKAR. FULLER, J. DAVID. "Long-Term Effects of Feed-In Tariffs and Carbon Taxes on Distribution Systems". *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 25, n^o. 3, agosto de 2010

WOODMAN, BRIDGET. BAKER, PHILIP. "Regulatory frameworks for decentralised energy" *Energy Policy* Vol. 36, pp. 4527–4531, 2008

ANEXO I – PERIÓDICOS COM MAIOR QUANTIDADE DE ARTIGOS QUE ABORDAM O TEMA “GERAÇÃO DISTRIBUÍDA” E RESPECTIVAS BASES DE PERIÓDICO (ORDENADOS DO MAIOR PARA O MENOR)

Título do Periódico	Base de Periódicos
IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS	IEE
IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY	IEE
IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS	IEE
INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER ENERGY SYSTEMS	<i>Science Direct</i>
ELECTRIC POWER SYSTEMS RESEARCH	<i>Science Direct</i>
IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS	IEE
INTERNATIONAL REVIEW OF ELECTRICAL ENGINEERING (IREE)	<i>Scopus</i>
IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION	IEE
ENERGY POLICY	<i>Science Direct</i>
EUROPEAN TRANSACTIONS ON ELECTRICAL POWER	Wiley

ANEXO II – ARTIGOS SELECIONADOS

Autor(es) / Ano	Nome Artigo	Critério 1	Critério 2	Critério 3
BAUKNECHT e BRUNEKREFT, 2008	Distributed Generation and the Regulation of Electricity Networks	x		
COSSANT ET AL., 2009	Towards a future with large penetration of distributed generation: Is the current regulation of electricity distribution ready?	x		
COSSANT ET AL., 2011	Regulatory recommendations under a European perspective		x	
DE JOODE ET AL., 2009	Large-scale integration of renewable and distributed generation of electricity in Spain: Current situation and future needs	x		
FRÍAS ET AL., 2009	Increasing penetration of renewable and distributed electricity generation and the need for different network regulation	x		
GIL e JOOS, 2008	Improvements in current European network regulation to facilitate the integration of distributed generation	x		
HARRISON ET AL., 2007	Models for Quantifying the Economic Benefits of Distributed Generation	x		
HARRISON ET AL., 2007	Exploring the Tradeoffs Between Incentives for Distributed Generation Developers and DNOs	x		
LOPES ET AL., 2007	Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities			x
MORENO-MUÑOZ ET AL., 2010	Grid interconnection of renewable energy sources: Spanish legislation		x	
PASSEY ET AL., 2011	The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and non-technical factors			x
PICCOLO e SIANO, 2009	Evaluating the Impact of Network Investment Deferral on Distributed Generation Expansion	x		
ROPENUS ET AL., 2011	Network regulation and support schemes: How policy interactions affect the integration of distributed generation	x		
SAUTER e WATSON, 2007	Strategies for the deployment of micro-generation: Implications for social acceptance	x		
SIANO ET AL., 2009	Assessing the strategic benefits of distributed generation ownership for DNOs	x		
THORNTON e MONROY, 2011	Distributed power generation in the United States		x	
WATSON ET AL., 2008	Domestic micro-generation: Economic, regulatory and policy issues for the UK	x		
WOODMAN e BAKER, 2008	Regulatory frameworks for decentralised energy	x		
ZAHEDI, 2011	A review of drivers, benefits, and challenges in integrating renewable energy sources into electricity grid			x

ANEXO III – TESES E DISSERTAÇÕES SELECIONADAS

Autor(es) / Ano	Nome Tese ou Dissertação	Critério 1	Critério 2	Critério 3
CARDOSO, 2009	Uma visão crítica do cenário da geração distribuída no Brasil			x
CERVANTES RODRÍGUEZ, 2002	Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede	x		
DONADON, 2010	Proposta de norma de conexão de fontes de geração distribuída à rede de baixa tensão da concessionária	x		

ANEXO IV – RESULTADO DA BUSCA DESESTRUTURADA

Tipo de Documento	Autor(es) / Ano	Nome da Referência	Assunto Explorado
Apostila	CASTRO, 2007	Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução à Energia Fotovoltaica	Sistemas fotovoltaicos
Livro	JENKINS ET AL., 2010	Distributed Generation	Impactos da GD no Sistema de Distribuição
Livro	LORA & HADDAD, 2006	Geração Distribuída Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais	Tecnologias de Geração Distribuída
Dissertação (mestrado)	MAKARON, 2012	Análise de Viabilidade de Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas: Pontos Críticos de Sucesso a partir de Estudos de Caso no Estado de Santa Catarina	Pequenas Centrais Hidrelétricas
Dissertação (mestrado)	MARQUES, 2004	Turbinas Eólicas: Modelo, Análise e Controle do Gerador de Indução com Dupla Alimentação	Turbina Eólica
Dissertação (mestrado)	MARTINS, 2004	Avaliação de Determinados Aspectos Estáticos e Dinâmicos da Presença de Geração Distribuída numa Rede de Distribuição	Turbina Eólica
Dissertação (mestrado)	MENDOZA, 2006	Desenvolvimento de um Sistema Servopneumático para Regulação de Velocidade de Turbinas em Pequenas Centrais Hidrelétricas	Pequenas Centrais Hidrelétricas
Tese (doutorado)	Ochoa Pizzali, 2006	Desempenho de redes de distribuição com geradores distribuídos	Impactos da GD no Sistema de Distribuição
Dissertação (mestrado)	OLIVEIRA_2006	A Geração de Energia Elétrica através do uso de Biomassa na Bahia: Condicionantes e Oportunidades	Biomassa
Dissertação (mestrado)	RIBEIRO_2007	Investigação Experimental e Integração de um Sistema de Geração de Energia Elétrica por Gaseificação de Biomassa para Comunidades Isoladas	Biomassa
Dissertação (mestrado)	SANTORO, 2004	Estudo Tecnológico de Células a Combustível Experimentais a Membrana Polimérica Trocadora de Prótons	Células a Combustível
Livro	THONG & DRIESEN, 2008	Distributed Generation and Power Quality	Impactos da GD no Sistema de Distribuição
Livro	TIAGO_FILHO_2008	Pequenos Aproveitamentos Hidrelétricos - Soluções Energéticas para a Amazônia	Pequenas Centrais Hidrelétricas

ANEXO V – EMPRESAS CONCESSIONÁRIAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Tabela 19: empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil (FONTE: ABRADEE, 2012)

Sigla	Empresa	Grupo Econômico	Tipo de Empresa
AES SUL	Aes Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A.	AES	Privada
AES ELETROPAULO	Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A.		
ELEKTRO	Elektro Eletricidade e Serviços S.A.	IBERDROLA	
CPFL PAULISTA	Companhia Paulista de Força e Luz	CPFL ENERGIA	
CPFL LESTE	Companhia Paulista de Energia Elétrica		
CPFL PIRATININGA	Companhia Piratininga de Força e Luz		
RGE	Rio Grande Energia S.A.		
CPFL JAGUARI	Companhia Jaguari de Energia		
CPFL MOCOCA	Companhia Luz e Força Mococa		
CPFL SANTA CRUZ	Companhia Luz e Força Santa Cruz		
CPFL SUL	Companhia Sul Paulista de Energia		
AMPLA	Ampla Energia e Serviços S.A.	ENDESA	
COELCE	Companhia Energética do Ceará		
EDP BANDEIRANTE	Bandeirante Energia S.A.	EDP	
EDP ESCELSA	Espírito Santo Centrais Elétricas S.A		
ENERGISA PB	Energisa Paraíba - Distribuidora de Energia S.A.	ENERGISA	
ENERGISA SE	Energisa Sergipe - Distribuidora de Energia S.A.		
BORBOREMA	Energisa Borborema - Distribuidora de Energia S.A.		
ENERGISA MG	Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S.A.		
NOVA FRIBURGO	Energisa Nova Friburgo - Distribuidora de Energia S.A.		
CEMAR	Companhia Energética do Maranhão	EQUATORIAL	
CELPA	Centrais Elétricas do Pará S.A.		
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco	NEOENERGIA	
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia		
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte		

Tabela 20: empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil (FONTE: ABRADDEE, 2012) (continuação)

Sigla	Empresa	Grupo Econômico	Tipo de Empresa	
BRAGANTINA	Empresa Elétrica Bragantina	REDE ENERGIA	Privada	
CELTINS	Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins			
CEMAT	Centrais Elétricas Matogrossenses S. A.			
CFLO	Companhia Força e Luz do Oeste			
ENERSUL	Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S.A			
PARANAPANEMA	Empresa de Eletricidade Vale do Paranapanema S.A.			
CAIUÁ	Caiuá Serviços de Eletricidade S.A.			
NACIONAL	Companhia Nacional de Energia Elétrica			
LIGHT	Light Serviços de Eletricidade S.A.			RME
IGUAÇU	Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda.			
SANTA MARIA	Empresa Luz e Força Santa Maria S.A			
SULGIPE	Companhia Sul Sergipana de Eletricidade			
CEB	Companhia Energética de Brasília		Estadual	
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica			
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S. A.			
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais			
COPEL	Companhia Paranaense de Energia			
CELG	Companhia Energética de Goiás	ELETROBRAS	Federal	
ELETROBRAS AC	Eletrobras Distribuição - Acre S.A.			
ELETROBRAS AL	Eletrobras Distribuição - Alagoas S.A.			
ELETROBRAS AM	Eletrobras Amazonas Energia S.A.			
ELETROBRAS PI	Eletrobras Distribuição - Piauí S.A.			
ELETROBRAS RO	Eletrobras Distribuição - Rondônia S.A.			
ELETROBRAS RR	Eletrobras Distribuição - Roraima S.A.			
DMED P. CALDAS	DMED Distribuidora S.A.		Municipal	
ALIANÇA	Cooperativa Aliança		Privada	
CHESP	Companhia Hidroelétrica São Patrício			
FORCEL	Força e Luz Coronel Vivida Ltda.			
JARI	Jari Energética S/A. – JESA			
JOÃO CESA	Empresa Força e Luz João Cesa Ltda			
MUXFELDT	Muxfeldt, Marin & Cia Ltda.			
NOVA PALMA	Usina Hidroelétrica Nova Palma (UENPAL)			

Tabela 21: empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil (FONTE: ABRADDEE, 2012) (continuação)

Sigla	Empresa	Grupo Econômico	Tipo de Empresa
PANAMBI	Hidroelétrica Panambi S.A (HIDROPAN)		Privada
URUSSANG A	Empresa Força e Luz de Urussanga Ltda. (EFLUL)		
COCEL	Companhia Campolarguense de Energia		
DEMEI	Departamento Municipal de Energia de Ijuí		Municipal
ELETROCAR	Centrais Elétricas de Carazinho S.A		
CEA	Companhia de Eletricidade do Amapá		Estadual
CER	Companhia Energética de Roraima		