

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

RODRIGO CIRINO SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE BRASIL E ALEMANHA SOBRE
AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL**

GUARATINGUETÁ
2012

RODRIGO CIRINO SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE BRASIL E ALEMANHA SOBRE
AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: José Antônio Perrella Balestieri

Guaratinguetá
2012

S586a Rodrigo Cirino Silva
Análise comparativa entre Brasil e Alemanha sobre
autoprodução de energia elétrica residencial / Rodrigo Cirino
Silva. - Guaratinguetá: [s.n.], 2012
70 f.: il.
Bibliografia: f. 59-63

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica –
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de
Guaratinguetá, 2012
Orientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Co orientador: Prof. Dr. Guilherme Eugênio F. F. Filho

1. Energia elétrica 2. Energia eólica 2 Recursos
energéticos I. Título

CDU 620.91



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Guaratinguetá

Análise comparativa entre Brasil e Alemanha sobre autoprodução de energia elétrica residencial

RODRIGO CIRINO SILVA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO PERRELLA BALESTIERI
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. CELSO EDIARDO TUNA
UNESP-FEG

Eng. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI
UNESP-FEG

Dezembro de 2012

DEDICATÓRIA

À minha família, que tornou possível a realização do sonho de me tornar engenheiro, me apoiando da maneira deles sempre que fosse necessário.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Professor Doutor (e DOM) José Antônio Perrella Balestieri, que me orientou neste período com sua experiência e paciência tendendo ao infinito.

À minha noiva, Mariana Lopes de Sousa, cuja colaboração neste trabalho não pode ser descrita com meras palavras.

Aos meus amigos que sempre me disseram que tudo daria certo.

E, finalmente, à minha família, que sempre esteve ao meu lado, principalmente nestes últimos 5 anos.

“Eu pergunto porque não gosto da minha própria ignorância.”

Hiromu Arakawa

SILVA, R.C. Análise comparativa entre Brasil e Alemanha sobre autoprodução de energia elétrica residencial. 2012. xxf. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

A crise energética tem afetado muitos países. Com a crescente preocupação com a emissão de poluentes e com a escassez de recursos, a busca por fontes alternativas para a geração de energia tem se tornado cada vez maior. Alguns países como a Alemanha partiram na frente nesta jornada e criando um programa de incentivo a autogeração de energia a partir de fontes renováveis (energia eólica, fotovoltaica, biomassa, etc.), dando prioridade aos geradores de menor porte. Na Alemanha esta iniciativa, denominada EEG, teve data do ano de 2004. Já no Brasil, até o início de 2012, os micro e minigeradores não tinham claro como poderiam ser beneficiados pela autogeração, de forma que tal prática não se tornou comum no país. No entanto, com a Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012, foram determinados os parâmetros para nortear a mini e microgeração. Com isso, estudos podem ser direcionados para conhecer melhor as condições à que o microgerador brasileiro estará sujeito, além de ter o caso da Alemanha como referência para comparar as práticas desenvolvidas no Brasil. Neste trabalho, estes estudos são feitos, mantendo o foco na energia eólica (Aerogeradores Eólicos) e em painéis fotovoltaicos.

PALAVRAS CHAVE: Brasil, Alemanha, Autogeração, Painél Fotovoltaico, Aerogerador Eólico

SILVA, R. C. Comparative analysis between Brazil and Germany on autoproduction of household electricity. 2012. xx f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

The energy crisis has affected many countries. With the growing warning with the emission in the atmosphere and the lack of resources, the seek for sustainable sources for energy generation have become even bigger. Some Countries, as Germany, started first in this journey, creating an incentive program to self-generation with renewable sources (wind, photovoltaics, biomass, etc.), giving priority for smaller plants. In Germany the program called EEG started in 2004. In Brazil, since the beginning of 2012, the self-generators did not know how they could be benefited for self-generation, and self-generation didn't become comun in the country. However, with NR 482, of April 17th, 2012, the parameters were defined, and the self-generator could have a guideline. Therewith, studyies can be redirected for a better knowlegde of the conditions the self-generator will be subjected, in addition to Germany's case as reference to compare with Brazil's case. In this paper these studies are made, focused in wind power (wind turbines) and photovoltaic panels.

KEYWORDS: Brazil, Germany, Self-generation, Photovoltaic Panel, Wind Turbine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Moinho de vento usado para moagem de grãos.....	14
Figura 2. Elementos de um moinho de vento convencional.....	15
Figura 3. Potencial energético eólico instalado no mundo.....	17
Figura 4. Potencial eólico do Brasil.....	19
Figura 5. (a) Turbina convencional e (b) Turbina DAWT.....	20
Figura 6. Parque eólico em Morro do Carmelinho – Brasil.....	21
Figura 7. Parque eólico offshore Horns Rev, na Dinamarca.....	21
Figura 8. <i>Solar Energy Generation Systems – SEGS #1</i> – no deserto de Mojave.....	23
Figura 9. Potência total instalada de painéis fotovoltaicos no mundo.....	23
Figura 10. Comparação entre diferentes países em relação ao potencial de produção de energia solar.....	25
Figura 11. Radiação solar no Brasil.....	25
Figura 12. Sistemas de geração de energia: a) solar térmico e b) fotovoltaico.....	26
Figura 13. Painel fotovoltaico instalado em casa ribeirinha.....	27
Figura 14. Representatividade de cada região no número total de unidades consumidoras em 2007.....	30
Figura 15. Número de concessionárias no país.....	30
Figura 16. Constituição do novo modelo do setor elétrico.....	33
Figura 17. Potencial instalado em fontes renováveis na Alemanha, atual e perspectivas futuras.....	38
Figura 18. Aumento no número de unidades microgeradoras na Alemanha.....	45
Figura 19. Modelo de casa com microgeração.....	45
Figura 20. Sistema brasileiro de distribuição de energia.....	46
Figura 21. (a) Unidade de geração fotovoltaica para bombeamento de água na Bahia e (b) unidade geradora eólica fabricada no Brasil.....	48
Figura 22. Turbina eólica horizontal.....	50
Figura 23. Sistema eólico instalado.....	51
Figura 24. Inclinação do painel.....	52
Figura 25. Sistema fotovoltaico após instalado.....	53
Figura 26. Exemplo de distribuição de weibull.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Consumo médio por região.....	29
Tabela 2. Consumo de energia no Brasil por tipo de consumidor em 2011.....	31
Tabela 3. Oferta interna de energia 2011.....	31
Tabela 4. Panorama atual de geração de energia elétrica.....	34
Tabela 5. Preço médio para o consumidor B1 do kWh para o ano de 2012.....	35
Tabela 6. Preço médio do MWh por região no mês de novembro de 2011.....	36
Tabela 7. Produção de energia elétrica na Alemanha de acordo com as diferentes fontes.....	36
Tabela 8. Taxas definidas pelo EEG nos anos de 2000 e 2004.....	39
Tabela 9. Tarifas pagas para cada nível de auto-geração.....	40
Tabela 10. Tarifas básicas para auto-geração de energia elétrica com biomassa.....	41
Tabela 11. Bônus concedidos para biomassa.....	41
Tabela 12. Taxas pagas para estações de tratamento de esgoto / aterros / minas.....	42
Tabela 13. Preço dos kits fotovoltaicos.....	52
Tabela 14. Ângulo de inclinação dos painéis de acordo com a latitude.....	53

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 ENERGIA EÓLICA.....	14
2.1.1 Histórico e panorama atual.....	14
2.1.2 Potencial eólico.....	17
2.1.3 Turbinas.....	20
2.1.4 Os parques eólicos – <i>onshore</i> e <i>offshore</i>	20
2.2 ENERGIA SOLAR.....	22
2.2.1 Histórico e panorama atual.....	22
2.2.2 Panorama brasileiro e mundial.....	24
2.2.3 Tecnologias de geração.....	26
2.2.4 Programas voltados á geração em comunidades isoladas.....	27
3 MERCADO ENERGÉTICO.....	29
3.1 O CASO BRASILEIRO.....	29
3.1.1 Mercado brasileiro de energia.....	29
3.1.2 Consumidor final.....	34
3.2 O CASO ALEMÃO.....	36
3.2.1 Matriz energética e produção.....	36
3.2.2 Política de auto-geração de energia na Alemanha	38
3.2.3 Remuneração por auto-geração.....	39
3.2.4 Energia fotovoltaica.....	40
3.2.5 Biomassa.....	40
4 MICROGERAÇÃO.....	41
4.1 O CASO BRASILEIRO.....	46
5 EQUIPAMENTOS.....	49
5.1 AEROGERADORES.....	49
5.2 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	51
6 ESTUDO DE CASO.....	54
6.1 METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	54
6.2 ALEMANHA.....	55

6.2.1 Investimento inicial.....	55
6.3 BRASIL.....	57
6.3.1 Investimento inicial.....	57
7 CONCLUSÕES.....	59
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXO A	66

1 INTRODUÇÃO

Um dos medidores da qualidade de vida utilizados no mundo é a o consumo de energia elétrica. Até hoje, a matriz mundial é predominantemente voltada para combustíveis fósseis. Porém, mais recentemente, surgiu a preocupação em diversificar essa matriz, buscando alternativas sustentáveis para a produção de energia.

A maior vantagem em partir para a geração de energia por fontes renováveis está diretamente relacionada à sua menor emissão de poluentes e por serem, em alguns casos, inesgotáveis (energia solar e eólica, por exemplo). Esta diferença de características serve como incentivo para buscar a criação de novas usinas baseadas apenas em fontes renováveis, mesmo que ainda sejam menos eficientes e mais caras.

Porém, ao se suprir a demanda crescente de energia com tais fontes, pode-se também aumentar a qualidade de vida das pessoas, que passam a usufruir de uma energia mais limpa, que não terá tantos impactos no ambiente em que elas vivem, como é o caso da alta emissão de poluentes gerada pelos combustíveis fósseis.

Neste trabalho, o maior foco está na produção de energia por painéis fotovoltaicos e energia eólica no contexto residencial, por serem recursos abundantes e inesgotáveis. Por outro lado, mesmo sendo recursos inesgotáveis, as tecnologias utilizadas para este tipo de geração ainda necessitam de muito desenvolvimento para se tornarem mais eficientes e mais acessíveis para a população.

O intuito de utilizar painéis fotovoltaicos e aerogeradores eólicos em residências é buscar a auto-suficiência energética ou, pelo menos, a diminuição do consumo de energia comprada diretamente das concessionárias de energia. No melhor cenário possível, o autogerador geraria o suficiente para suprir as suas demandas e enviar o excesso para a rede de transmissão de energia, possibilitando a redução dos custos.

1.1 OBJETIVOS

Avaliar, do ponto de vista técnico e econômico, as iniciativas de Brasil e Alemanha em abrir o mercado de energia elétrica ao consumidor residencial por meio de tecnologias renováveis como painéis fotovoltaicos, aerogeradores eólicos e pequenas centrais térmicas queimando biomassa. O Brasil passou a contar recentemente com a legislação que incentiva o consumidor residencial a atuar nesse segmento, ao passo que na Alemanha tal processo se aproxima de uma década de desenvolvimento. Por tal fato,

prevê-se que há diversas possibilidades para aproveitamento de estruturas testadas na Alemanha virem a ser empregadas no Brasil. De igual modo, podem-se evitar os problemas detectados.

1.2 JUSTIFICATIVA

O mercado brasileiro de energia já conta grande contribuição na geração de eletricidade por meio de usinas hidrelétricas e centrais termoelétricas. No entanto, a parcela de energia gerada por fontes sustentáveis é bastante menor se comparada às fontes anteriormente citadas. Esta situação agrava-se ainda mais quando se analisa a contribuição do consumidor residencial, o qual apresenta potencial para a autoprodução de energia além de se integrar no mercado de energia elétrica como produtor, principalmente através de painéis fotovoltaicos e aerogeradores eólicos.

Um incentivo para a implementação da autoprodução e comercialização dessa energia em edifícios é a possibilidade de alcançar um nível mais elevado de eficiência energética no processo de certificação INMETRO para edificações (CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, 2006).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA EÓLICA

2.1.1 Histórico e panorama atual

O movimento das camadas de ar da atmosfera é chamado de vento. Uma vez havendo diferenças de pressão na superfície terrestre devido à maior incidência de radiação solar na zona equatorial, as massas de ar acabam sendo empurradas, gerando os ventos (CASTRO, 2009).

O uso da energia provinda dos ventos remonta a milhares de anos, a partir da conversão de sua energia cinética em energia mecânica (MARTINS et al., 2008). Inicialmente a energia eólica era aplicada ao bombeamento de água para moagem de grãos (Figura 1), sendo que moinhos de vento na China, Índia e no que foi a Pérsia, datam de 2000 anos atrás (KAMMEN, 2004). A Figura 1 apresenta como estes moinhos de vento eram dispostos de forma a transformar a energia cinética do vento em energia mecânica.



Figura 1. Moinho de vento usado para moagem de grãos (REZENDE, 2012).

Esses moinhos eram dispostos de forma a aproveitar melhor os períodos de ventos da região em que estavam instalados, visto que seu principal objetivo era substituir a força humana para fornecer energia para o funcionamento de todo o mecanismo. Na Figura 2 podem-se ver os elementos presentes em um moinho de vento.

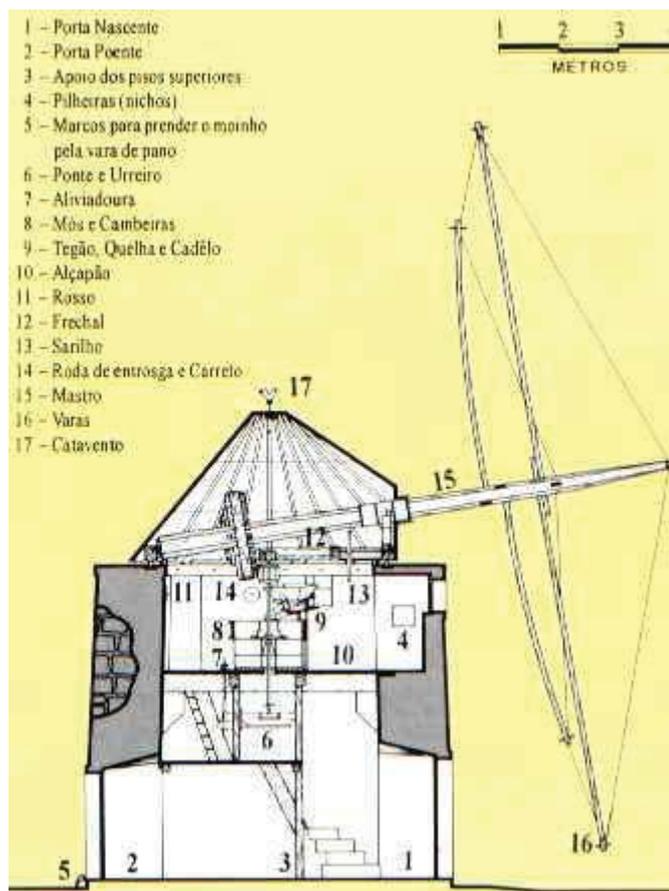


Figura 2. Elementos de um moinho de vento convencional (A EVOLUÇÃO DOS MOINHOS DE VENTO, 2000).

As primeiras tentativas do uso do vento para a geração de energia elétrica datam do final do século XIX (ANEEL, 2005), mas com o crescimento do uso do carvão e petróleo nas indústrias, a energia eólica foi sendo esquecida (KAMMEN, 2004).

Com a crise internacional do petróleo, na década de 1970 (SESTO; CASALE, 1998) é que a produção de energia eólica voltou a ser considerada na estrutura de geração de energia, e houve o interesse da criação de equipamentos em escala comercial (ANEEL, 2005). Os Estados Unidos e a Dinamarca foram os primeiros países a elaborarem programas para o desenvolvimento de turbinas eólicas (KAMMEN, 2004), tendo sido a Dinamarca o primeiro país a possuir uma turbina eólica ligada à rede pública de energia, em 1976 (ANNEL, 2005).

O interesse na energia eólica se deve principalmente às seguintes razões:

- Ao surgimento de uma iminente nova crise causada pela demanda de combustíveis fósseis;

- Preocupação ambiental (SESTO; CASALE, 1998), visto que turbinas eólicas não necessitam do represamento de rios como as usinas hidrelétricas, ou geram resíduos poluidores, como as usinas nucleares;
- O grande potencial eólico do planeta, que se bem aproveitado pode ser suficiente para suprir grande parte da demanda energética atual (SESTO; CASALE, 1998);
- Atualmente houve uma grande redução de custos nos equipamentos, que costumava ser um dos maiores entraves comerciais ao uso em grade escala da energia eólica (ANEEL, 2005).

Na última década, o potencial instalado de turbinas eólicas cresceu consideravelmente (CASTRO, 2009), principalmente na Europa, que possui 55% do total de produção de energia eólica. Os Estados Unidos com 26,17 GW, a Alemanha com 24,00 GW e a Espanha com 16,8 GW são os países com maior potencial instalado de energia eólica (ARENT et al., 2011; CASTRO, 2009).

A Dinamarca, por sua vez, é considerada o país com maior representatividade da energia eólica na matriz energética total, sendo 20% da energia do país produzida a partir do vento (ARENT et al., 2011). A grande participação da Europa nesse mercado se deve a uma decisão da União Europeia de 2001, conhecida como “Diretiva das Renováveis”, que promoveu o uso e desenvolvimento de alternativas energéticas sustentáveis no mercado energético interno (CASTRO, 2009). Na Figura 3 é possível perceber o grande aumento no potencial instalado de energia eólica entre 1998 e 2008.

Apesar de grande parte da produção de energia eólica estar localizada em países da Europa e nos Estados Unidos, países emergentes como China, Brasil e Índia também estão apresentando grandes avanços em relação a energia eólica (CHEN et al., 2011). Em 2008, segundo Arent et al. (2011), mais de 70 nações já possuíam pelo menos uma turbina geradora de energia eólica. Em 2010, o governo chinês ofereceu concessões para a criação de campos (*farms*) de geração de energia eólica *offshore* (no mar). Isso fez com que o potencial instalado no país passasse de 567 MW em 2003 para 14,00 GW, se tornando o terceiro maior potencial eólico instalado (CASTRO et al., 2009; XILIANG et al., 2012).

No caso do Brasil, a participação da energia eólica na matriz energética nacional ainda é pequena, principalmente se comparada com a participação das usinas hidrelétricas. Porém, existe um potencial considerável a ser explorado principalmente na

região nordeste, que foi a pioneira na instalação das primeiras turbinas eólicas do país (ANEEL, 2005).

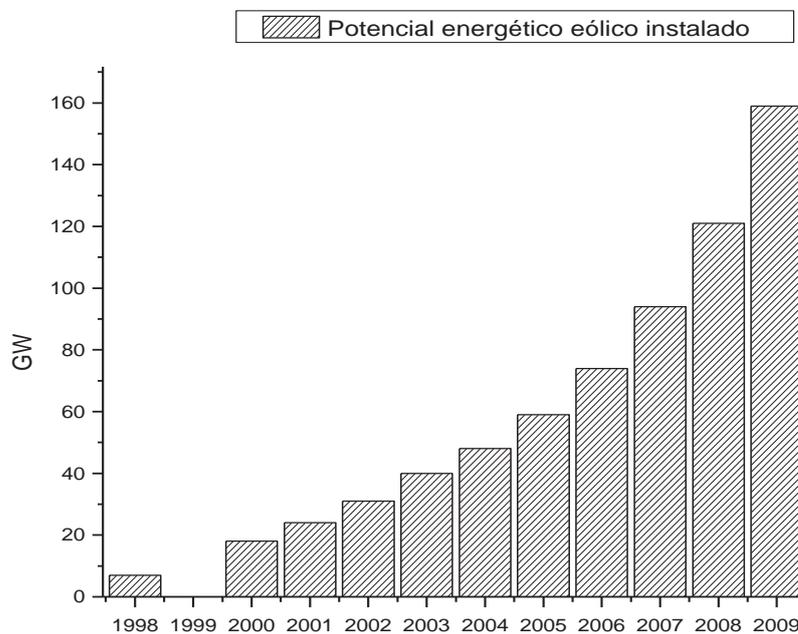


Figura 3. Potencial energético eólico instalado no mundo (ARENT et al., 2011; CASTRO, 2009; CHEN et al., 2011- com adaptações).

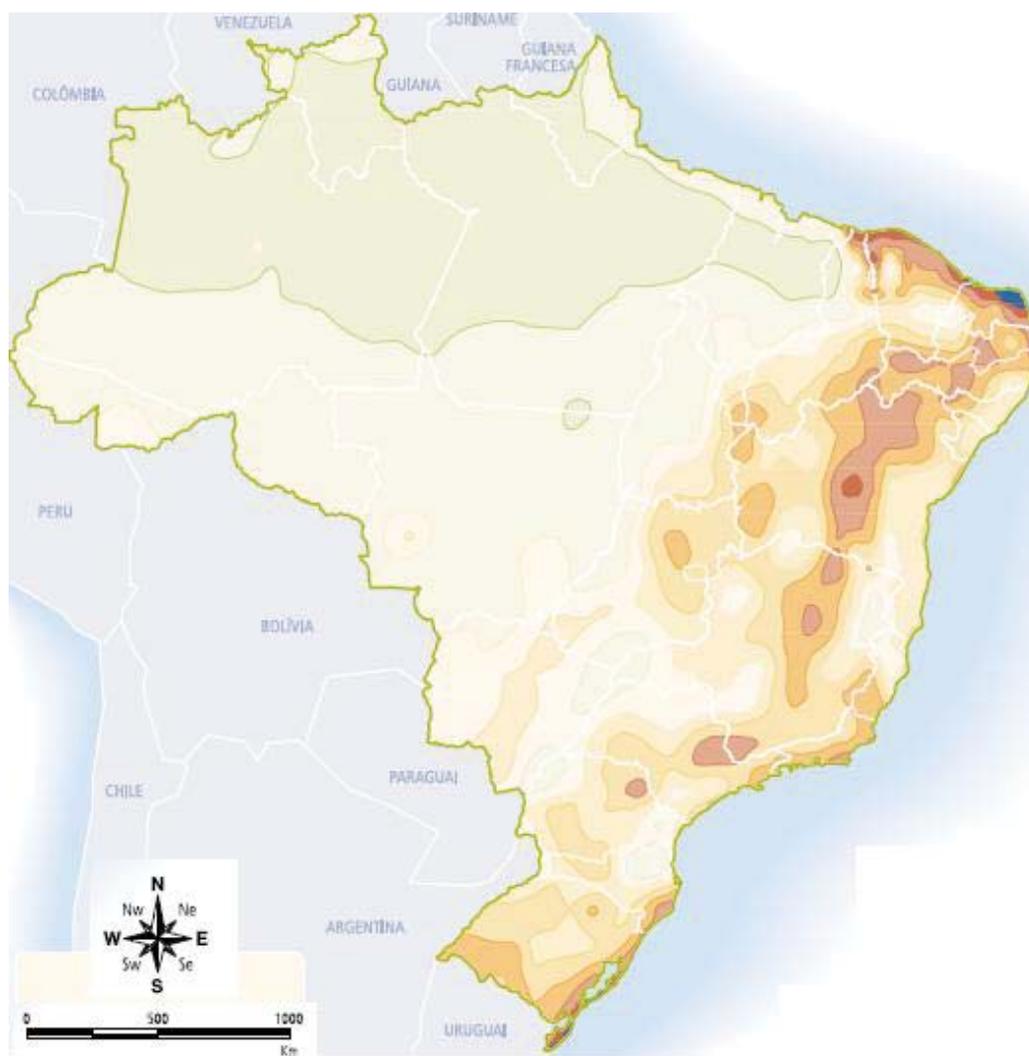
2.1.2 O potencial eólico

A expressão “potencial instalado” faz referência apenas à capacidade instalada que se encontra em funcionamento. A quantidade de energia que um país pode produzir a partir da geração eólica pode ser substancialmente maior do que o potencial já instalado.

A incidência de ventos é o fator primordial que define o quanto pode ser produzido em determinada região. Para isso são necessários estudos em relação ao território tanto em terra quanto no mar, para definição dos lugares com maior e mais constante incidência de ventos, relevo, presença de comunidades tradicionais ou espécies ameaçadas e que possam impedir a instalação de um parque eólico.

Por meio de unidades de monitoramento e estações meteorológicas é possível definir o regime de ventos de determinado local e assim traçar um plano de ação adequado (ANEEL, 2005).

Para que o vento seja considerado aproveitável para geração de energia é necessário que sua densidade seja de 500 W/m^2 e velocidade de 7 a 8 m/s (GRUBB; MEYER, 1993). Os ventos mais fortes se encontram a cerca de 10 km da superfície terrestre, porém é inviável instalar turbinas nessa altura (CASTRO, 2009). Sendo assim, a produção atual é limitada a altitudes inferiores, onde o atrito com a superfície é maior e conseqüentemente se observa uma menor velocidade (MARTINS et al., 2008). Com os dados obtidos pelo monitoramento meteorológico, é possível criar um mapa com a incidência média de ventos, e assim avaliar a distribuição do recurso eólico. A Figura 4 ilustra a carta de ventos do Brasil, indicando o potencial eólico na altura de 50m.



Velocidade média do vento (m/s)
50 m acima do nível da superfície

		Mata	Campo Aberto	Zona Costeira	Morro	Montanha
Classes de energia	4	> 6,0	> 7,0	> 8,0	> 9,0	> 11,0
	3	4,5 - 6,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	7,5 - 9,0	8,5 - 11,0
	2	3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	4,5 - 6,0	6,0 - 7,5	7,0 - 8,5
	1	< 3,0	< 4,5	< 4,5	< 6,0	< 7,0

Figura 4. Potencial eólico do Brasil (ANEEL, 2005; FEITOSA et al., 2003).

Estima-se que o potencial eólico mundial, considerando essas características necessárias para a geração de energia é de cerca de 500.000 TWh/ano. Mas devido a restrições como áreas densamente povoadas ou montanhosas, o potencial aproveitável cai para cerca de 53.000 TWh ano. No Brasil esses valores são de cerca de 60.000 MWh/ano (ANEEL, 2005).

2.1.3 Turbinas

O potencial eólico mundial pode ser ainda maior se for considerado o desenvolvimento de novas turbinas capazes de aproveitar a energia cinética do vento de maneira mais satisfatória. A energia cinética do vento é transformada em energia mecânica pelo giro das pás, que por sua vez é transformada em energia elétrica pelo gerador (MARTINS et al., 2008).

As turbinas iniciais possuíam baixa produtividade, com potências nominais de até 50 kW. Com o desenvolvimento tecnológico e aperfeiçoamento as turbinas atuais geram 1,5 MW (ANEEL, 2005). Além disso, estão em desenvolvimento turbinas nas quais o rotor é envolto por uma cobertura (CHEN et al., 2011), formando um duto divergente, que aumenta o fluxo de ar e aumenta a geração de energia. Esse tipo de turbina é chamada de DAWT (*Diffuser Augmented Wind Turbine*). A Figura 5 ilustra a diferença entre esses dois tipos de turbinas eólicas.

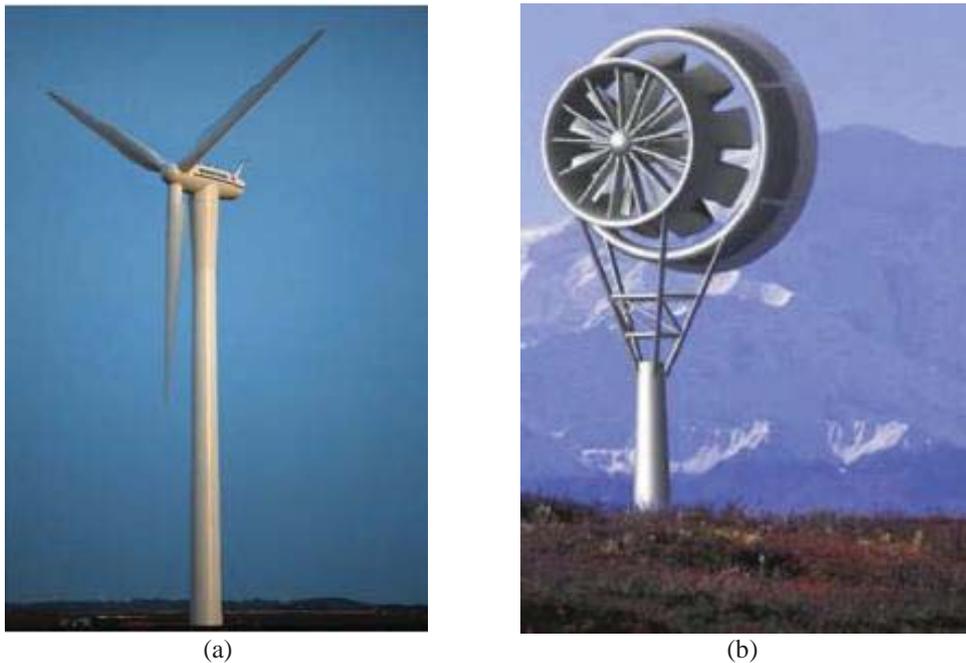


Figura 5. (a) Turbina convencional e (b) Turbina DAWT (ANEEL, 2005, CHEN et al., 2011).

2.1.4 Os parques eólicos – *onshore* e *offshore*

Inicialmente a produção de energia eólica se deu por meio de turbinas instaladas em área continental, *onshore* (Figura 6), tanto nos Estados Unidos quanto na Dinamarca (ANEEL, 2005). Porém, existe a limitação física de se instalar parques no território

continental, além de outras conseqüências como desarmonização com a paisagem local, possíveis perturbações á fauna e geração de ruídos (CASTRO, 2009).



Figura 6. Parque eólico em Morro do Carmelinho – Brasil (ANEEL, 2005).

A instalação de turbinas elétricas no mar surge como uma resposta a essas questões, principalmente em países com território reduzido. Além disso, o vento no mar apresenta menor turbulência e variação de velocidade, visto a baixa rugosidade da superfície da água, fazendo assim com que as turbinas tenham maior vida útil e tornando mais competitiva a criação de parques eólicos no mar (CASTRO, 2009).

A primeira turbina *offshore* foi instalada na Suécia, em 1990, e nos 20 anos seguintes o número de projetos relacionados a instalação de parques eólicos *offshore* foi expressivamente grande (XILIANG et al., 2012), principalmente na Europa onde já são encontrados grandes centrais geradoras de energia em alto-mar (Figura 7).



Figura 7. Parque eólico offshore Horns Rev, na Dinamarca (CASTRO, 2009).

2.2 ENERGIA SOLAR

2.2.1 Histórico e panorama atual

Em apenas uma hora o planeta recebe mais energia vinda do sol do que a população seria capaz de utilizar durante um ano inteiro (ARENT et al., 2011). A energia solar é largamente utilizada pelo homem desde milhares de anos, para secagem de alimentos, vestimentas, aquecimento entre outros usos. Ainda hoje esses usos são comuns no dia a dia da maior parte da população.

Devido à sua abundância e distribuição surge a idéia da geração de energia elétrica através da radiação solar, visto que ela está disponível em praticamente qualquer lugar do planeta, podendo atender até mesmo pequenas populações (ARENT et al., 2011).

Com a queda dos preços do petróleo no início da década de 1990, e considerando o então alto custo dos equipamentos, os projetos ligados ao desenvolvimento da energia solar entraram em hiato, culminando com a falência das empresas envolvidas (SKUMANICH, 2011). Nessa época foram realizadas as primeiras discussões no Brasil, por meio de um comitê, o GTEF – Grupo de Trabalho em Energia Fotovoltaica. Assim foram realizados os primeiros estudos em relação ao potencial brasileiro para geração de energia solar (TIBA et al., 2002).

Em 2004, com as políticas recentes de incentivo às energias renováveis, visando uma maior independência em relação aos combustíveis fósseis, os investimentos provenientes das indústrias, voltados para o desenvolvimento da energia solar, ressurgiram. Nessa segunda fase houve o barateamento nos equipamentos, na cadeia de produção e manutenção, com unidades de geração de energia solar surgindo em todo o planeta (ANEEL, 2008; ARENT et al., 2011; SKUMANICH, 2011).

A primeira grande planta de energia solar surgiu em 1984 nos Estados Unidos (Figura 8), com capacidade de 13,5 MW, e vem sendo ampliada desde então, com a adição de novas plantas e capacidade atual de 354 MW (SKUMANICH, 2011). Outros exemplos são a planta de Leipzig, Alemanha, com capacidade de 5MW, e na Bavária, também na Alemanha, com capacidade de 10MW (SHAYANI et al., 2006).



Figura 8. *Solar Energy Generation Systems – SEGS #1* – no deserto de Mojave (SKUMANICH, 2011).

Assim como a energia eólica, as maiores potências no uso da energia solar são Estados Unidos e países da Europa, com ênfase na Alemanha, que sozinha possui 49% da potência total mundial instalada e na Espanha, que tem 4 usinas solares entre as 10 maiores usinas solares do mundo (ANEEL, 2008). Porém, países asiáticos como Coreia do Sul e Japão também possuem grandes potências instaladas (ARENT et al., 2011).

No caso da Índia, onde existe um grande potencial e baixa infraestrutura e rede de transmissão, os investimentos em energia solar se mostram bem interessantes para suprir a demanda energética do país (SKUMANICH, 2011).

Segundo a ANEEL (2008), o Brasil possuía apenas um grande empreendimento ligado à energia solar, a usina fotovoltaica de Nova Mamoré, RO, com capacidade de 20,8 kW. O potencial instalado no Brasil atualmente é de cerca de 20 MW, grande parte em comunidades isoladas (PEREIRA et al., 2012), e apenas uma pequena parte ligada a rede de distribuição por meio de plantas solares experimentais. A Figura 9 permite observar o aumento mundial da potência instalada de painéis fotovoltaicos.

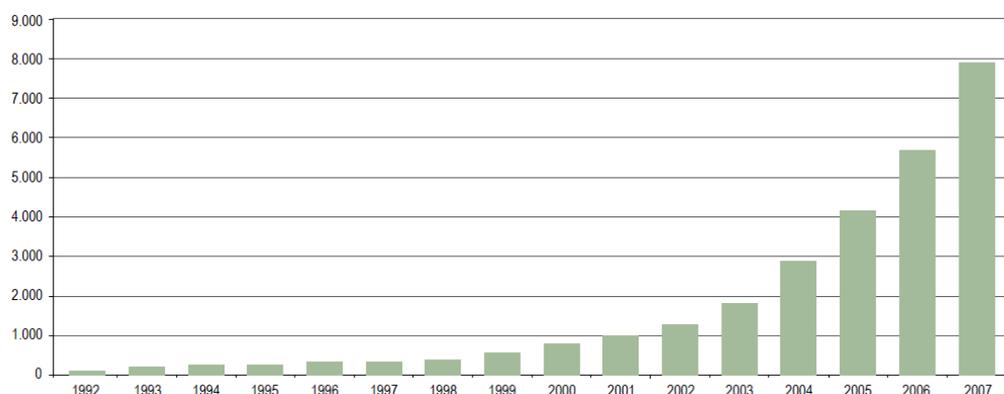


Figura 9. Potência total instalada de painéis fotovoltaicos no mundo (ANEEL, 2008).

2.2.2 O potencial brasileiro e mundial

O potencial de produção de energia por via solar fotovoltaico está ligado a características ambientais do território que influenciam diretamente incidência de radiação solar e assim a geração de energia (PEREIRA et al., 2000):

- *Fatores Climatológicos*: temperatura, umidade relativa, albedo.
- *Fatores Geográficos*: altitude, latitude, longitude.
- *Imagens de Satélite*: porcentagem de cobertura de nuvens.

Estes dados são obtidos através de sensoriamento remoto e análises climatológicas de longo prazo, gerando cartas de incidência de radiação solar, nas quais se podem observar os lugares mais adequados para a instalação de empreendimentos de grande porte, ou unidades de geração isoladas. Assim, lugares com maior incidência solar, bem distribuída durante o ano, e baixa cobertura de nuvens apresentam melhores condições para a geração de energia elétrica a partir do sol. Na Figura 10 é observado o potencial de diferentes países em relação à produção de energia solar.

No Brasil, o maior uso da energia solar corresponde a sistemas de aquecimento de água, porém o uso para geração de energia elétrica se encontra em fase de expansão, principalmente em comunidades isoladas e não interligadas ao sistema de distribuição de energia, como uma opção às hidrelétricas (MARTINS; PEREIRA, 2011). Nesse caso, destaca-se a região amazônica, que devido ao regime de cheias dos rios, torna difícil a interligação com o sistema nacional de distribuição, deixando assim diversos povoados e vilas sem energia elétrica.

Um dos desafios enfrentados no cálculo do potencial fotovoltaico brasileiro é a possível superestimação de radiação solar causada pela queima de combustíveis fósseis e biomassa, levando os sensores a um resultado errôneo (PEREIRA et al., 2000). A Figura 11 apresenta a incidência de radiação solar no território brasileiro.

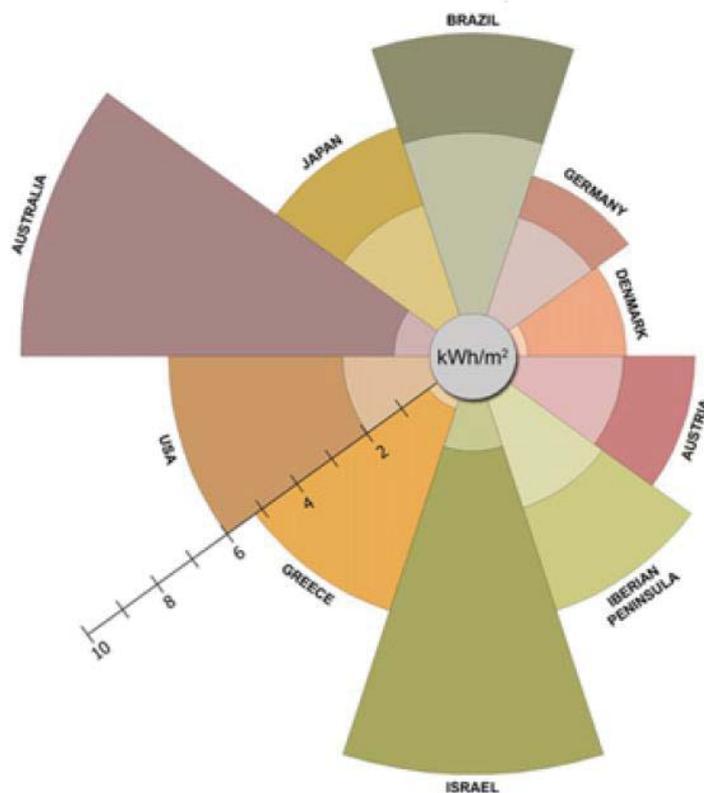


Figura 10. Comparação entre diferentes países em relação ao potencial de produção de energia solar (PEREIRA et al., 2006).

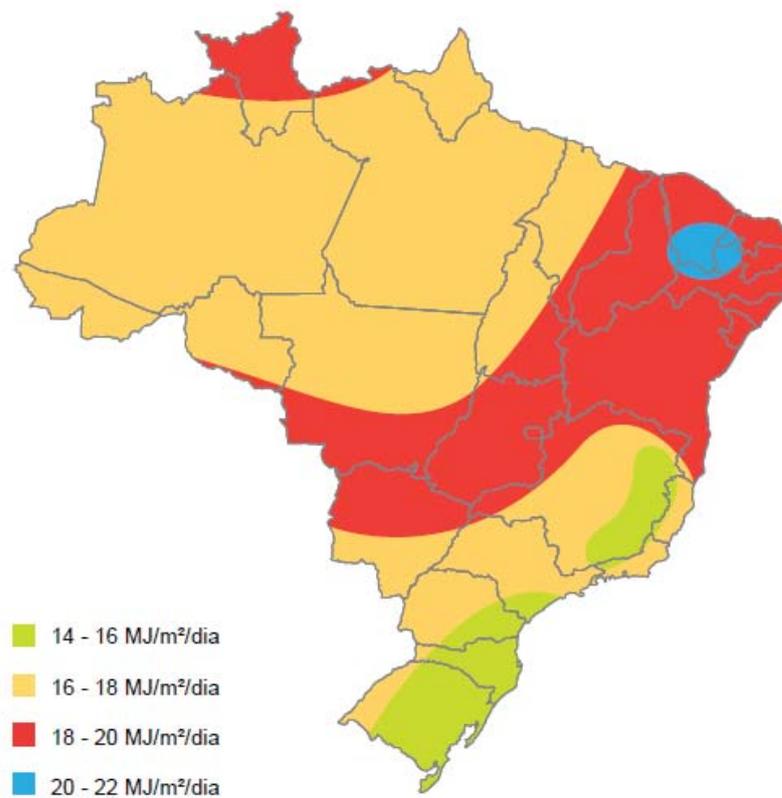


Figura 11. Radiação solar no Brasil (ANEEL, 2008).

Pela Figura 11 é possível perceber que o semiárido brasileiro é a região com maior incidência da radiação solar, porém mesmo nas regiões com menor incidência o

potencial encontrado ainda é igual ou maior que o encontrado na Alemanha, atualmente a maior produtora de energia solar (PERERIRA et al., 2012).

2.2.3 Tecnologias de geração

Dependendo da tecnologia empregada, a energia solar pode ser transformada em energia elétrica ou térmica. Para a produção de energia elétrica existem basicamente dois sistemas: o solar-térmico (Figura 12 a) e o fotovoltaico (Figura 12 b).

No sistema solar-térmico a energia solar é transformada em térmica, a qual gera vapor que move turbinas (termelétricas). Já nos sistemas fotovoltaicos, a energia solar é transformada diretamente em elétrica, a partir de semicondutores que estimulam o fluxo eletrônico; esse sistema tem a vantagem de ser aplicado desde pequenas células até grandes centrais de distribuição (KAMMEN, 2004). Para um bom aproveitamento desse tipo de sistema é necessário que haja um baixo índice pluviométrico, assim como poucas nuvens que possam obstruir a incidência solar, condições estas encontradas, por exemplo, no nordeste brasileiro (ANEEL, 2008)



(a)



(b)

Figura 12. Sistemas de geração de energia: a) solar térmico e b) fotovoltaico (ANEEL, 2005).

2.2.4 Programas voltados à geração em comunidades isoladas

Como a energia solar não necessita ser extraída, refinada e distribuída, podendo ser gerada no próprio local de consumo, ela se torna uma alternativa interessante para essas comunidades (SHAYANI et al., 2006). Devido às suas características hidrológicas a região amazônica tem grande destaque, pois na falta de abastecimento pela rede de distribuição, formam-se sistemas elétricos isolados, geralmente a partir de geradores diesel (MATOS et al., 2011).

O programa do governo federal “Luz para Todos” é destinado a suprir a demanda de pequenas comunidades isoladas por energia elétrica (Figura 13). Entre as alternativas sustentáveis fomentadas pelo governo está a instalação de painéis fotovoltaicos. Exemplo são os painéis instalados na Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá – AM (ANEEL, 2008), e na Reserva de Xapuri – RO, onde cerca de 100 famílias contam com a instalação de painéis fotovoltaicos domiciliares (BORGES et al., 2007).



Figura 13. Painel fotovoltaico instalado em casa ribeirinha (ANEEL, 2005).

Outro programa do governo é o PRODEEM – Programa de desenvolvimento energético de estados e municípios, que também é responsável pela instalação de grande parte dos painéis fotovoltaicos em uso no país (PEREIRA et al., 2012).

Percebe-se que a tendência brasileira e mesmo mundial é que o uso da energia solar seja direcionado para comunidades mais pobres e isoladas. Assim, o que antes visava a instalação de grandes centrais ligadas à rede de distribuição, passou a

visar a geração descentralizada de energia (SKUMANICH, 2011), favorecendo, assim, o acesso para a população (SHAYANI et al., 2006).

3. MERCADO ENERGÉTICO

3.1 CASO BRASILEIRO

3.1.1 Mercado Brasileiro de Energia

O Brasil possui cerca de 61,5 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica, das quais 85% se referem a residências. Pode-se classificar a distribuição de energia no país como universalizada, mas mesmo assim existem problemas relacionados às características geográficas de regiões e que dificultam a expansão da rede elétrica (ANEEL, 2008). A oferta interna de energia (OIE) cresceu para 272,3 toneladas equivalentes de petróleo (tep) no ano de 2011, sendo equivalente a 2% da energia mundial (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011). A Tabela 1 apresenta o consumo energético médio no ano de 2011 para cada região do país.

Tabela 1. Consumo médio por região (ANEEL, 2012 b)

Região	Consumo de Energia Elétrica MWh	Receita do Fornecimento em R\$	Unidades Consumidoras	Tarifa Média de Fornecimento em R\$
Centro Oeste	2.060.368	596.417.084,68	5.234.636	289,47
Nordeste	5.057.085	1.377.085.579,52	18.251.888	292,52
Norte	1.653.962	461.684.587,50	4.070.975	296,75
Sudeste	12.852.344	3.703.263.503,59	31.559.365	288,26
Sul	4.781.244	1.340.250.895,37	10.941.190	280,31
Total	26.405.002	7.478.701.650,66	70.058.054	289,46

Percebe-se que consumo se encontra centralizado na região Sudeste do país, como pode ser visto na Figura 14. A região Norte, apesar de possuir um território muito maior que a região Sudeste, ainda se encontra isolado eletricamente, seja por fatores geográficos ou populacionais, tornando o quadro ainda mais discrepante.

Do mesmo modo que o número de unidades consumidoras é muito maior na região Sudeste, o número de distribuidoras também, como pode ser visto na Figura 15. A região Sul, apesar de apresentar 9% menos unidades consumidoras que a região Nordeste, possui um maior número de concessionárias.

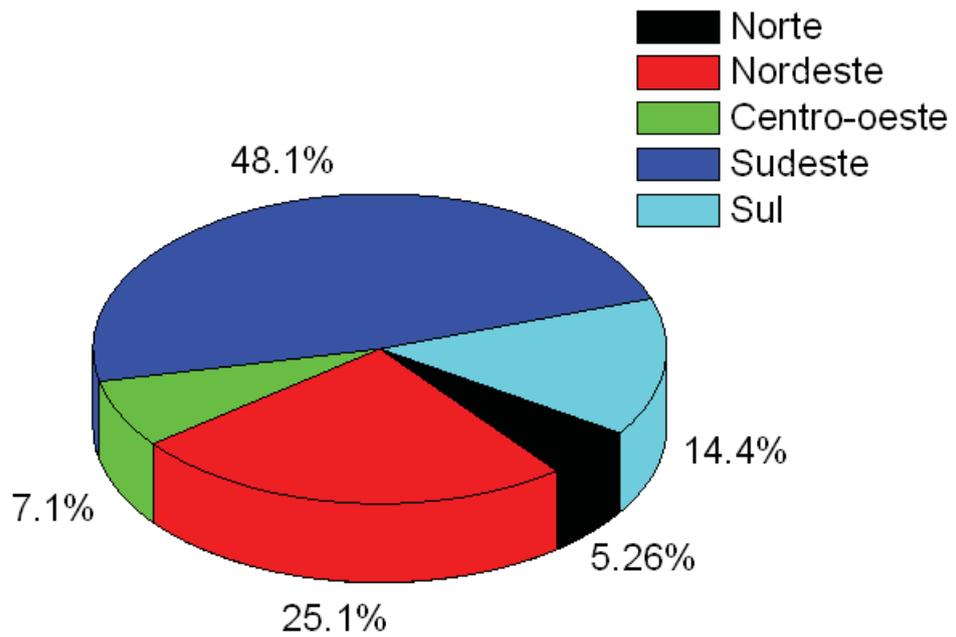


Figura 14. Representatividade de cada região no número total de unidades consumidoras em 2007 (ANEEL, 2008 – com modificações).

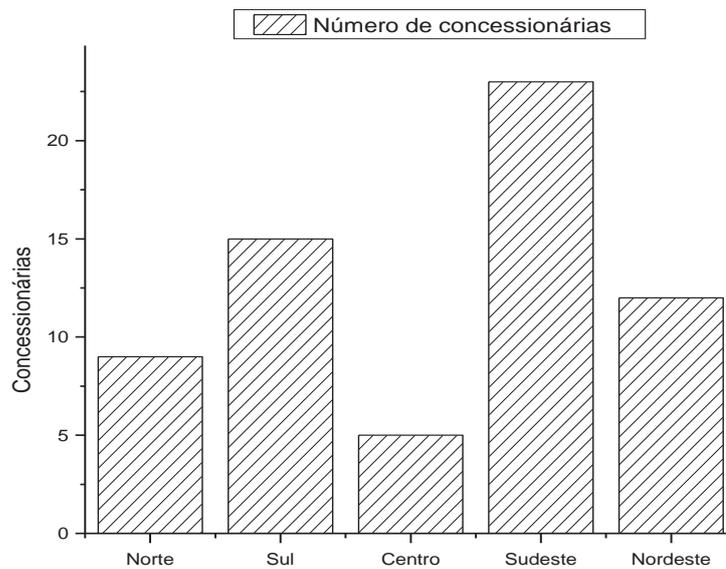


Figura 15. Número de concessionárias no país (ANEEL, 2012 a)

A Tabela 2 apresenta a quantidade de energia gasta por classe de consumidor no Brasil durante o mês de novembro de 2011.

Tabela 2. Consumo de energia no Brasil por tipo de consumidor em 2011 (ANEEL, 2012 b)

Classe de Consumo	Consumo de energia em MWh	Receita do Fornecimento em R\$		Número de Unidades Consumidoras	Tarifa Média de Fornecimento em R\$
Residencial	9.431.800	3.062.313.559,52		59.537.313	324,68
Industrial	6.174.601	1.487.409.740,96		558.055	256,69
Comercial e Serviços	6.029.721	1.817.215.080,85		5.086.418	303,53
Rural	1.230.226	266.157.591,47		4.030.607	216,35
Poder Público	1.112.836	367.812.623,38		523.616	330,52
Iluminação Pública	1.037.346	184.290.013,64		85.381	177,66
Água, esgoto e saneamento	933.691	203.230.158,34		69.417	217,66
Consumo Próprio	58.713	17.354.272,39		8.480	319,10
Rural Aquicultor	31.303	5.921.894,00		98.081	189,18
Rural Irrigante	314.861	54.248.741,74		60.338	172,29
Serviço Público (tração elétrica)	49.903	12.747.974,37		348	255,46
Total	26.405.002	7.478.701.650,66		70.058.054	251,19

Na Tabela 3 é possível observar a distribuição de energia de acordo com as fontes utilizadas. É importante notar que grande parte da energia gerada no país é proveniente de hidrelétricas e de derivados de petróleo.

Tabela 3. Oferta interna de energia 2011 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011)

Especificação	Mil tep		11/10 %	Estrutura %	
	2010	2011		2010	2011
Não Renovável	147569	152187	3,1	54,9	55,9
Petróleo e derivados	101714	105200	3,4	37,8	38,6
Gás Natural	27536	27601	0,2	10,2	10,1
Carvão Mineral e derivados	14462	15243	5,4	5,4	5,6
Urânio e derivados	3857	4143	7,4	1,4	1,5
Renovável	121203	120160	-0,9	45,1	44,1
Hidráulica e eletricidade	37663	39943	6,1	14	14,7
Lenha e carvão vegetal	25998	26333	1,3	9,7	9,7
Derivados de cana de açúcar	47102	42779	9,2	17,5	15,2
Outras Renováveis	10440	11105	6,4	3,9	4,1
Total	268711	272348	1,3	100	100

Atentando para a energia elétrica, o Brasil ocupa uma posição de destaque no que se refere à utilização de fontes renováveis para estes fins. Da sua capacidade instalada de 115065,54 MW em julho de 2011, aproximadamente 79% deste total

provém de fontes renováveis, e as hidrelétricas respondem por 70,8% desta energia instalada (URSAIA et al., 2011).

Analisando mais precisamente, pode-se separar este potencial em 929 usinas hidrelétricas espalhadas por todo o território nacional (BRASIL, 2012). Além disso, 36% de toda energia elétrica instalada no Brasil é fornecida por empresas do grupo Eletrobrás, sendo responsáveis por 21 usinas hidrelétricas, 15 termelétricas e 2 nucleares, equivalendo a 41,7 GW (BRASIL, 2012).

Com estas informações, é possível perceber que a geração de energia elétrica no Brasil é muito centralizada e pouco diversificada, ou seja, a maior parte da produção de energia elétrica depende de poucas fontes.

Além disso, é preciso entender o contexto da política brasileira para geração de energia. Primeiramente é importante lembrar que o modelo institucional brasileiro do setor de energia elétrica passou por duas grandes mudanças desde a década de 1990. A primeira mudança envolveu a privatização das companhias operadoras, principalmente devido à Lei n. 9427 (Dezembro de 1996), que instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e determinou que a exploração de potenciais hidráulicos fosse concedida via concorrência ou leilão.

A segunda mudança ocorreu em 2004, com a introdução do novo modelo do Setor Elétrico (Figura 16), que teve como objetivos principais garantir a segurança no suprimento, promover a modicidade tarifária e promover a inserção social, em particular pelos programas de universalização (como o programa “Luz para Todos”). Sua implantação marcou a retomada da responsabilidade do planejamento do setor de energia elétrica pelo Estado. Esta segunda alteração também afetou os sistemas de concessão de potencial hidráulico. A partir de 2004 os leilões passaram a ser vencidos não mais por quem oferecia o maior valor de compra, mas sim por aquele que oferecesse o menor valor de venda da energia gerada (URSAIA et al., 2011).

Mais atualmente, já no ano de 2012, uma terceira mudança pode ser citada. Foi criada a Resolução Normativa n. 482, de 17 de Abril estabelecendo as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como para o sistema de compensação de energia elétrica. Esta resolução serve de incentivo para a descentralização da geração de energia elétrica, além de estimular a utilização de fontes sustentáveis de energia. A Tabela 4 apresenta o panorama atual de empreendimentos de geração de energia elétrica de diversas fontes.

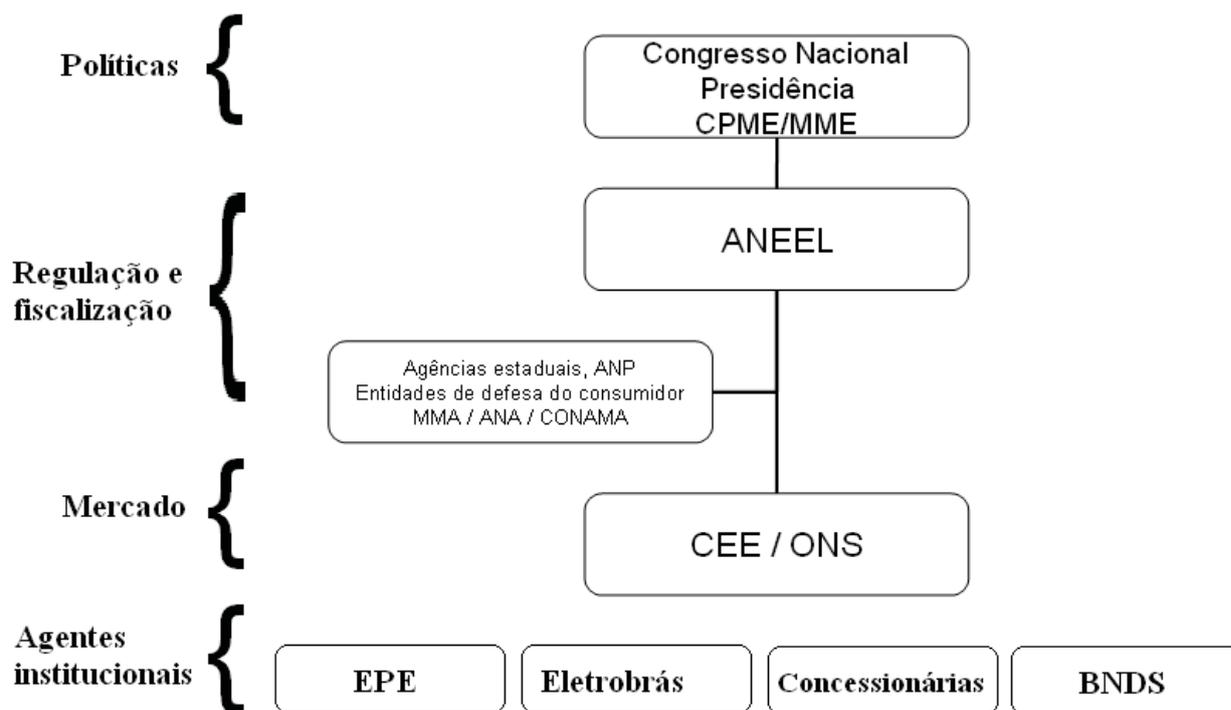


Figura 16. Constituição do novo modelo do setor elétrico (ANEEL, 2008 – com alterações).

Com a resolução da ANEEL, espera-se que haja um crescimento sustentado da geração de energia por fontes renováveis, principalmente energia eólica e fotovoltaica, por serem mais exequíveis para o microgerador, em especial o microgerador residencial.

Um dos aspectos mais importantes desta resolução normativa é o fato de não serem dados aos microgeradores qualquer tipo de remuneração por sua produção gerada e repassada à rede de transmissão a não ser um desconto em suas contas (podendo ser acumuladas para outras contas caso o valor do desconto exceda o valor da conta no mês) negociado diretamente com a concessionária.

Mesmo que o microgerador não receba apoio financeiro para estruturar suas instalações é importante ressaltar que ele não precisa se utilizar de seus recursos apenas para a geração de energia elétrica, sendo possível também a utilização de sua planta para a cogeração. Atualmente existem alguns casos de cogeração, sendo alguns deles cogeração qualificada. Esta qualificação como cogedor oferece o benefício de taxas reduzidas para combustíveis utilizados para a geração de energia e que sejam também utilizados para a cogeração. A resolução da ANEEL 235/2006 regulamenta a classificação de unidades cogedoras, para posteriores benefícios com os incentivos concedidos pelo governo para essas instalações. Para mais detalhes a resolução da ANEEL 235/2006 está disponível no Anexo A.

Tabela 4. Panorama atual de geração de energia elétrica

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (Kw)	%
CGH	391	232.499	230.869	0,19
EOL	82	1.820.528	1.747.332	1,46
PCH	427	4.215.077	4.141.293	3,46
UFV	9	6.576	2.576	0
UHE	201	81.963.837	79.048.204	66,09
UTE	1.588	33.758.023	32.428.208	27,11
UTN	2	1.990.000	2.007.000	1,68
Total	2.700	123.986.540	119.605.482	100
Empreendimentos em Construção				
CGH	1	848	-	0
EOL	76	1.874.696	-	6,71
PCH	49	575.612	-	2,06
UHE	12	18.282.400	-	65,43
UTE	39	5.857.019	-	20,96
UTN	1	1.350.000	-	4,83
Total	178	27.940.575	-	100
Empreendimentos Outorgados entre 1998 e 2012 (não iniciaram sua construção)				
CGH	57	38.146	-	0,19
CGU	1	50	-	0
EOL	213	5.753.543	-	27,96
PCH	130	1.821.291	-	8,85
UHE	15	3.149.442	-	15,30
UTE	140	9.815.681	-	47,70
Total	556	20.578.153	-	100

Legenda: CGH - Central Geradora Hidrelétrica; CGU - Central Geradora Undi-Elétrica; EOL - Central Geradora Eolielétrica; PCH - Pequena Central Hidrelétrica; SOL - Central Geradora Solar Fotovoltaica; UFV - Usina Fotovoltaica; UHE - Usina Hidrelétrica de Energia; UTE - Usina Termelétrica de Energia; UTN - Usina Termonuclear. Dados Atualizados em 29/10/2012 (BIG, 2012).

3.1.2 O consumidor final

O alvo das políticas de geração e eficiência energética é o consumidor final. O valor pago pelo consumidor final no regime de compra de energia atual, resulta da soma do valor de geração da energia, mais o valor do transporte e os encargos e tributos relacionados (ANEEL, 2008). Com o incentivo da microgeração a tendência é que esses valores diminuam ou até mesmo sejam zerados. A tarifação também é diferenciada entre os diferentes tipos de consumidor final (ANEEL, 2008):

Alta Tensão:

AI – Tensão igual ou maior que 230 kW;

A2 – Tensão entre 88 KW á 138 kW;

A3 – Tensão de 69 kW;

-A3a – Tensão entre 30 KW á 44 kW;

A4 – Tensão entre 2,3 KW á 25 kW;

A5 – Tensão inferior ou igual á 2,3 kW atendida pelo sistema subterrâneo e faturada no grupo A.

Baixa Tensão:

B1 – Residencial e residencial de baixa renda;

-Monofásico

-Bifásico

-Trifásico

B2 – Rural, cooperativas rurais e serviço público de irrigação;

B3 – Outros;

B4 – Iluminação pública.

O sistema de transmissão de energia, o SIN (Sistema Interligado Nacional), possui mais de 90.000 km de fios conectando as usinas de produção às distribuidoras e ao consumidor final. Como muitas vezes a central de produção está distante dos centros consumidores, isso causa um aumento no preço da transmissão de energia, além de causar desperdícios. No caso das regiões não ligadas ao SIN, estas são chamadas de sistemas elétricos isolados e ocorrem principalmente no norte do país (ANEEL, 2008).

Segundo ANEEL (2012), o Brasil possui atualmente 64 concessionárias, ligadas ou não ao SIN, com o preço médio para o consumidor B1 de R\$ 0,37 / kWh centavos para o consumidor. A Tabela 5 apresenta o preço médio do kWh para o consumidor em cada região do país. Já a Tabela 6 apresenta o valor médio em MWh para cada tipo de consumidor nas diferentes regiões do país durante o ano de 2011.

Tabela 5. Preço médio para o consumidor B1 do kWh para o ano de 2012 (ANEEL, 2012 a)

Região	Preço médio do kWh
Norte	R\$ 0,36
Sul	R\$ 0,36
Nordeste	R\$ 0,39
Sudeste	R\$ 0,37
Centro-oeste	R\$ 0,39

Tabela 6. Preço médio em R\$ do MWh por região no mês de novembro de 2011 (ANEEL, 2012 b).

Classe de Consumo / Região	Centro Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Brasil
Residencial	334,92	323,53	328,05	324,08	321,54	324,68
Industrial	237,14	253,68	227,27	258,81	265,07	256,69
Comercial e Serviços	307,82	328,90	326,69	295,25	297,09	303,53
Rural	229,03	235,92	234,36	213,44	203,83	216,35
Poder Público	320,39	353,47	355,26	317,97	319,89	330,52
Iluminação Pública	173,42	193,07	184,57	176,43	160,03	177,66
Água, esgoto e saneamento	213,61	221,21	239,31	215,18	213,74	217,66
Consumo Próprio	348,12	340,98	341,96	308,62	293,69	319,10
Rural Aquicultor	273,64	189,25	235,60	211,84	166,87	189,18
Rural Irrigante	195,77	152,53	344,34	176,49	222,71	172,29
Serviço Público (tração elétrica)	-	271,43	235,48	253,48	264,80	255,46
Totais	289,47	292,52	296,75	288,26	280,31	288,13

3.2 CASO ALEMÃO

3.2.1 Matriz energética e produção

Segundo a Thema Energie (2012 a), que é a distribuidora de energia na Alemanha, a produção bruta de energia no país (dados de 2009) é de cerca de 596 TWh. A matriz atual da Alemanha encontra-se dividida da maneira descrita na Tabela 7.

Tabela 7. Produção de energia elétrica na Alemanha de acordo com as diferentes fontes (THEMA ENERGIE, 2012 a)

Fonte	% no total produzido
Linhite	24,6
Energia Nuclear	22,6
Carvão	18,3
Gás natural	12,9
Eólica	6,4
Biomassa	4,2
Hidrelétrica	3,2
Fotovoltaico	1,0
Óleo Mineral	2,1
Resíduos	0,6

A Alemanha possui uma rede de distribuição de energia ampla, que procura atender de forma eficaz a comunicação entre as unidades produtoras (usinas), armazenamento, transmissão e distribuição ao consumidor final. A rede atual tem cerca de 4.400 km ligando os consumidores as unidades produtoras, porém além de expandir

a rede, o governo pretende investir principalmente na otimização da distribuição (BUNDERMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE, 2012 a).

Com o uso de tecnologias inclusive na casa do próprio consumidor, com os medidores inteligentes no lugar dos convencionais, e também a instalação de novos projetos visando criar uma rede inteligente, visa-se não apenas distribuir e medir o gasto de energia, mas também obter informações sobre a qualidade do abastecimento, problemas na distribuição, variações na tensão e frequência, carga da rede, de forma totalmente automatizada. Pretende-se que até 2013 comecem a ser implementados também projetos pilotos visando aumentar ainda mais o uso de tecnologias de informação para gestão da rede energética (BUNDERMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE, 2012 b).

Atualmente o custo para o consumidor doméstico é de 0,24 centavos de euro por kWh, na energia comprada da rede (THEMA ENERGIE, 2012 b). Já o preço do MWh para a indústria é em média 49,5 euros (CONSENTEC; R2B, 2010). A família média alemã gasta cerca de 2.443 euros por ano em energia elétrica, sendo 38% desse valor destinado ao aquecimento da casa e de água (THEMA ENERGIE, 2012 b), sendo essa a principal área que pode ser suprida pela microgeração.

3.2.2 Política de autogeração de energia na Alemanha

A crise energética que afeta o mundo, bem como a aversão a algumas formas de energia tradicionais, faz com que seja necessária a busca de fontes alternativas de produção de energia, de forma a se evitar a utilização de combustíveis fósseis e até mesmo energia atômica. Seria também necessário descentralizar a produção de energia renovável, abrindo espaço para o consumidor gerar potência elétrica em sua própria residência. A Alemanha optou por seguir este rumo desde o fim do século passado e hoje é uma das líderes na produção de energia renovável no mundo. A Figura 17 mostra o potencial instalado em fontes renováveis na Alemanha em 2010, além das metas para os anos de 2015 e 2020.

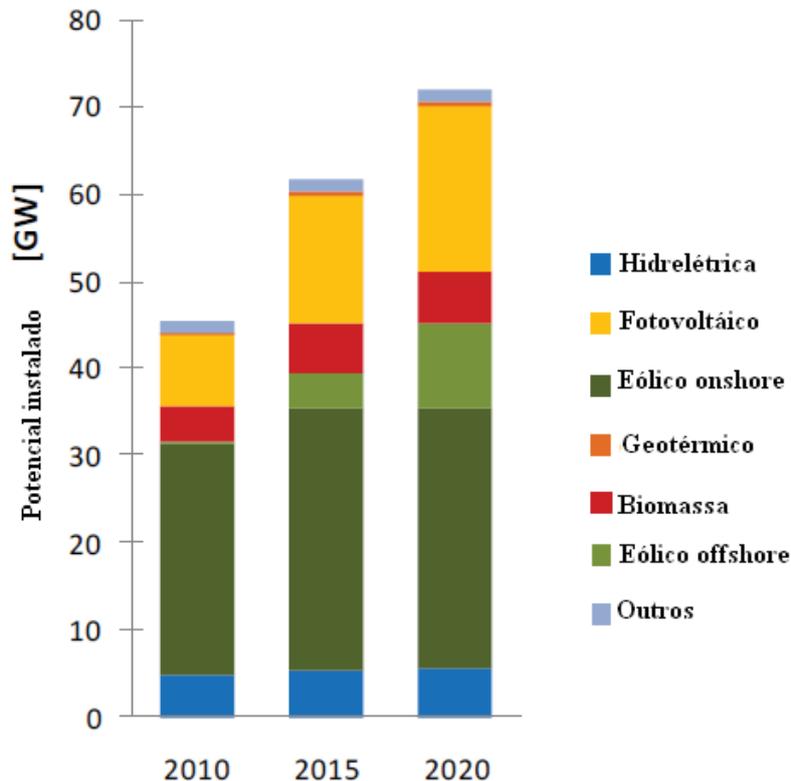


Figura 17. Potencial instalado em fontes renováveis na Alemanha, atual e perspectivas futuras (CONSENTEC; R2B, 2010 – com adaptações).

O sucesso nessa área se deve a um ato denominado *Eneurbare-Energien-Gesetz* (EEG), ou *Renewable Energy Sources Act* (Lei de fontes renováveis de energia), que começou a valer no dia 1º de Abril de 2000. Com isto, houve uma mudança fundamental no suprimento de energia do país. A partir deste ato, todo cidadão alemão poderia se tornar auto-produtor de energia e se integrar a rede de energia alemã e recebendo uma remuneração para tal (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007)

3.2.3 Remuneração por autogeração

Cada autogerador de energia por fontes renováveis recebe uma remuneração pela interligação dessa energia com a rede alemã. Tal remuneração é recebida em forma de descontos em centavos por kWh produzidos pelo autogerador.

O valor dessa remuneração varia de acordo com o ano da adesão ao sistema, sendo que quanto antes o autogerador começa a produzir, maior o desconto que ele

receberá. Assim sendo, um autogerador que se integrou a rede no ano de 2004 receberá uma remuneração maior que o mesmo sistema introduzido no ano de 2007, por exemplo. Estes valores também variam com a potência gerada na autoprodução de energia. Quanto menor a potencia, maior a remuneração por kWh. Isso se deve ao fato de o governo alemão buscar a descentralização da geração de energia por fontes sustentáveis, além de incentivar os produtores de menor capacidade. Outro fator que influencia nesta remuneração é o tipo de tecnologia utilizada (solar, eólica, biomassa). Cada uma destas porcentagens de dedução no imposto está devidamente tabelada no documento do EEG (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007).

Tendo todos estes parâmetros em mente, pode-se avaliar qual o valor exato da remuneração que o autogerador receberá, e esta tarifa se manterá fixa pelo período de 20 anos, com o intuito de não prejudicar os autogeradores caso ocorra alguma mudança no EEG. A Tabela 8 indica os valores desta remuneração definidos nos anos de 2000 e 2004 (ano em que o EEG definiu e readequou todas as taxas).

Tabela 8. Taxas definidas pelo EEG nos anos de 2000 e 2004. (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007 – com adaptações)

Tecnologia	Taxa de desconto	
Hidroelétrica (> 5 MW)	-	1,00%
Eólica	1,50%	2,00%
Fotovoltaica	5,00%	5,00%
Geotérmica	-	1,00%
Landfill/sewege plants/mine gasses	-	1,50%
Biomassa	1,00%	1,50%
	EEG (2000)	EEG (2004)

3.2.4 Energia fotovoltaica

A expansão da instalação de energia fotovoltaica na Alemanha tem crescido muito desde o Decreto Interino sobre Fotovoltáicos de 2003 que foi integrado na emenda do EEG de 2004 (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007). Como os painéis fotovoltaicos podem ser integrados em diferentes locais (seja no telhado de uma residencia ou em campos de geração solar), diferentes taxas foram associadas para a geração de energia utilizando esta tecnologia. Assim sendo, a tarifa paga pela produção

de energia solar em grandes espaços abertos será menor que a remuneração recebida pela produção no telhado de uma casa (gerando menos potência). Esta política serve como incentivo ao pequeno produtor, que recebe um “bônus” por integrar os painéis fotovoltaicos à sua residência.

Na Tabela 9 é possível verificar as taxas pagas para cada nível de produção e o benefício recebido por utilizar-se da tecnologia fotovoltaica em edificações.

Tabela 9. Tarifas pagas para cada nível de autogeração (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007).

Plantas Instaladas em edificações	Remuneração em centavos por kWh			
< 30 kWp	57,40	54,53	51,80	49,21
Entre 30 kWp e 100 kWp	54,60	51,87	49,28	46,82
> 100 kWp	54,00	51,30	48,74	46,30
“bônus para edificações”	5,00	5,00	5,00	5,00
Plantas não Instaladas em Edificações				
Tarifa Mínima	45,70	43,42	40,60	37,96
Ano de Início	2004	2005	2006	2007

3.2.5 Biomassa

A biomassa é usualmente utilizada em regiões rurais onde existe maior concentração de fazendas. O fazendeiro pode utilizar material da sua própria produção, que antes seria descartado, para gerar parte de sua energia necessária. Na Alemanha, no ano de 2006, a produção de energia por biomassa, seja para aquecimento ou produção de energia elétrica, atingiu 3,3% do consumo (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007).

Na Tabela 10 é possível observar as tarifas básicas para a produção de energia elétrica através de biomassa (com ano de início em 2007). Nota-se que, como em outras tecnologias, o autogerador de menor porte recebe incentivos maiores, como estímulo para sua produção.

Tabela 10. Tarifas básicas para autogeração de energia elétrica com biomassa (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007 – Com adaptações).

Capacidade	Remuneração em centavos por kWh [ct/kWh]
< 150 kW	10,99
Entre 150 kW e 500 kW	9,46
Entre 500 kW e 5 MW	8,51
Entre 5 MW e 20 MW	8,03

Ano de início em 2007

Além disso, o EEG concede um bônus para o autogerador dependendo da fonte utilizada para gerar a biomassa, da eficiência energética alcançada e da tecnologia empregada (EEG Brochure 01, 2007). O bônus concedido por utilizar fontes renováveis em plantas menores que 150 kW é de 6,0 centavos de Euro por kWh. Esta remuneração apenas é válida caso haja o cultivo de tais fontes (plantas, por exemplo) para a geração de energia. Caso resíduos e outros gastos em geral sejam adicionados, este bônus é retirado. Instalações que usem parte do calor gerado no processo de cogeração calor/potência recebem uma taxa por eficiência energética. O valor é pago para a energia elétrica que está correlacionada com a produção deste calor, e é calculado demonstrando a quantidade de calor utilizado e então multiplicando pelo coeficiente de eletricidade da instalação (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007).

Outro adicional se refere à utilização de tecnologias consideradas inovadoras, como a fermentação a seco ou células combustíveis, utilizadas nas plantas instaladas. Este bônus pode atingir a taxa anual de 1,5% para a biomassa.

A Tabela 11 indica os valores destes bônus para as respectivas faixas de potência geradas. É importante notar que o governo Alemão não beneficia geradores de potências acima de 20 MW, visando sempre a descentralização da geração de energia por fontes renováveis.

Tabela 11. Bônus concedidos para biomassa. (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007 – Com adaptações).

Tarifa Básica	Remuneração em centavos por kWh (2007)			
	150 kW	500 kW	5 MW	5-20 MW
Tarifa Básica	10,99	9,46	8,51	8,03
Bônus para Biomassa	6,00	6,00	4,00	0,00
Bônus por eficiência energética (kWK)	2,00	2,00	2,00	2,00
Bônus por tecnologia	2,00	2,00	2,00	0,00
Plantas até	150 kW	500 kW	5 MW	5-20 MW

Os gases liberados em estações de tratamento de esgoto e minas podem ser convertidos em eletricidade utilizando vários procedimentos (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007). Para tais fontes existem taxas variadas, expressas na Tabela 12.

Tabela 12. Taxas pagas para estações de tratamento de esgoto / aterros / minas (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007 – Com adaptações)

Capacidade da planta	Remuneração paga em centavos por kWh	
Até 500 kW	7,33	7,76
Entre 500 kW e 5 MW	6,35	6,65
Acima de 5MW		
Mina de gás	6,35	6,65
Landfill/sewage plant gas	-	-
Período de remuneração	2007	Antes de 01/08/2004

Cada uma das taxas mínimas aumenta em 2,00 centavos por kWh se o gás de alimentação no processo for de procedência natural ou se a eletricidade gerada utilizar tecnologias inovadoras, como células combustíveis, turbinas a gás, etc. (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURAL CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY, 2007).

4 MICROGERAÇÃO

Microgeração é a produção de energia em pequena escala, seja em prédios ou pequenas comunidades para uso estritamente local (TIMOTHY et al., 2008).

Esse tipo de geração também é chamado de geração descentralizada, onde a energia é produzida no próprio local de consumo, evitando assim gastos e desperdícios ligados a rede de transmissão, além de diminuir significativamente a emissão de CO₂ quando observado em larga escala (BRANCO, 2009). Considera-se como microgeração as instalações que não ultrapassam 1MW (MEDINA, 2010). Esse modelo de obtenção de energia é uma tendência apresentada atualmente, iniciada na Europa, como forma de suprir a demanda energética da sociedade de maneira sustentável, e principalmente sem a grande dependência de combustíveis fósseis (JANUZZI et al., 2012).

Na microgeração foca-se no uso de alternativas sustentáveis como energia eólica, solar, biomassa e geotérmica para a produção de energia local. Pode-se dividir as tecnologias de microgeração em (MEDINA, 2010):

- *Maduras*: são as tecnologias já estudadas há um relativo tempo, e que já apresentam diversos casos de aplicações práticas, como a energia solar (térmica e fotovoltaica), eólica, mini centrais hidráulicas e turbina a gás.
- *Semi-maduras*: tecnologias que apesar de já apresentarem resultados práticos ainda necessitam de maiores estudos para sua viabilidade comercial, como biomassa, microturbinas e células de combustível.
- *Emergentes*: fontes geradoras potenciais, mas que ainda se encontram em fase de estudo, como energia geotérmica e marinha.

No sistema convencional essa escolha não existe, visto que o consumidor é obrigado a comprar sua energia do sistema de distribuição, sem real autonomia sobre a compra (DIAS, 2009). Pode-se citar como principais vantagens da microgeração (DIAS, 2009; TIMOTHY et al, 2008):

- Evita perdas na transmissão;
- Diminui a emissão de CO₂;
- Acesso a regiões distantes;
- Menores gastos em longo prazo em relação a expansão e manutenção da rede com modelo centralizado;
- Uma rede descentralizada é mais resistente contra apagões;

- A energia excedente pode ser vendida quando o sistema é ligado à rede tradicional de distribuição.

Essas são algumas das vantagens de um modelo descentralizado, com microgeração em relação ao modelo convencional de geração e distribuição de energia. Porém, para a transformação de um sistema centralizado para um sistema descentralizado são necessárias inúmeras mudanças, tanto regulatórias por parte do governo, acordos com as empresas de distribuição que poderão ser afetadas, quanto também interação com a população beneficiada (MEDINA, 2010).

O primeiro passo para o crescimento de instalações microgeradoras de energia é o próprio incentivo do governo, em relação à compra de equipamentos e apoio técnico. Na Europa, principalmente na Alemanha e Reino Unido, países pioneiros na propagação do sistema descentralizado, as ações governamentais foram e são muito importantes. Isso se deve a decisão da União Europeia de 2001, a “Diretiva das Renováveis”, que visa promover o uso e desenvolvimento de alternativas energéticas sustentáveis no mercado energético interno (CASTRO, 2009).

Anteriormente a isso, a quase duas décadas, a Alemanha já possuía fortes políticas públicas visando o aumento do uso de energias renováveis, e através do EEG (Lei das Fontes de Energia Renováveis) promoveu-se uma maciça expansão no número de instalações microgeradoras. Vê-se que o projeto alemão conseguiu aumentar a participação, principalmente da energia eólica de 1,3% para 6,3% na matriz energética em apenas 8 anos (FRONDEL et al., 2009). A Figura 18 permite observar o avanço no número de instalações de painéis fotovoltaicos, solar-termois e sistemas de aquecimento por energia solar na Alemanha entre 2000 e 2006.

Estima-se que a Alemanha possua cerca de 1 milhão de unidades microgeradoras, enquanto o Reino Unido possua cerca de 100.000. Mesmo que aproximadamente 1/3 desses números sejam de unidades voltadas para o aquecimento solar de água, já são valores expressivos (TIMOTHY et al., 2008).

Como exemplo de incentivo governamental, o governo britânico planeja oferecer até 1000 libras anuais por até 25 anos para residências interessadas em implantar seu próprio sistema de microgeração. Considerando que o preço médio de instalação dos equipamentos é de aproximadamente 12.500 libras, é uma proposta vantajosa para o consumidor que tenha condições de fazer este investimento inicial (LUNA, 2010).

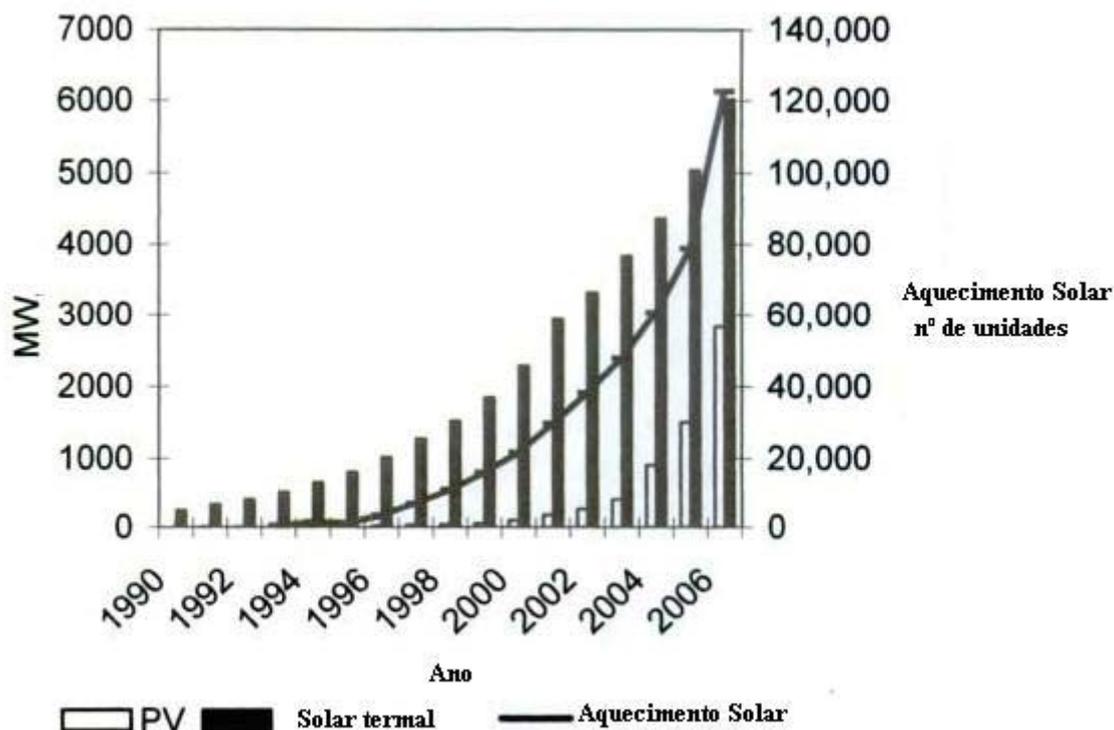


Figura 18. Aumento no número de unidades microgeradoras na Alemanha (TIMOTHY et al., 2008 – com modificações).

A Figura 19 ilustra uma casa modelo com microgeração a partir tanto de uma turbina eólica de baixa potência quanto por painéis fotovoltaicos, ligada à rede de distribuição.

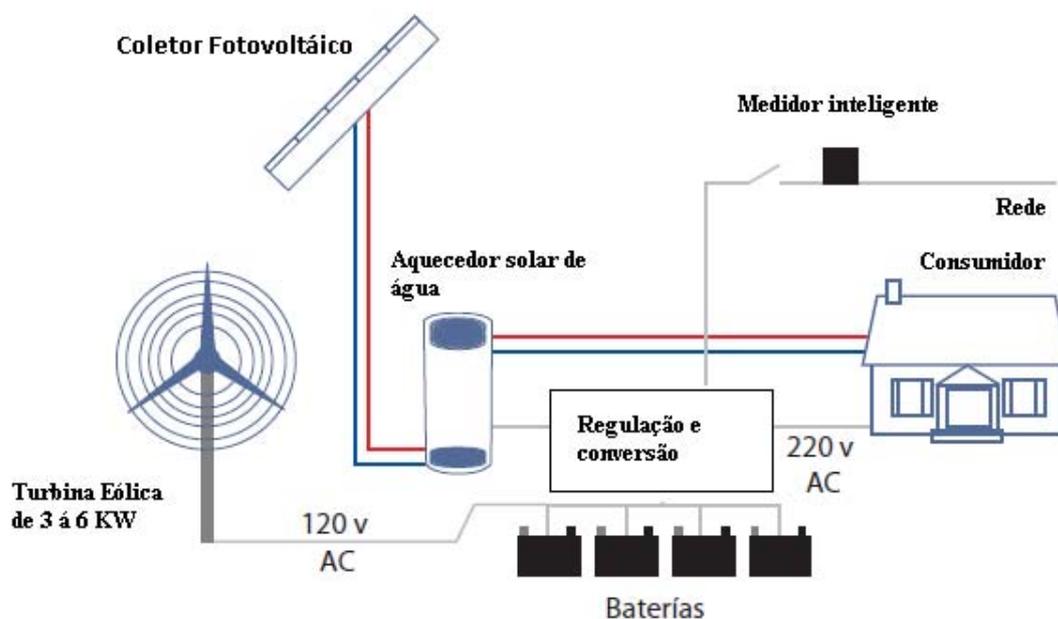


Figura 19. Modelo de casa com microgeração (LUNA, 2010 – com modificações).

4.1 O CASO BRASILEIRO

O Brasil é um país de extensões continentais, e que sofre um grande problema em relação à rede de distribuição de energia. Na Região Norte principalmente, devido ao regime hidrológico, a expansão da rede de distribuição convencional é limitada, principalmente se for considerada que a região é pouco populosa. A Figura 20 permite observar como o sistema atual exclui a Região Norte, prejudicando assim a população que ali vive e depende de outros métodos (como geradores diesel) para obter energia. Sendo assim, é uma região que merece atenção, e que é muito beneficiada pelo desenvolvimento atual de um sistema descentralizado de produção (ANEEL, 2005).



Figura 20. Sistema brasileiro de distribuição de energia (ANEEL, 2002).

Outra região que sofre problemas é a Região Nordeste, que também possui uma grande concentração de comunidades rurais isoladas, que muitas vezes não são

atendidas pelo sistema integrado nacional (ANEEL, 2005). Além disso, o Brasil passa por um momento de crescimento econômico no qual se verifica um grande aumento da demanda energética; sendo assim, não se pode depender apenas da energia gerada por meio das centrais hidrelétricas, o que reforça mais uma vez a necessidade de projetos voltados a microgeração¹ (PEREIRA et al., 2012).

O projeto SWERA “Solar and Wind resource assessment” foi criado para incentivar o uso de energias renováveis, mais precisamente eólica e solar, na matriz energética de países em desenvolvimento da América Latina, África e Ásia (MARTINS et al., 2007). Ele foi essencial para a coleta de dados para a geração de cartas de radiação solar, e cartas de vento que são as informações essenciais para a instalação de sistemas eólicos e solares tanto em pequena quanto grande escala.

Após a coleta desses dados, projetos como o PRODEEM – Programa de desenvolvimento energético de estados e municípios, “Luz para todos” e principalmente o PROINFA, também do governo federal, podem desenvolver e financiar a implantação de pequenas unidades geradoras de acordo com a necessidade e capacidade das comunidades (PEREIRA et al., 2012). Segundo Borges et al. (2007), já existem diversas comunidades, principalmente na Região Norte, com projetos piloto de microgeração com painéis fotovoltaicos e até mesmo pequenas unidades de geração eólica (Figura 21).

¹ Em nosso entendimento, não se deve deixar de destacar a importância das iniciativas voltadas ao uso racional de energia para o contexto energético do país.



(a)



(b)

Figura 21. (a) Unidade de geração fotovoltaica para bombeamento de água na Bahia e (b) unidade geradora eólica fabricada no Brasil (ANEEL, 2005 e SANTOS, 2011).

5 EQUIPAMENTOS

5.1 AEROGERADORES

Segundo a empresa EolicaRio (ALMEIDA, 2012 a), a instalação completa de um sistema de geração de energia eólica, contando com os equipamentos, mão de obra e frete é de cerca de R\$ 6.290 para um gerador de 350 W (sendo R\$ 2.990 apenas para a turbina) e R\$ 12.090 para um gerador de 1000 W (sendo R\$ 5.990 apenas para a turbina).

Para a instalação da turbina eólica (aerogerador) é necessário primeiramente conhecer o regime de ventos da região. É necessário que o fluxo seja de cerca 500 W/m² e velocidade de 7 a 8 m/s (GRUBB; MEYER, 1993). Esse regime também precisa ser constante para que o gerador possa operar satisfatoriamente durante todo o ano. Para isso, informações como aquelas disponíveis no “Panorama do potencial eólico do Brasil” (FEITOSA et al., 2003) são essenciais para um estudo prévio, tanto para se avaliar a viabilidade de instalação quanto para se determinar o maior rendimento a ser obtido naquele ponto.

As turbinas eólicas podem ser de pequeno (0,1 kW – 100 kW) ou de grande porte (100 kW – 4500 kW), variando de acordo com a necessidade de produção do interessado. Quanto à construção dos captadores eólicos (pás), estas podem ser de eixo vertical ou horizontal. Comercialmente, os aerogeradores horizontais apresentam superioridade aos de eixo vertical, sendo os mais utilizados atualmente (ALMEIDA, 2012 b). A Figura 22 ilustra o esquema de uma unidade aerogeradora moderna, incluindo a turbina e os equipamentos anexos.

Uma vez definido o modelo e a viabilidade do regime de ventos local, são necessárias algumas precauções quanto a instalação do aerogerador. A instalação deve ser feita num local preferencialmente alto, acima das construções circundantes, para melhor aproveitamento do vento. Além disso, esse cuidado também evita que pessoas ou animais domésticos possam ser atingidos acidentalmente (INOVAFIEL, 2012).

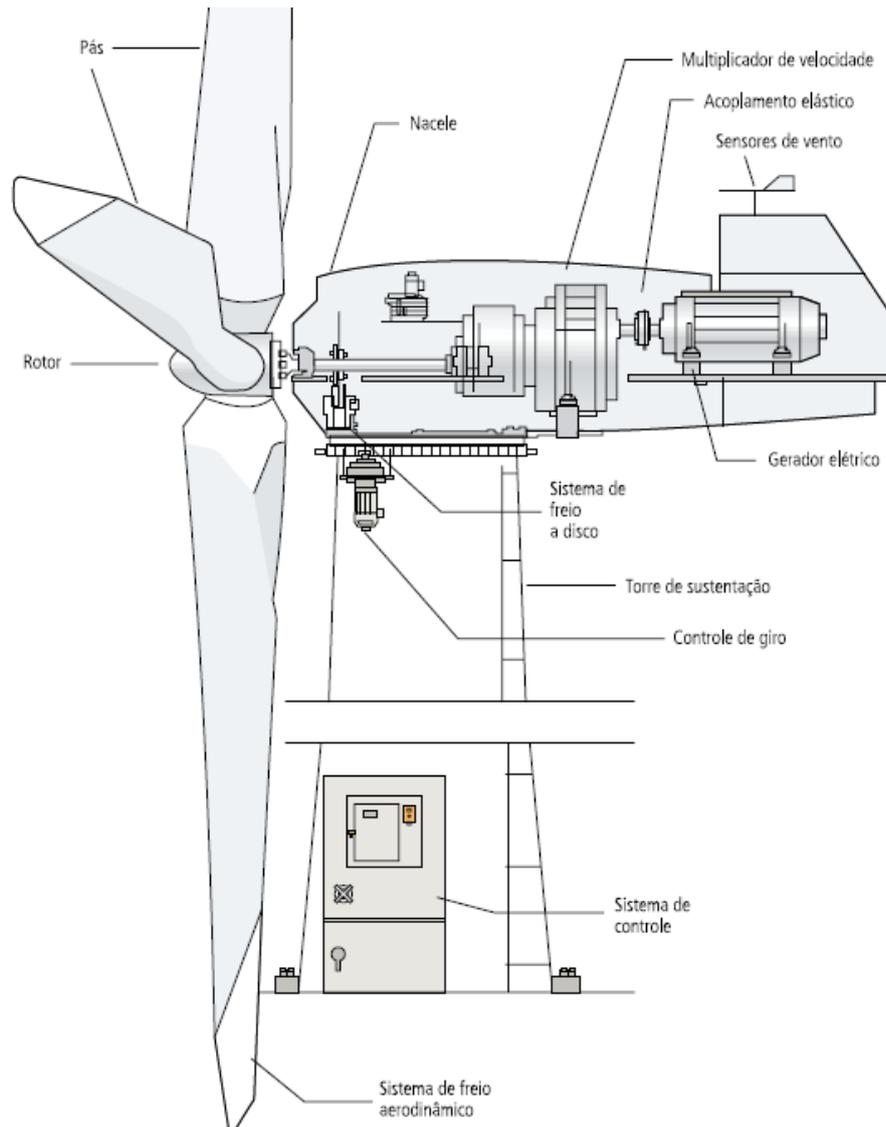


Figura 22. Turbina eólica horizontal (ANEEL, 2005)

É importante que as pás não saiam de controle independente da velocidade do vento. Nesse caso pode ocorrer diminuição da vida útil do equipamento, quebra das pás ou componentes internos e até mesmo ruído desagradáveis. Para evitar que isso ocorra existem sistemas de segurança. No caso de aerogeradores residenciais os principais sistemas usados são (ALMEIDA, 2012 b):

- *Curto circuito*: No caso de alta velocidade do vento um sistema eletrônico dá um curto circuito no alternador, isso reduz a velocidade das pás e a produção de energia, porém desgasta o equipamento comprometendo a vida útil da máquina.

- *AutoFurling*: Este sistema faz com que todo o conjunto fique de lado para o vento quando este atinge as velocidades de controle. Isso causa a redução da velocidade, porém é suscetível a falhas, pois uma vez que os ventos podem atingir as pás de várias

direções, as rajadas podem fazer com que o conjunto se vire na direção do vento e cause o disparo de velocidade.

Os principais passos para a instalação do sistema são primeiramente a alocação do inversor num local protegido contra luz e umidade. Após isso, o aerogerador é ligado ao inversor, com o interruptor e fusíveis. O próximo passo consiste na instalação da turbina e na fixação na torre, a ligação da turbina com o inversor, e do inversor com a residência (INOVAFIEL, 2012). A Figura 23 apresenta o sistema após instalado.

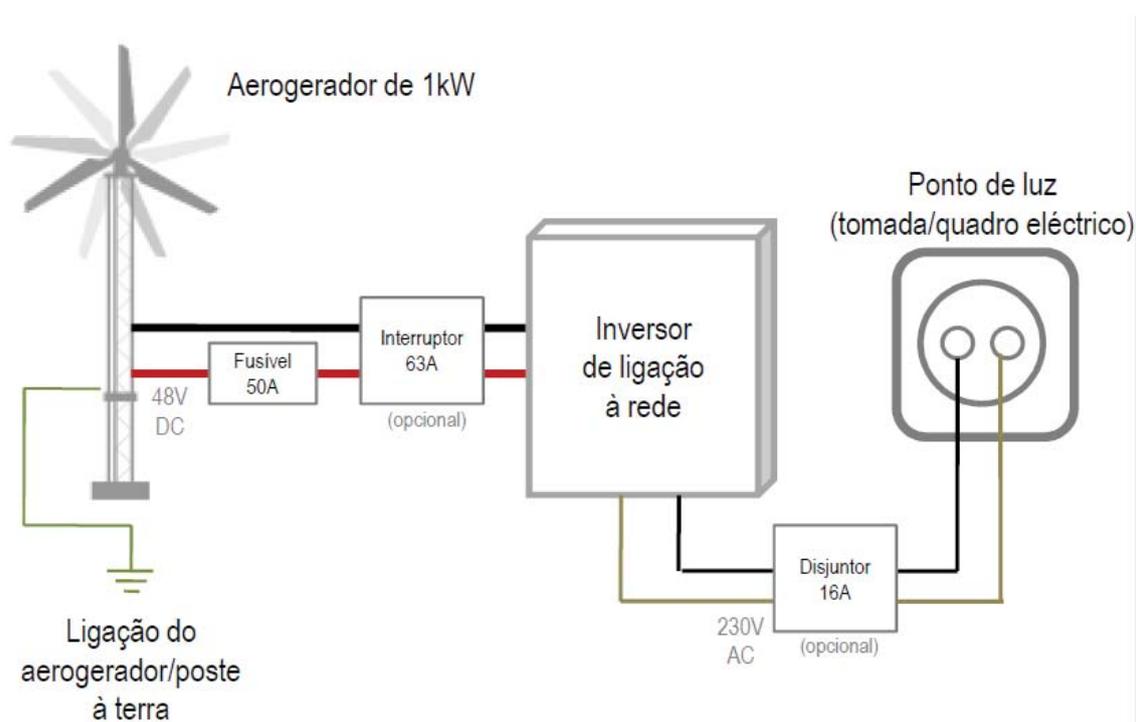


Figura 23. Sistema eólico instalado (INOVAFIEL, 2012).

5.2 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Existem diversos tipos de sistemas fotovoltaicos à venda para o consumidor residencial. Alguns sistemas são projetados para serem ligados à rede da residência, enquanto outros são para uso em apenas determinado aparelho (lâmpadas, geladeiras, TV, etc.). O preço varia de acordo com a capacidade de produção do sistema. A Tabela 13 elenca alguns dos valores praticados pela empresa “Minha Casa Solar” em diferentes módulos fotovoltaicos. Os kits vendidos incluem os painéis fotovoltaicos, controladores de carga e inversores de tensão. Instalação e baterias são adquiridas a parte do pacote. O preço das baterias varia, em geral, entre R\$ 279,00 e R\$ 429,00.

Tabela 13. Preço dos kits fotovoltaicos (MINHA CASA SOLAR, 2012)

Capacidade de geração máxima do kit	Preço em R\$
250 W	679,00
425 W	979,00
1350 W	2299,00
2700 W	5489,00

Para a instalação do sistema fotovoltaico, também é necessário uma avaliação prévia sobre a incidência solar local, para avaliação da viabilidade do projeto e escolha do produto que melhor se enquadre às necessidades do cliente. Esses dados são obtidos principalmente a partir de atlas solarimétricos e estudos prévios da área.

O painel fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas, que são compostas por materiais que quando excitados pela luz produzem energia elétrica (ANEEL, 2005). Entre os materiais usados estão o silício (eficiência comercial de até 14%), silício concentrado (eficiência comercial de até 15%), silício policristalino (eficiência comercial de até 13%) e silício amorfo (eficiência comercial de até 5%).

O equipamento é muito sensível, portanto deve ser instalado num local onde não corra o risco de impacto (como quedas de árvores, pedras, etc.) ou queda, portanto quando instalado sobre telhado este deve ser reforçado para não causar danos ao painel, e ser preferencialmente à prova de fogo (KYOCERA, 2012). Uma vez quebrada a célula não pode ser consertada, e o uso contínuo com o equipamento danificado pode causar danos aos equipamentos ligados à ele (ECOFORCE, 2012). A instalação também deve levar em conta a latitude do local para melhor aproveitamento da radiação solar, como mostra a Figura 24.

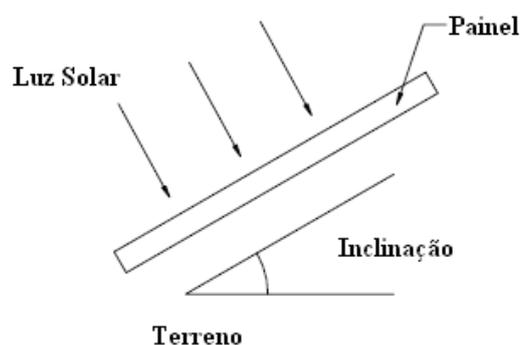


Figura 24. Inclinação do painel (KYOCERA, 2012 - com adaptações).

A inclinação deverá seguir as recomendações da Tabela 14.

Tabela 14. Ângulo de inclinação dos painéis de acordo com a latitude (KYOCERA, 2012)

Latitude	Ângulo do painel
0° a 15°	15°
15° a 25°	O mesmo que a latitude
25° a 30°	Latitude + 5°
30° a 35°	Latitude + 10°
35° a 40°	Latitude + 15°
+ de 40°	Latitude + 20°

Após definido o ângulo de montagem são instalados os trilhos, sobre os quais serão fixados os painéis fotovoltaicos. É importante que sejam respeitados os furos para drenagem, para evitar danos aos painéis devido ao acúmulo de água sob os trilhos (ECOFORCE, 2012). Após isso a fiação do painel é ligada ao inversor e controlador de carga, e estes ligados á bateria (caso haja) e a residência. A aparência final do sistema é apresentada na Figura 25.

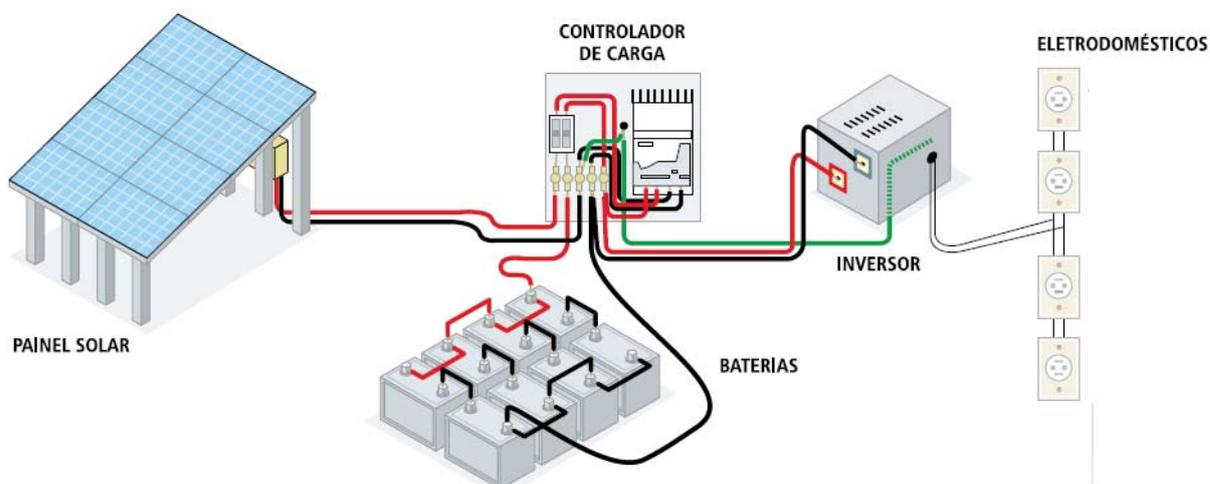


Figura 25. Sistema fotovoltaico após instalado (ANEEL, 2005).

6 ESTUDO DE CASO

6.1 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para o aerogerador eólico é possível determinar a potência gerada a partir da equação (1).

$$P_g = 2,88 * 10^{-4} * D^2 * v^3 \quad (1)$$

Sendo:

P_g – Potência gerada [W]

D – Diâmetro do rotor [m]

v – Velocidade do vento [m/s]

Usualmente, em termos anuais, utiliza-se a velocidade média anual para efetuar este cálculo, no entanto, para resultados mais apurados, leva-se em consideração a distribuição de Weibull, que relaciona a velocidade do vento com a probabilidade desta velocidade ocorrer. A Figura 26 representa a distribuição de Weibull.

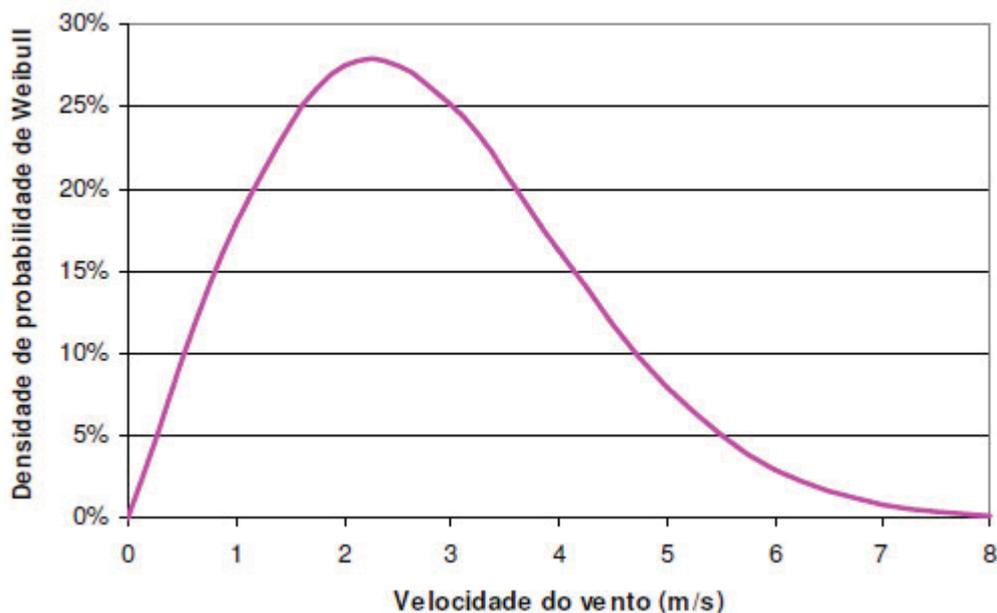


Figura 26. Exemplo de distribuição de weibull (GABRIEL FILHO et al., 2011).

Na prática, utiliza-se a curva de potência do aerogerador eólico, que é uma informação contida nas informações técnicas do equipamento, sendo levantada pelo próprio fornecedor.

Para os painéis fotovoltaicos, é necessário primeiramente estabelecer a área instalada de painéis fotovoltaicos. A potência instalada é determinada multiplicando-se tal área pela potência nominal, dada em kWp/m² (ou dada diretamente pelo fabricante, em kWp)².

Após a determinação da potência instalada, é importante determinar o tempo de incidência máxima (adotado 5 h/dia) e, em seguida, a produção em kWh/ano. Estes valores, associados ao gasto médio anual de cada família, ao investimento em equipamentos e instalação e possíveis benefícios, permitem estimar o tempo de *payback*.

6.2 ALEMANHA

6.2.1 Investimento Inicial

Para o estudo de caso na Alemanha foi considerado o aerogerador eólico Windenergieanlagen – Set 400 W Max 12/24 V Option NEU (anunciado como um dos mais vendidos em www.ebay.de). Suas principais características são:

Potência Nominal: 300 W

Potência Máxima: 400 W

Número de Pás: 3

Velocidade Mínima: 3,5 m/s

Altura de Haste: 6 m

Diâmetro do Rotor: 1160 mm

Potência gerada com vento a 6 m/s: 200 W

(carta disponível em : http://www.ebay.de/itm/400W-MAX-OPTION-WIND-TURBINE-GENERATOR-12-24V-ELECTRICITY-WINDENERGIEANLAGEN-e-/170878056669#ht_19462wt_1139)

Preço: 294,00 Euros.

Instalação: 222,72 Euros.

(<http://www.coemiwindturbines.co.uk/coemi-wind-turbines-general-information/wind-turbine-cost>)

² A unidade kWp lê-se como quilowatt pico, representando a potência gerada pelo sistema fotovoltaico nas horas de maior insolação (período de pico).

O painel fotovoltaico escolhido foi o Photovoltaikanlage Solaranlage 4,32 kWp Bausatz Komplett inkl. Wechselrichter (Também anunciado como um dos mais vendidos em www.ebay.de). Suas principais características são:

Potência Máxima: 240 W

Potência Nominal: 4,32 kWp

Dimensões: 1640mm X 992mm X 40 mm (espessura)

Rendimento: 14%

Preço: 6590,00 Euros ou 18173,24 Reais

Instalação: 200 Euros

fonte: http://www.ebay.de/itm/Photovoltaikanlage-Solaranlage-4-32-kwp-Bausatz-komplett-inkl-Wechselrichter-/261132765598?pt=Solaranlagen&hash=item3cccb9c99e#ht_4964wt_1139

Desse modo, considerando que a irradiação solar global incidente encontra-se no intervalo 900 – 1250 kWh/m² (INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2012) e o gasto médio por família com eletricidade é de 2443,00 Euros/ano ou 6737,00 reais/ano (THEMA ENERGIE, 2012 b), tem-se:

- Capacidade de geração

$$\text{Aerogerador: } P_{ae} = 200 \text{ [W]} \cdot 365 \text{ [dias/ano]} \cdot 24 \text{ [h/dia]} = 1752 \text{ [kWh/ano]}$$

$$\text{Painel Fotovoltaico: } P_p = 4,32 \text{ [kWp]} \cdot 365 \text{ [dias/ano]} \cdot 5 \text{ [h/dia]} = 7884 \text{ [kWh/ano]}$$

$$\text{Capacidade Total: } P_t = 9636 \text{ [kWh/ano]}$$

Como o custo da energia elétrica na Alemanha é de 0,24 Euros por kWh (THEMA ENERGIE, 2012 b), o consumo médio anual por família seria de $(2443/0,24) = 10.179,17$ kWh/ano, valor este, a princípio, totalmente comprado das concessionárias.

Com a autogeração, a potência comprada seria de $(10.179,17 - 9.636) = 543,17$ kWh/ano e a economia seria de 2.312,64 Euros/ano. Se o investimento total é de

7.306,72 Euros, então o tempo de retorno do investimento será de aproximadamente 3 anos e 3 meses.

6.3 BRASIL

6.3.1 Investimento Inicial

Para o estudo de caso no Brasil foi considerado o aerogerador eólico Energia Eólica Airbreeze 400,0 W (90 kWh/mês). Suas principais características são:

Potencia Máxima: 400 W

Número de Pás: 6

Velocidade Mínima: 3,5 m/s

Altura de Haste: 6m

Diâmetro do Rotor: 1130 mm

Preço: 1090,00 Reais

(fonte: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-446870526-novo-aerogerador-energia-eolico-400w-90kwhms-airbreeze-_JM#!/description)

O painel fotovoltaico escolhido foi o kit Gerador Solar Fotovoltáico 250 Wh/dia – GSG – 50W – A, com potência máxima equiparável ao estudado para a Alemanha. Suas principais características são:

Potência Máxima: 250 W

Potência Nominal: 250 Wh/dia

Dimensões: 1482 X 676 X 32(espessura)

Preço: 679,00 Reais

Preço Bateria: 529,00 Reais

(fonte:

<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,IDLoja,14743,IDProduto,3240773,kit-solar-gerador-solar-uso-geral-kit-gerador-solar-fotovoltico-250wh-dia---gsg-50w-a>)

Considerando o gasto médio por pessoa com eletricidade de 1.760 kWh/ano (EDP, 2011), uma família de 4 pessoas vai apresentar um consumo de 7.040 kWh/ano, equivalente em 2604,80 reais/ano. A potência gerada será de:

$$\text{Aerogerador: } P_{ac} = 90[\text{kWh/mês}] \cdot 12[\text{meses/ano}] = 1080 [\text{kWh/ano}]$$

$$\text{Painel Fotovoltaico: } P_p = 250[\text{Wh/dia}] \cdot 365 [\text{dias/ano}] = 91,25 [\text{kWh/ano}]$$

$$\text{Capacidade Total: } P_t = 1171,25 [\text{kWh/ano}]$$

Para aproximar das necessidades de uma família, seriam necessários aproximadamente 6 conjuntos com tais equipamentos, gerando 7.027,5 kWh/ano. Neste cenário, o custo total seria R\$13.788,00. Levando em consideração o custo médio da energia elétrica no Brasil de 0,37 Reais/kWh (ANEEL, 2012), a economia gerada com a instalação seria de 2.600,18 Reais/ano, e o tempo de retorno do investimento seria de aproximadamente 5 anos e 4 meses.

Na Alemanha existe o EEG que estabelece todos os aspectos das remunerações caso o autoprodutor venda sua energia para a rede, no entanto, no Brasil, tais regras são praticamente inexistentes, sendo necessária a negociação caso a caso se houver a possibilidade de venda da energia produzida, além deste excedente não gerar um ganho real, mas sim um desconto em futuras contas de luz. Contudo, hoje a Alemanha passa por uma série de dificuldades por ter estabelecido estas remunerações como sendo fixas por um período longo de tempo, tornando-se necessária uma reforma na estrutura do EEG.

Percebe-se que, em ambos os países, é necessário encontrar posições intermediárias para que uma política de compra e venda de energia residencial se torne robusta. Uma possível solução seria criar um conjunto de regras que regulamentassem uma variação da remuneração a cada ano. Isso geraria flexibilidade para a política alemã poder evitar novas crises, enquanto que no Brasil a criação de regras mais flexíveis poderia deixar mais claro para os autoprodutores quais metas eles teriam de atingir para se tornarem autossuficientes com os recursos de que dispõem.

7 CONCLUSÃO

Embora o Brasil esteja movendo esforços para melhorar o acesso às fontes de energia renováveis, os incentivos para o autogerador residencial ainda são pequenos, além da tecnologia disponível no país ser bastante inferior.

Considerando-se o estudo de caso, é possível perceber que, mesmo apresentando médias de ventos e radiação solar inferiores aos encontrados no Brasil, o tempo de retorno de investimento na Alemanha é aproximadamente dois anos menor que no Brasil.

Outro ponto relevante é o custo inicial de investimento de cerca de 13000 reais no Brasil. Já na Alemanha este valor é de aproximadamente 20000 reais. Também são diferentes os consumos médios anuais por família. Mesmo com um maior consumo de eletricidade e maior investimento inicial, o retorno alemão ainda se dá em menor tempo.

Além disso, o custo médio do kWh na Alemanha é superior ao custo brasileiro, sendo 0,24 Euros (0,66 Reais) e 0,37 Reais, respectivamente. Porém, neste preço alemão, estão inclusos subsídios vinculados à autogeração com renováveis. A integração da produção renovável por autogeradores no Brasil pode levar a queda de tais tarifas.

Finalmente, além dos aspectos econômicos, também é preciso ressaltar que os benefícios da utilização de fontes renováveis se estendem às emissões de poluentes, podendo contribuir com os créditos de carbono do país.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A EVOLUÇÃO DOS MIONHOS DE VENTO. 2000. Disponível em <http://www.geocities.ws/caminhos_2000/moinhos.htm> e Acessado em 5 de dezembro de 2012.

ALEMANHA. Bunderministerium für Wirtschaft und Technologie (a). Alle Stricken am Netz. **Energiewende!**, v. 04-2012, p. 2-4, 2012.

ALEMANHA. Bunderministerium für Wirtschaft und Technologie (b). **Intelligente Netze und intelligente Zähler - Smart Grids/Smart Meter**. Disponível em <<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Stromnetze/intelligente-netze-und-intelligente-zaehler.html>>. Acessado em 1 de dezembro de 2012.

ALEMANHA. Federal ministry for the environment, natural conservation and nuclear safety. **EEG- The renewable energy sources act – The successful history of sustainable policies for Germany**. Berlin, 2007. 27 p.

ALMEIDA, C. (a). **Tabela de preços dos geradores de energia eólica**. EolicaRio. São Gonçalo, 2012. Disponível em <http://www.eolicario.com.br/energia_eolica_precos.html>. Acessado em 03 de dezembro de 2012.

ALMEIDA, C. (b). **O que são aerogeradores?** EolicaRio. São Gonçalo, 2012. Disponível em <http://www.eolicario.com.br/energia_eolica_faq.html>. Acessado em 03 de dezembro de 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (a). **Tarifas residenciais vigentes**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idarea=493>>. Acessado em 27 de novembro de 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (b). **Relatórios de apoio e decisão**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>> Acessado em 27 de novembro de 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1ª ed. Brasília: Aneel, 2002. 153 p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2ª ed. Brasília: Aneel, 2005. 236 p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª ed. Brasília: Aneel, 2008. 233 p.

ARENT, D., DENHOLM, P., DRURY, E., GELMEN, R., HAND, M., KURSHER, C., MANN, M., MEHOS, M., WISE, A. Prospects for Renewable Energy. In: SIOSHANSI, F. (Ed) **Energy, sustainably and environment**. 1st edn. San-Francisco: Butterworth-Heinemann, 2011. p. 367-416.

BORGES, C.; KLAUS, W.; MONTEIRO, C.; SHWAB, T. Sistemas fotovoltaicos domiciliares: Teste em campo de um modelo sustentável de eletrificação rural. II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Anais do II CBEE. P. 1-7, 2007.

BRANCO, F.A.S.F. **Estratégias de desenvolvimento operacional de tecnologias de tecnologias de microgeração**. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2009, 94p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias do Meio Ambiente).

BRASIL. **Geração**. Brasília, 2012. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/setor-eletrico/geracao/print>>. Acessado em 5 de dezembro de 2012.

BRASIL. Centro Brasileiro de informação de eficiência energética. **Etiquetagem em edificações**. Brasília, 2006. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>>. Acessado em 5 de dezembro de 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha. Resenha energética brasileira**. Brasília: Núcleo de estratégias de energia, 2011. 24 p.

CASTRO, R.M.G. **Energias renováveis e produção descentralizada: Introdução à energia eólica**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2009. 93 p.

CHEN, L., PONTA, F.L., LAGO, L.I. Perspectives on innovative concepts in wind power generation. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. 1, p 398-410, 2011.

CONSENTEC – Consulting für Energiewirtschaft und Technik GmbH; R2B – Research to business energy consulting. **Voraussetzungen einer optimalen Integration erneuerbarer Energien in das Stromversorgungssystem**. Köhn: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2010. 277p.

DIAS, F.J.A. **Soluções técnicas para o projeto de edifícios de habitação incorporando produção própria de energia**. Porto: Universidade do Porto, 2009, 137

p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica de Computadores e Energia).

ECOFORCE. **Módulo fotovoltaico – Manual de instalação**. Recife, 2012. Acessado em 03 de dezembro de 2012 e disponível em < <http://www.ecoforce.com.br/painel-solar-130watts>>.

EDP. **Curiosidades sobre energia elétrica**. São Paulo, 2011. Disponível em <http://www.edpbr.com.br/energia/pesquisadores_estudantes/energia_eletrica/curiosidades/curiosidades.asp> e Acessado em 5 de dezembro de 2012.

FEITOSA, E.A.N., PEREIRA, A.L., SILVA, G.L. **Panorama do potencial eólico no Brasil**. Brasília: Dupligráfica - ANEEL, 2003.

FRONDEL, M.; RITTER, N.; SCHMIDT, C.M; VANCE, C. Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience. **Ruhr Economic Papers**, v. 156, n. 1., p. 1-35, 2009.

GABRIEL FILHO, L.R.A.; CREMASCO, C.P.; SERAPHIN, O.J.; CANELAPPLE, F.L. Caracterização analítica e geométrica da metodologia geral de determinação de distribuições de *Weibull* para o regime eólico e suas aplicações. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 56-66, 2011.

GRUBB, M.J., MEYER, M.I. Wind energy: Resources, systems and national strategies. In: JOHANSSON, T.B., KELLY, H., REDDY, A.K.N, WILLIAMS, R.H. (Ed.) **Renewable energy: Source for fuels and electricity**. 1st edn. Washington: Island Press, 1993. p. 157- 212.

INOVAFIEL. **Aerogerador de 1 kW – Guia de instalação rápida**. Penafiel, 2012. Disponível em <http://www.inovafiel.pt/guia_eolico1k.pdf>. Acessado em 03 de dezembro de 2012.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Energia solar fotovoltaica no Brasil**. Berlin, 2012. Disponível em <http://www.entrepreneurstoolkit.org/index.php?title=Energia_solar_fotovoltaica_no_Brasil>. Acessado em 5 de dezembro de 2012.

JANUZZI, G.M.; MELO, C.A.; TRIPODI, A.F. Políticas públicas para promoção da eficiência energética e microgeração renovável em edificações no Brasil: Uma análise multicritério. **Energy Discussion Paper**, v. 2012/01, n. 1, p. 1-17, 2012.

KAMMEN, D.M. Renewable energy, taxonomic overview. **Encyclopedia of Renewable Energy**, v. 5, n.1, p. 385-412, 2004.

KYOCERA. **Installation manual for solar photovoltaic modules**. Scottsdale, 2012. Disponível em < <http://www.kyocerasolar.com/assets/001/5521.pdf>>. Acessado em 03 de dezembro de 2012.

LUNA, P. Generar La própria electricidad: los Británicos um paso más cerca. **Técnica Industrial**, v. 287, n.1, p. 6-7, 2010

MARTINS, F.R., GUANIERI, R.A., PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 1, n. 1, p. 1304-1304-13, 2008.

MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n.1, p. 4378-4390, 2011.

MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B.; ABREU, S.L. Satellite derived solar resource maps for Brazil under SWERA Project. **Solar Energy**, v. 81, n. 1, p. 517-528, 2007.

MATOS, F.B.; CAMACHO, J.F.; RODRIGUES, P.; GUIMARÃES JR, S.C. A research on the use of energy research in the Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 3196-3206, 2011.

MEDINA, J.F.A. **Estúdios de los sistemas de microgeneración en España**. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid , 2010, 128 p. Projeto (Engenharia Industrial e Elétrica).

MINHA CASA SOLAR. Belo Horizonte, 2012. Disponível em < <http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/home.asp?IDLoja=14743>>. Acessado em 3 de dezembro de 2012.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; COUTO, P.; STUHLMANN, R.; COLLE, S. Effects of burning of biomass on satellite estimation of solar irradiation in Brazil. **Solar energy**, v. 68, n. 1, p. 91-107, 2000.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RUTHER, R. **Brazilian atlas for solar energy**. United Nations Environmental Programme. São José dos Campos, 2006.

PEREIRA, M.G.; CAMACHO, C.F.; FREITAS, M.A.V.; SILVA, N.F. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n.1, p. 3786-3802, 2012.

REZENDE, M.J. **História dos aerogeradores**. 2012. Disponível em <<http://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereEolienne/Generalites/Generalites/GeneralitesEolienhistorique.htm>> e Acessado em 5 de dezembro de 2012.

SANTOS, S.A.A. **Análise do investimento e desempenho de um pequeno aerogerador instalado em área urbana**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011, 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica).

SESTO, C., CASALE, E. Exploitation of Wind and as an energy source to meet the worlds electricity demand. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 73-76, n. 1, p. 375-387, 1998.

SHAYANI, R.A.; OLIVEIRA, M.A.G.; CAMARGO, I.N.T. Comparação do custo de energia solar fotovoltaica e outras fontes convencionais. In: V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Políticas públicas para energia: desafios para o próximo quadriênio. p. 1-16, 2006.

SKUMANICH, A. CPS at a crossroads. **Renewable Energy Focus**, p. 52-55, 2011.

THEMA ENERGIE (a). **Strommix**. Deutsche Energie-Agentur. Disponível em <<http://www.thema-energie.de/strom/stromkauf/strommix.html>>. Acessado em 1 de dezembro de 2012.

THEMA ENERGIE (b). **Entwicklung der Energiekosten in Deutschland**. Deutsche energie-agentur. Disponível em <<http://www.thema-energie.de/energie-im-ueberblick/daten-fakten/energiekosten/entwicklung-der-energiekosten-in-deutschland.html>>. Acessado em 1 de dezembro de 2012.

TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N.; GALLEGOS, H.G.; LYRA, F.J.M. Solar energy resource assessment – Brazil. **Renewable Energy**, v. 27, n. 1, p. 383-400, 2002.

TIMOTHY, J.F.; KÖHLER, J.; OUGHTON, C. **Innovation for a low carbon economy: Economic, institutional and management approaches**. Cheltenham: Edgar Elgar Publishing, 2008. 279 p.

XILIANG, Z., DA, Z., STUA, M. Kickoff of offshore wind power in China: Playoffs for China wind power development. **Procedia Environmental Sciences**, v. 12, n. 1, p. 166- 173, 2012.

ANEXO A

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL

RESOLUÇÃO NORMATIVA No 235, DE 14 DE NOVEMBRO DE 2006

Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogedoras de energia e dá outras providências.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto nos arts. 1º, incisos II, IV e VIII e 2º, inciso I da Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, com base no art. 4º, inciso IX, Anexo I do Decreto no 2.335, de 6 de outubro de 1997, o que consta no Processo 48500.004724/05-41, e considerando que:

a atividade de cogeração de energia contribui para a racionalidade energética, possibilitando melhor aproveitamento e menor consumo de fontes de energia, quando comparada à geração individual de calor e energia elétrica;

em função da Audiência Pública no 003/2006, em caráter documental, realizada no período de 22 de fevereiro a 07 de abril de 2006, foram recebidas sugestões de diversos agentes do setor de energia elétrica, bem como da sociedade em geral, que contribuíram para o aperfeiçoamento deste ato regulamentar, resolve:

Art. 1º Estabelecer, na forma desta Resolução, os requisitos para o reconhecimento da qualificação de centrais termelétricas cogedoras, com vistas a participação nas políticas de incentivo ao uso racional dos recursos energéticos.

Art. 2º O disposto nesta Resolução aplica-se a:

I – pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que produzam ou venham a produzir energia elétrica destinada ao serviço público ou à produção independente; ou

II – pessoa física, pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que produzam ou venham a produzir energia elétrica destinada à autoprodução, com excedente para comercialização eventual ou temporária.

DAS TERMINOLOGIAS E DOS CONCEITOS

Art. 3º Para os fins e efeitos desta Resolução são adotadas as terminologias e conceitos a seguir definidos:

I – Cogeração: processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou

parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária, observando que:

a) a instalação específica denomina-se central termelétrica cogeneradora, cujo ambiente não se confunde com o processo ao qual está conectada, sendo que, excepcionalmente e a pedido do interessado, a cogeração poderá alcançar a fonte e as utilidades no processo, além das utilidades produzidas pela central termelétrica cogeneradora a que está conectado, condicionando aquelas à exequibilidade de sua completa identificação, medição e fiscalização, a critério exclusivo da ANEEL; e

b) a obtenção da utilidade eletromecânica ocorre entre a fonte e a transformação para obtenção da utilidade calor;

II - Cogeração qualificada: atributo concedido a cogeneradores que atendem os requisitos definidos nesta Resolução, segundo aspectos de racionalidade energética, para fins de participação nas políticas de incentivo à cogeração;

III - Energia da fonte (E_f): energia recebida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior (PCI);

IV - Energia da utilidade eletromecânica (E_e): energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;

V - Energia da utilidade calor (E_t): energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central;

VI - Eficiência Energética: índice que demonstra o quanto da energia da fonte foi convertida em utilidade eletromecânica e utilidade calor;

VII - Eficiência Exergética: índice que demonstra o quanto da energia da fonte foi convertida em utilidades equivalentes à eletromecânica;

VIII - Fator de cogeração (F_c %): parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, o qual aproxima-se do conceito de Eficiência Exergética; e

IX - Fator de ponderação (X): parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, obtido da relação entre a

eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

DOS REQUISITOS PARA QUALIFICAÇÃO

Art. 4º A central termelétrica cogeneradora, para fins de enquadramento na modalidade de “cogeração qualificada”, deverá atender os seguintes requisitos:

I - estar regularizada perante a ANEEL, conforme o disposto na legislação específica e na Resolução no 112, de 18 de maio de 1999; e

II – preencher os requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações a seguir:

$$a) \frac{Et}{Ef} \geq 15\%$$

$$b) \left(\frac{Et}{Ef}\right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\%$$

§ 1º Os valores de “X” e “Fc” das fórmulas de que trata o inciso II deverão ser aplicados em função da potência elétrica instalada na central de cogeração e da respectiva fonte, obedecida a seguinte Tabela:

Fonte/potência elétrica instalada	X	Fc%
Derivados de Petróleo, Gás Natural e		
Até 5 MW	2,14	41
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,13	44
Acima de 20 MW	2,00	50
Demais combustíveis:		
Até 5 MW	2,50	32
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,14	37
Acima de 20 MW	1,88	42
Calor recuperado de processo:		
Até 5 MW	2,60	25
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,17	30
Acima de 20 MW	1,86	35

§ 2º No caso de queima alternada ou mesclada de diferentes fontes, os valores de “X” e “Fc”, representativos dessa situação, serão obtidos por ponderação dos valores contidos na Tabela de que trata o parágrafo anterior, segundo a participação energética de cada fonte.

§ 3º Poderão candidatar-se à qualificação os blocos de cogeração pertencentes a uma central termelétrica contendo blocos de geração pura, desde que se distingam os primeiros dos segundos, e os blocos de cogeração apresentem medições perfeitamente individualizadas que permitam o cômputo das suas energias E_f , E_e e E_t e a sua fiscalização.

DA SOLICITAÇÃO DE QUALIFICAÇÃO

Art. 5º A qualificação de central termelétrica cogeneradora deverá ser objeto de requerimento à ANEEL, acompanhado de relatório contendo as seguintes informações:

- I - memorial descritivo simplificado da central e do processo associado;
- II - planta geral do complexo destacando onde está inserida a central;
- III - diagrama elétrico unifilar geral da central;
- IV - caracterização do calendário do ciclo operativo da central, com indicação do seu regime operativo e o conseqüente fator de utilização média das instalações;
- V- balanço da energia elétrica em kWh/h, indicando, tanto para “carga plena” quanto “carga média”, as informações referentes a:

- geração bruta;
- consumo em serviços auxiliares da central;
- consumo no processo industrial associado; e
- intercâmbio externo, se houver importação ou exportação;

VI - fluxograma do balanço térmico na “carga plena” e na “carga média”, indicando para cada situação a vazão mássica e as variáveis de estado de todos os fluidos envolvidos, na entrada e saída dos principais equipamentos e instalações da central;

VII - demonstração da eficiência energética individual dos principais equipamentos integrantes do ciclo térmico de cogeração; e

VIII - demonstração do atendimento aos requisitos de racionalidade a que se refere o inciso II

do art. 4º.

Parágrafo único. A documentação técnica, em todas as suas partes, deverá estar assinada pelo engenheiro responsável pelas informações, incluindo a comprovação de sua carteira-inscrição e certificado de regularidade perante o Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA.

Art. 6º O requerimento da qualificação deverá considerar os dados energéticos extraídos da efetiva operação da central, podendo, na sua falta, ser instruído com as informações do planejamento operativo.

Art. 7º A ANEEL poderá solicitar outros dados e informações adicionais ou a complementação daqueles já apresentados, para melhor instrução e análise da qualificação requerida.

Art. 8º As centrais termelétricas que utilizam exclusivamente a biomassa como fonte primária de energia não necessitam de qualificação para fazer jus aos benefícios previstos na legislação, respeitadas as respectivas condições de aplicação.

AS OBRIGAÇÕES DO COGERADOR QUALIFICADO

Art. 9º Uma vez reconhecida a qualificação, o agente obriga-se a manter em arquivo o registro mensal dos montantes energéticos referentes à *Ef*, *Ee* e *Et*, bem como o demonstrativo da sua apuração, com base na efetiva operação da central termelétrica cogeneradora, observando os seguintes procedimentos:

I – no caso da qualificação tiver sido outorgada com base nas informações do planejamento operativo, o agente deverá encaminhar à ANEEL, até nove meses após o início da operação, a apuração e a demonstração do atendimento aos requisitos de racionalidade a que se refere o inciso II do art.4º desta Resolução, em base mensal, bem como o acumulado dos seis primeiros meses de operação; e

II - os arquivos anteriores aos últimos sessenta meses perdem a validade para fins de comprovação à ANEEL.

Parágrafo único. Deverão ser informadas à ANEEL as alterações que impliquem a violação de qualquer das condições de qualificação da central termelétrica cogeneradora.

Art. 10. O desatendimento não eventual às condições de qualificação da central termelétrica sujeitará o agente à revogação do ato de reconhecimento da qualificação, à cessação dos benefícios incorridos e à aplicação da respectiva penalidade conforme os arts. 7º e 15 da Resolução nº 063, de 12 de maio de 2004.

DAS DISPOSIÇÕES GERAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 11. Mantêm-se em vigor todas as qualificações reconhecidas sob a vigência da Resolução nº 21, de 20 de janeiro de 2000, equiparando-se o regime precário ao permanente

Parágrafo único. Essas qualificações passam a se sujeitar ao disposto nesta Resolução no tocante às condições de manutenção da qualificação e de sua violação, respectivamente, nos termos dos arts. 4º e 10 desta Resolução.

Art. 12. Fica revogada a Resolução nº 021, de 20 de janeiro de 2000. Art. 13. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JERSON KELMAN