



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
REGIONAL E MEIO AMBIENTE**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA PARA LOCAIS ISOLADOS DE RONDÔNIA**

ERICK ANTÔNIO SOUZA DE CASTRO

Porto Velho (RO)
2016



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
REGIONAL E MEIO AMBIENTE**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA PARA LOCAIS ISOLADOS DE RONDÔNIA**

ERICK ANTÔNIO SOUZA DE CASTRO

Orientador: Prof. Dr. Artur de Souza Moret

Texto de Defesa de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Área de Concentração em Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável como requisito para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

Porto Velho (RO)
2016

FICHA CATALOGRÁFICA
BIBLIOTECA CENTRAL PROF. ROBERTO DUARTE PIRES

C355d

Castro, Erick Antônio Souza de
Dimensionamento de sistema híbrido de geração distribuída para locais isolados de Rondônia / Erick Antônio Souza de Castro. Porto Velho, Rondônia, 2016.

88f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente)
Fundação Universidade Federal de Rondônia / UNIR.

Orientador: Prof. Dr. Artur de Souza Moret

1. Geração descentralizada 2. Fontes renováveis 3. Energia elétrica
4. Sistema híbrido I. Moret, Artur de Souza II. Título.

CDU:504.174.3 (811.1)

Bibliotecária Responsável: Ozelina Saldanha CRB11/486

ERICK ANTÔNIO SOUZA DE CASTRO

“DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
PARA LOCAIS ISOLADOS DE RONDÔNIA”.

Comissão Examinadora



Dr. Artur de Souza Moret
Orientador
Fundação Universidade Federal de Rondônia



Dr. Manuel Antonio Valdés Borrero
Membro
Fundação Universidade Federal de Rondônia



Dr. José Ezequiel Ramos
Membro Externo
Eletrobrás Distribuição Rondônia

Dr. Fabrício Moraes de Almeida
Suplente

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Porto Velho, 29 de Abril de 2016.

Resultado: APROVADO

DEDICATÓRIA

À querida esposa Elizangela Pessoa de Castro e aos amados filhos
Hiago e Gustavo.

À minha estimada mãe, Helena Souza de Castro (*in memoriam*).

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Rondônia (UNIR), pela oportunidade de qualificação profissional, com um ensino público de qualidade e gratuito.

Ao ilustre Professor Doutor Artur de Souza Moret, orientador desta pesquisa, que com sua sabedoria guiou os caminhos dessa pesquisa desde as idéias iniciais.

A todos os docentes da UNIR, que lecionaram na turma de 2013, no Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, cujas lições contribuíram para o aprimoramento desta pesquisa.

À banca de defesa, por suas contribuições, aos Dr. Manuel A. V. Borrero e Dr. José Ezequiel Ramos.

Aos colegas de turma, pelas ricas discussões, contribuindo com a compreensão das teorias estudadas.

Aos colegas e discentes do Instituto Federal de Rondônia, pelo apoio e incentivo nessa jornada.

À amiga Iranira Geminiano de Melo, pela amizade e o carinho com que fez a leitura e crítica ao texto da pesquisa.

À minha família pelo carinho, atenção e compreensão de minhas ausências para dedicar-me às leituras e aprofundamento na temática estudada.

Aprendi que um homem só tem o direito de olhar um outro de cima para baixo para ajudá-lo a levantar-se.

Gabriel Garcia Marquez

RESUMO

O suprimento elétrico em comunidades isoladas precisa de estudos que tragam alternativas viáveis, econômicas, sociais e ambientais. Nesse sentido, o estudo tem por objetivo geral a análise do planejamento de um Sistema Híbrido de Geração Distribuída (SHGD), utilizando dois procedimentos para o cotejamento, um simulador virtual, o *software* Homer com expertise tecnológica e o outro por aproximação matemática, na comunidade dos Benjamim, localidade de Santa Bárbara, Estado de Rondônia. A geração descentralizada (GD) apresenta-se como referência para o planejamento de sistema híbrido de geração elétrica para atender à demanda reprimida de áreas isoladas, pois a geração centralizada (GC) não se mostra como alternativa para esse fim, pois fatores geográfico, econômico e ambiental impossibilitam as interligações às linhas de transmissão do sistema elétrico central. Os resultados da pesquisa apontaram para um SHGD, que utilize a energia fotovoltaica e o Diesel para a geração elétrica, o procedimento de planejamento por aproximação matemática se mostrou compatível com o Homer, podendo ser utilizada para criar os modelos de SHGD em outras comunidades isoladas com suas características locais. Contribuindo para o desenvolvimento regional da comunidade isolada, agregando valor à atividade produtiva com a introdução de tecnologia, como consequência, melhoria da qualidade de vida das comunidades isoladas, associada aos aspectos social, econômico, cultural e ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Geração descentralizada; Fontes renováveis; Energia elétrica.

ABSTRACT

The electric supply in isolated communities needs studies that bring viable, economic, social and environmental alternatives. In this sense, the study has the objective analysis of planning a Hybrid System of Distributed Generation (HSDG) using two procedures for read back, a virtual simulator, Homer software with technological expertise and the other by mathematical approach, community of Benjamin town of Santa Barbara, State of Rondonia. Decentralized generation (DG) is presented as a reference for the hybrid system planning power generation to meet the pent-up isolated areas demand for centralized generation (CG) is not shown as an alternative for this purpose as geographical factors, economic and environmental impossible interconnections to the central power system transmission lines. The survey results indicated a HSDG, using photovoltaic and diesel for electricity generation, the planning procedure for mathematical approach has proved compatible with Homer and can be used to create models of HSDG in other isolated communities its local characteristics. Contributing to the regional development of the isolated community, adding value to the productive activity with the introduction of technology, as a result, improve the quality of life of isolated communities, associated with social, economic, cultural and environmental.

KEYWORDS: Decentralized Generation; Renewable Sources; Electric Power.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	11
1 Objetivo	13
1.1 Geral	13
1.2 Específicos.....	14
CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE DA GERAÇÃO DESCENTRALIZADA.....	15
2.1 Fundamentos da Geração Descentralizada	15
2.1.1 Geração Descentralizada com o uso da Cogeração	25
2.1.2 Geração Descentralizada no Brasil e a Cogeração	32
2.2 Sistemas Microgrids como Ferramenta para a Geração Descentralizada.....	33
2.2.1 Sistemas Microgrids Instalados no Mundo	36
2.2.2 Sistemas Microgrids Instalados no Brasil	44
2.2.2.1 Programas de Energização no Brasil em Sistemas Isolados Microgrids.....	46
2.2.3 Rondônia e Implementação de Microgrids.....	47
2.3 Insumos para o Sistema Híbrido de Geração Descentralizada	52
2.4 A Importância para o Desenvolvimento Regional	58
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	60
3.1 Área de Implantação do Projeto: Floresta Nacional do Jamari	60
3.2 Tipo de Pesquisa	61
3.2.1 Tipo de Dados.....	62
3.2.2 Tipo de Análise de Dados	63
3.2.3 Técnicas para a Coleta de Dados	63
3.3 Sistemas de Planejamento para Microgrids.....	63
3.3.1 Sistemas Computacionais como Ferramenta para Planejamento	64
3.3.1.1 Uso do Homer.....	64
3.3.2 Cálculo por Aproximação Numérica	67
3.3.3 Comparação dos Resultados	70
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS DA PESQUISA	71
4.1 Fontes Energéticas Disponíveis na Comunidade.....	71
4.2 Dados da Demanda da Comunidade.....	73
4.3 Determinação da Carga no Sistema Homer.....	74
4.4 Determinação de Carga por Aproximação Numérica.....	77
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
REFERÊNCIAS.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Percentual de GD por geração total em diversos países e no mundo em 2006.....	24
Figura 2: Exemplo esquemático de Microgrid.	34
Figura 3: Microgrids por desenvolvedor.	41
Figura 4: Microgrids total por tipo de fonte.	42
Figura 5: Atendimento isolado termelétrico em Rondônia.....	48
Figura 6: Perfil diário estimado da curva de demanda das comunidades isoladas.....	51
Figura 7: Mapa da FLONA JAMARI - Local Santa Bárbara.....	62
Figura 8: Interface inicial Homer.....	65
Figura 9: Parametrização da carga e fontes iniciais no Homer.....	66
Figura 10: Análise da perda elétrica e o excedente não utilizado 17.7% pelo sistema.	66
Figura 11: Esquema da determinação de carga por aproximação numérica.....	69
Figura 12: Vista do gerador com ligação monofásica 110 volts.....	72
Figura 13: Vista do motor com o tanque diesel e parte tubulação do radiador.....	73
Figura 14: Demanda simulada no Homer no valor de 3,82 kWh/dia sistema fotovoltaico e diesel.....	75
Figura 15: Parâmetro de excesso de eletricidade não aproveitada.	76
Figura 16: Parâmetro de excesso de eletricidade não aproveitado pelo segundo sistema.....	76
Figura 17: Demanda de carga da comunidade dos Benjamim, por hora dia de utilização.....	78
Figura 18: Parâmetro de custo por dispositivos do sistema.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tecnologias para GD e respectivas capacidades típicas para renovável e não renovável.	21
Quadro 2: Rede de eletricidade renovável, com base capacidade instalada de geração em 2000 (em MW).	22
Quadro 3: Energia, demanda e consumo de Diesel no setor isolado de Rondônia por ano.	49
Quadro 4: Fontes e energia consumida.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados históricos da cogeração na CEE.	28
Tabela 2: Projetos de Eletrificação Rural durante o período 1997/2001.	37
Tabela 3: Descrição dos Sistemas Propostos para Usuários Potenciais.	39
Tabela 4: Descrição dos desenvolvedores.	41
Tabela 5: Descrição de modelos de <i>microgrids</i> comparativamente.	43
Tabela 6: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil.	46
Tabela 7: Demanda elétrica inicial em kWh/dia.	73
Tabela 8: Ampliação de sistema com novos equipamentos.	74
Tabela 9: Demanda calculada para carga instalada inicial do sistema Benjamim em Santa Bárbara.	77
Tabela 10: Potência da carga do painel solar em watts e custo em dólar.	79

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A necessidade de energia elétrica na vida de cada ser humano é sentida não apenas nas suas carências, mas, sobretudo nas expectativas de posse e consumo de bens. Quem vive desconectado do sistema tradicional elétrico, como os ribeirinhos típicos da Amazônia, deseja energia elétrica não apenas para acender uma lâmpada, ligar um rádio ou uma lanterna, congelar e conservar sua pesca e preparar a mandioca para fazer farinha. O suprimento tradicional da geração centralizada não atende sua necessidade, por impossibilidades de ordem econômica, técnica ou ambiental, portanto, um suprimento diferenciado e distante das possibilidades do sistema elétrico atual (DI LASCIO; BARRETO, 2009). O consumidor quer o suprimento, não interessa qual seja, mas anseia ter o mesmo benefício que o cidadão urbano. O modelo atual de fornecimento impõe para o sistema isolado e prescinde de extensão de redes, além do que, as concessionárias de energia elétrica trabalham com atendimentos convencionais e não têm alternativas tecnológicas que incorpore metodologias mais adequadas, como é o caso do uso de geração descentralizada (GD), que usa fontes alternativas e não convencionais de energia (MORET, 2004), e sistema híbrido de geração distribuída (SHGD). Nesse sentido, o Estado da Arte demonstra que estas alternativas são viáveis para atender sistemas isolados.

A região amazônica possui inúmeros recursos naturais e uma das maiores biodiversidades do mundo (FEARNSIDE, 2003). Apresenta diversas opções de fontes primárias renováveis de energia, que podem ser utilizadas para atendimento da população que ali reside (MORET, 2000). Apesar disto, uma parte dos moradores das comunidades dessa região não possui atendimento de energia elétrica, sendo, desta forma, um dos fatores que contribui para mantê-los em uma situação de desconforto e baixa atividade econômica, que pode gerar migração para outros locais mais desenvolvidos, como municípios e capital do Estado, na busca de melhores condições de vida (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

O Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – “Luz Para Todos” (BRASIL, 2008) tinha como desafio acabar com a exclusão elétrica no país, com a meta de levar energia elétrica para mais de 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2010, atualmente prorrogado até 2018. O Decreto nº 4.873 estabeleceu que a eletrificação poderá ser feita por meio da extensão de rede convencional ou por sistemas de geração descentralizada. Contudo, não houve definição sobre a escolha de sistemas alternativos de

atendimento. Igualmente, deixou de explicitar como nos sistemas isolados seriam aplicadas as normas referentes às condições gerais de fornecimento de energia elétrica.

A Amazônia tem dimensão significativa na área total Brasileira, 5,5 milhões km² de área, 100 mil km² de área indígena (480 mil Índios e 200 tribos), 1,9 milhões km² de florestas públicas e 22 milhões de habitantes. Segundo o Censo de 2000 havia nessa área em torno de 769 mil famílias em situação de isolamento, entretanto o Ministério de Minas e Energia estimou que 614 mil poderiam ser conectadas a partir dos sistemas tradicionais (cidade com geração própria ou interligada ao sistema maior de usina hidrelétrica (UHE) com extensão de rede; mesmo assim, em 2009 ainda existiam 155 mil famílias em locais de difícil acesso (DI LASCIO; BARRETO, 2009) onde a energia elétrica ainda não era realidade. Entretanto, em todas as comunidades há fontes energéticas disponíveis que justificam a aplicação de um sistema multitecnológico: grande quantidade de oleaginosas e incidência solar média mensal de 4,0kWh/m²/dia, no pior período do ano (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

Diante da utilização de combustíveis renováveis, como a biomassa, em unidades de geração de pequeno porte, tem se apresentado como alternativa viável para a substituição do óleo diesel, principal fonte energética das comunidades não eletrificadas. Cria-se um cenário favorável ao uso de energia renovável, pois essa está disponível no local e atende à demanda elétrica da comunidade isolada, que geralmente é pequena, como é o caso do SHGD.

A utilização das energias renováveis em substituição ou em complementação aos combustíveis fósseis, total ou parcial é uma saída viável e vantajosa, pois, além de serem praticamente inesgotáveis, as energias renováveis podem apresentar impacto ambiental muito baixo ou quase nulo, sem afetar o balanço térmico ou composição atmosférica do planeta (D'ARCE, 2005).

Destarte, a produção de energia elétrica através de um SHGD, utilizando fontes de energias renováveis, é um investimento que precisa ser avaliado, analisado e dimensionado já no seu planejamento. A determinação da viabilidade econômica de um SHGD depende da configuração do sistema em questão, não esquecendo que a energia renovável continua a ser o segmento de maior crescimento em estudo para aplicação na produção de energia no SHGD (SEVERINO, 2008). Todavia, fazem-se necessários sistemas energéticos híbridos tecnologicamente viáveis, que sejam projetados e operados com racionalidade, atentando para os aspectos econômicos, ambientais, sociais e culturais.

Assim, todo projetista de SHGD precisa estudar e conhecer os recursos de energia solar, eólica que possam atender às necessidades de energia requerida nessas comunidades

isoladas, o que permite projetar o sistema híbrido de forma adequada para cada situação (SILVA, 2010).

Segundo Severino (2008), o SHGD é um sistema com ótima aplicação em geração descentralizada em locais isolados, por ser versátil na utilização de fontes de energia renovável e não renovável e de fácil acesso na localidade. Sendo que seu planejamento necessita de simuladores virtuais que possam prospectar dados com boa aproximação das curvas de custo de implantação, operação e manutenção. Esse planejamento utiliza o *software* Homer, por se tratar de uma ferramenta intuitiva em termo de análise de dados, e com várias formas de saída de dados, por exemplo: tabela, gráfico e relatório estatísticos.

A metodologia determinou a realização de atividades como medições de campo para a obtenção de resultados experimentais, a realização de estimativas teóricas quando não fosse possível obter informações a partir de medições de campo e a construção de modelos matemáticos e computacionais que permitissem simulações adequadas do sistema, feitas em planilhas eletrônicas. (SEVERINO, 2008, p. 316).

O desenvolvimento regional das comunidades isoladas está ligado diretamente à existência ou sobrevivência das comunidades, pois se o local não lhe fornecer condições mínimas para sua alimentação e habitação, essa comunidade tende a desaparecer, gerando várias consequências, como por exemplo, migração para as periferias dos grandes centros urbanos e acabam vivendo em condições socioeconômicas desfavoráveis (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

A manutenção da qualidade de vida nas comunidades isoladas é importante para o desenvolvimento da região e para possibilitar o equilíbrio dos processos naturais dos locais isolados, dessa forma, gerando benefício social, econômico, cultural e ambiental. Sendo necessário, por sua vez, o atendimento da comunidade isolada com energia elétrica para completar os ciclos dos processos de produção e beneficiamento do produto do extrativismo, agregando maior valor as suas atividades.

1 Objetivo

1.1 Geral

A análise do planejamento de um Sistema Híbrido de Geração Distribuída (SHGD), tendo como base o *software* Homer e a aproximação matemática de dados, na comunidade dos Benjamim, localidade de Santa Bárbara, Estado de Rondônia.

1.2 Específicos

- Demonstrar a importância da geração distribuída para atendimento elétrico das localidades isoladas;
- Aplicar o modelo do SHGD para obtenção do banco de dados da localidade Santa Bárbara, na Floresta Nacional do Jamari, em Rondônia;
- Aplicar os dados de demanda elétrica na ferramenta Homer para localidade isolada;
- Cotejar com a aproximação matemática o resultado da simulação com o Homer.

Este trabalho utiliza a geração descentralizada como referência para a produção de energia elétrica, na comunidade isolada dos Benjamim, na vila de Santa Bárbara, localizada na Floresta Nacional do Jamari, no Estado de Rondônia, Amazônia, como viés para o desenvolvimento regional. Esse planejamento de SHGD utilizará dois procedimentos distintos para o modelo de sistema elétrico para a comunidade, visando o atendimento elétrico: a) o simulador virtual *software* Homer; e o b) por aproximação matemática.

Apresentado o assunto pesquisado, e seus objetivos, menciona-se a estrutura do documento: o capítulo 2 trata da geração descentralizada: definição, teoria, utilização para atendimento de demanda em locais isolados; da ferramenta microgrids para a geração descentralizada, destacando suas aplicações pelo mundo; do insumo para alimentar a entrada do sistema por fontes não elétricas para utilização e transformação em elétrica; o capítulo 3 trata do procedimento metodológico adotado para a pesquisa na busca de informações de forma metódica e científica; no capítulo 4 é feita a apresentação e a discussão dos dados da pesquisa, suas prospecções e demanda aplicada; por fim tem-se o capítulo 5 que trata das considerações finais das discussões.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE DA GERAÇÃO DESCENTRALIZADA

Esse tópico foi destinado a apresentar a geração descentralizada (GD), a partir da referência teórica que norteou a pesquisa, considerando que quando aplicada corretamente nos parâmetros da sustentabilidade¹ ela (a GD) pode proporcionar benefícios à sociedade (consumidor, setor elétrico e indústria). Entende-se que quando há sustentabilidade no processo há impacto positivo no desenvolvimento regional (qualidade de vida, suporte elétrico, produção, baixo impacto social e ambiental), como abordado abaixo.

2.1 Fundamentos da Geração Descentralizada

Diversos motivos têm induzido o interesse em GD, particularmente no Brasil, onde cerca de 81% da oferta total de energia elétrica é assegurada por grandes centrais hidrelétricas distantes dos grandes centros de consumo (PINHO et al. 2008). A necessária implementação de novas alternativas de geração de eletricidade deve considerar questões tão diversas como distribuição geográfica da produção, confiabilidade e flexibilidade de operação, disponibilidade e preços de combustíveis, prazos de instalação e construção, condições de financiamento e licenciamento ambiental, etc.

Entretanto, a falta ou insuficiência de investimentos, o tempo requerido para disponibilizar capacidade adicional, como hidráulica ou térmica de grande porte, e a carência de uma política claramente definida no setor desenham um quadro preocupante que, certamente, se estenderá por alguns anos. Durante esse período uma nova matriz energética deverá emergir, provavelmente hidrotérmica com a qual a geração em menor escala, associada ao consumidor, certamente terá um papel importante, visto ser eventualmente a única forma de garantir a implementação de capacidade adicional, em curto prazo e com custos competitivos (WALTER, 2000).

Ademais, essa futura geração de eletricidade deverá também se adequar às necessidades do mercado energético brasileiro, respeitando as características únicas do seu sistema elétrico, introduzindo ganhos de eficiência, confiabilidade e flexibilidade, e procurando, ao mesmo tempo, responder aos desafios de sempre: aumentar a eficiência de utilização dos recursos energéticos e minimizar os impactos ambientais decorrentes do seu processo (WALTER, 2000).

¹ O conceito de sustentabilidade é o suprimento das necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações, Relatório Brundtland, (CMMDA, 1987).

Em um quadro mais amplo, em 2006, no Brasil e no Mundo, a regulamentação da indústria de energia elétrica levou à mudança profunda na produção e em seu mercado. Neste sentido, o alvo principal tem sido buscar um mercado competitivo, inovador e voltado para os consumidores, onde os negócios apenas têm êxito se focados no interesse destes consumidores (DE GOUELLO & MAIGNE, 2003). Tal contexto enfatiza, portanto, a confiabilidade, o aumento na eficiência energética, o desempenho ambiental e a prestação de serviços que atendam a outras necessidades da comunidade em geral. Associando-se a estas transformações, em parte como causa, em parte como efeito, os avanços tecnológicos têm posicionado favoravelmente a GD para atender as demandas que não são supridas pelos sistemas centralizados (TEIXEIRA et al., 2006).

Os novos investimentos e desenvolvimentos em tecnologias de geração termelétrica em pequena escala, considerando motores alternativos, turbinas e microturbinas a gás, em um cenário de curto a médio prazo, bem como células a combustível, motores Stirling e sistemas híbridos com células a combustível associadas à microturbinas a gás, sofreram considerável avanço. Para mencionar, as propostas ainda em desenvolvimento têm colocado estas centrais como uma alternativa concreta de fornecimento de energia elétrica e térmica, efetuando-se a geração no ponto de consumo final ou próximo dele. Estes sistemas têm sido denominados genericamente como GD e configura um modelo complementar, para atender pequena e média demanda, na impossibilidade de atendimento pelas grandes centrais de potência no suprimento de energia elétrica (TEIXEIRA et al., 2006).

Em termos conceituais, existem diversas definições relacionadas ao termo GD, como revisa El-Khattan e Salama (2004), por exemplo, a GD pode ser definida como uma fonte de geração conectada diretamente à rede de distribuição ou ao consumidor. A potência instalada, nesta definição, não é considerada relevante para sua caracterização. Os autores dividem a GD em função da potência em: Micro (até 5 kW), Pequena (de 5 kW a 5 MW), Média (de 5 MW a 50 MW) e Grande (de 50 MW a 300 MW), valores que consideram a realidade americana.

No Brasil, a GD é geralmente limitada superiormente por uma potência instalada de 30 MW ou de 50 MW, dependendo do autor. Existem situações, entretanto, que mesmo sistemas com potências maiores poderiam ser considerados GD. Assim, para a caracterização que se pretende neste texto, utiliza-se da notação empregada por Teixeira et al. (2006), dividindo-se a GD nas seguintes faixas:

- Micro GD: Sistemas com potência inferior a 10 kW.
- Pequena GD: Sistemas com potência entre 10 kW e 500 kW.

- Média GD: Sistemas com potência entre 500 kW a 5 MW.
- Grande GD: Sistemas com potência entre 5 e 100 MW.

Assim, a geração de energia elétrica para a distribuição pode ser feita de duas maneiras: centralizada e descentralizada. A geração centralizada utiliza um modelo de rede longa com geração inicial de fontes de alta potência, como é o caso das hidrelétricas, as termoelétricas, termonucleares e etc (GUERRERO et al., 2006). Tais modelos utilizam subestações de níveis e subníveis de potência, e linhas de transmissão que distribuem em alta e baixa tensão, percorrem vários quilômetros, atende vários consumidores de uma região.

Já a geração descentralizada não utiliza redes longas, suas redes são menores e a geração elétrica é próxima ao consumo, utilizando potência inferior à geração centralizada; não precisa de linha de transmissão extensa, podendo ou não ser interligada às redes centrais de geração centralizada.

Outras definições, independentes da capacidade instalada, têm sido adotadas. Segundo o Comitê Internacional de Grandes Sistemas Elétricos (CIGRÉ), o planejamento e o despacho da GD não obedecem às mesmas regras da geração centralizada, portanto, não há um órgão que comande as ações das unidades de geração descentralizada, como o da geração centralizada (MALFA, 2002). Para o Instituto de Estudos de Energia Elétrica (IEEE), a GD é uma central de geração pequena o suficiente para estar conectada à rede de distribuição e próxima do consumidor (MALFA, 2002).

As empresas concessionadas pelo governo brasileiro utilizam a geração centralizada na sua distribuição, nas regiões de seus domínios contratuais, pois o setor elétrico brasileiro tende ao planejamento monotecnológico e centralizado, devido ao potencial hídrico e à alta demanda energética (MORET, 2000). Com a conexão da rede elétrica nacional através do Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN), a geração centralizada recebeu maior grau de destaque.

Em termos estatísticos, análises da Agência Nacional de Energia Elétrica indicam que o Brasil ainda possui quase 2,5 milhões de domicílios que não possuem energia elétrica disponível devido à impossibilidade de construções de linhas de transmissão por fatores econômicos e técnicos que levem energia elétrica a esses locais. A geração descentralizada é a forma para atender essa demanda, pois a geração de energia fica próxima aos consumidores reduzindo os custos com as linhas de transmissão (ROMAGNOLI, 2005).

Nesse contexto, com as novas tendências da regulamentação do mercado e a criação da competição na produção e na venda de energia elétrica, a GD, sem sombra de dúvida, ajudará a criar competição comercial em nível de varejo. Adicionalmente, ajudará a criar competição tecnológica que promoverá experiências e trará melhorias ao sistema elétrico convencional e à GD. Isso irá fundir esses dois recursos em uma espécie de tecnologia de energia distribuída (WILLIS; SCOTT, 2000). Usados em conjunto, em vez de independentemente como assuntos competidores, e talvez combinados, GD e sistemas elétricos de potência tradicionais poderão prover melhores serviços com custos menores, em comparação com os que poderiam apresentar se atuassem isoladamente (ZERRIFFI, 2011).

Vários países também utilizam a geração centralizada. Esse sistema de geração de energia elétrica geralmente é monotecnológico, ou seja, quando há um aumento de demanda de carga, tem como resposta, mais investimento em construção de novas usinas geradoras, que em geral são de médio e grande porte; dessa forma atendem à demanda obedecendo ao modelo econômico. Conforme referido em Rodríguez (2002) e Rodrigues (2006), os motivos justificadores desse modo de organização dos sistemas elétricos são:

(a) a contínua busca de economias de escala, com a conseqüente redução dos custos unitários de investimento e de produção, pois a rápida expansão dos sistemas elétricos reconfigurou o negócio da energia como um monopólio natural em larga escala;

(b) a minimização dos impactos e dos riscos ambientais nos centros mais densamente povoados;

(c) o poder que tinham os empreendedores de grandes obras, do setor público ou do setor privado, dando suporte às soluções então propostas e;

(d) a alta confiabilidade dos sistemas de transmissão de energia elétrica em alta tensão.

Entretanto, alguns questionamentos podem ser apresentados no que tange a esses pontos. Sucintamente se pode dizer que as grandes construções não minimizam os impactos, mesmo que o efeito cumulativo de pequenos impactos podem ser maiores. Entretanto, a justificativa não pode ser *in totum* porque é necessário analisar todos os casos e todas as possibilidades. As grandes corporações se apropriaram do conceito e somente fazem a implementação caso haja incentivos para maior intensificação dos lucros de cada empreendimento. Por outro lado, a maior concentração da geração de energia elétrica leva à concentração de poder e decisão de poucos atores (MORET, 2000).

Assim, há problemas da transmissão de grandes blocos de energia elétrica, sejam nas perdas e na confiabilidade do sistema. Outro ponto fundamental, é que este comportamento

introduziu no sistema um erro, que é apenas o investimento no aporte de carga, sem, contudo investir em gestão da demanda. Por consequência, os consumidores diminuiram a autogeração pela aquisição de energia elétrica das concessionárias, que, em 1970, forneciam mais de 90% da eletricidade mundial (DUNN & FLAVIN, 2000).

Na atualidade, no Brasil e no mundo, as cargas elétricas conectadas à rede convencional, o suprimento energético para as expansões de carga é, via de regra, garantido pelo sistema elétrico, sem que consideração alguma seja feita quanto ao tema eficiência energética. Isso significa que a eficiência energética desse tipo de carga é assunto importante, mas não é critério definidor da possibilidade de suprimento elétrico (MORET, 2000).

Ao contrário disso, algumas aplicações da GD compartilham a mesma vinculação à eficiência energética vivenciada pelos primeiros sistemas elétricos: para elas, a eficiência energética de uma carga pode decidir se o fornecimento de energia elétrica será implementado ou não, pois essa eficiência é parâmetro imprescindível para o dimensionamento do sistema elétrico, com impacto direto nos estudos de viabilidade econômica do projeto ou de comparação entre alternativas de investimento em projetos (DE GOUELLO & MAIGNE, 2003).

Além disso, as alternativas vão historicamente se ampliando, de modo que nações ou regiões que procuram eletrificação têm mais opções hoje do que tinham 20 ou 50 anos atrás, porque as tecnologias e metodologias descentralizadas de geração estão mais desenvolvidas e efetivas (ZOULIAS et al. 2006).

Deste modo, a eletricidade pode ser gerada nos quintais de usuários finais remotos através de células fotovoltaicas solares ou turbinas eólicas (PINHO et al. 2008). Plantas de pequena escala podem transformar biomassa produzida localmente e fornecer eletricidade através de *microgrids* (SUCIPTA; KIMIJIMA, 2007). Algumas regiões podem ser capazes de contornar as tecnologias centralizadas inteiramente, devido alguns limitadores técnicos (KAUDINYA et al., 2009).

Na atualidade, a geração centralizada às vezes não atende certas demandas, de áreas isoladas, pois há limitadores geográficos e ambientais. Dessa forma, para que a GD possa atender essa demanda, é necessário, entre outras coisas, que a condição de solução do problema seja técnica e economicamente viáveis, e (ou) social ou ambientalmente necessárias (ROMAGNOLI, 2005).

Por outro lado, há um caminho a ser trilhado, quando o planejamento transmutar-se para reconhecer que a escala (grandes dimensões) nem sempre é adequada para áreas isoladas, principalmente para o Brasil que tem dimensões continentais e barreiras ambientais, isso

porque os locais que ainda estão sem acesso à eletricidade são afastados dos grandes centros, e por outro lado, na maioria deles tem biodiversidade exuberante que temos no país, há fontes de geração distribuídas pelo território, que utilizam a biomassa, a hidreletricidade, a energia solar, que podem suprir com confiabilidade o serviço de eletricidade (MORET, 2010).

A geração descentralizada constitui-se como alternativa às formas convencionais de produção de energia elétrica e vários benefícios têm levado à crescente utilização de GD em diversos países ao redor do mundo. Dentre os benefícios podemos destacar (LASSETER et al, 2002; SOUZA, 2009):

- Diversificação da matriz energética.
- Redução dos custos de geração e transporte de energia elétrica.
- Regulação de tensão e redução das perdas técnicas no sistema de distribuição.
- Adiantamento de investimentos em reforços da rede para atender o crescimento da demanda.
- Diminuição dos riscos no planejamento da expansão dos sistemas elétricos devido ao menor tamanho das unidades de geração assim como à flexibilidade das soluções.
- Aproveitamento de combustíveis disponíveis próximos aos centros de carga como gás natural, hidrogênio, álcool, etc.
- Potencial para investimentos em geração combinada de calor e de energia elétrica, através do uso do calor residual em aplicações industriais, domésticas e comerciais, incrementando notavelmente a eficiência energética total.

A distribuição de energia elétrica na forma de geração descentralizada é conveniente, porque pode utilizar fonte de energia limpa e renovável como insumo na produção de eletricidade. Essa composição inclui fontes pequenas em locais com baixa densidade demográfica e baixa demanda elétrica (RODRIGUES, 2006).

Muitas vezes, os conceitos de GD, de fontes renováveis de energia e de fontes alternativas de energia são confundidos e, às vezes, até mesmo tidos por sinônimos, conforme identifica Rodrigues (2006), que propõe, como forma de resolver essas dúvidas, algumas definições adequadas ao seu próprio contexto:

- Fontes alternativas de energia: são fontes de energia relativamente novas (no que se refere à exploração como fontes de energia elétrica), não utilizadas tradicionalmente e que não produzem energia em grande escala, tais como, solar, eólica, células a combustível e biomassa.

- Fontes renováveis de energia: são aquelas que não queimam combustível fóssil para a produção de energia elétrica, não causando, assim, um grande dano ambiental, tais como hídrica (produção de energia em hidrelétricas), solar e eólica (RODRIGUES, 2006).

O Quadro 1 mostra a faixa de capacidade típica de potência disponível por módulo de fonte não renovável e renovável, para aplicação em locais distante dos sistemas centralizados tradicionais.

Quadro 1: Tecnologias para GD e respectivas capacidades típicas para renovável e não renovável.

Tecnologia	Capacidade típica disponível por módulo
Não renováveis	
Turbina a gás de ciclo combinado	35 MW – 400 MW
Motores a combustão interna	5 kW – 10 MW
Turbina a combustão	1 MW – 250 MW
Microturbina	35 kW – 1MW
Renováveis	
Pequena hidrelétrica	1 MW – 100 MW
Micro hidrelétrica	25 kW – 1 MW
Turbina eólica	200 W – 3 MW
Arranjo fotovoltaico	20 W – 100 kW
Térmica solar	1 MW – 80 MW
Biomassa (gaseificação)	100 kW – 20 MW
Célula a combustível	10 kW – 5 MW
Geotérmica	5 MW – 100 MW
Energia dos oceanos	100 kW – 1 MW
Motor Stirling	2 kW – 10 kW
Bateria	500 kW – 5 MW

Fonte: ACKERMANN et al, 2001.

Há tecnologias de GD que estão vinculadas a uma única fonte primária de energia, como, por exemplo, a tecnologia de painéis fotovoltaicos, que utiliza a radiação solar como fonte primária de energia. Por outro lado, há tecnologias de GD que podem utilizar mais de uma fonte primária de energia, como por exemplo, a tecnologia de geração por meio de grupo motor-gerador com motor à combustão interna, que pode empregar vários combustíveis, tais como: óleo diesel, óleo vegetal, gás hidrogênio, biogás, biodiesel, gás de biomassa (CAMPOY et al., 2009).

As tecnologias, tais como os micros geradores hídricos, os arranjos fotovoltaicos, as turbinas eólicas, os motores a diesel, os sistemas térmicos solares, as células a combustível e as baterias elétricas consistem em determinado número de pequenos módulos que podem ser montados nos locais, incluindo operação e manutenção facilitadas e realizadas pelos próprios

consumidores, após treinamento técnico. Esses módulos demandam pequeno tempo de instalação e montagem final da usina geradora, em contraposição ao tempo de instalação para grandes usinas geradoras centralizadas (EI-KHATTAN e SALAMA, 2004).

Adicionalmente, cada módulo pode começar a operar tão logo esteja instalado, independentemente da situação dos demais módulos. No caso de falha de um módulo, os outros módulos não são afetados por isso. Uma vez que cada módulo é pequeno quando comparado com o tamanho unitário de grandes usinas geradoras centralizadas, o efeito da falha do módulo na potência disponível total de saída é consideravelmente menor (FAKHAM et al., 2001).

Outro aspecto importante a se considerar é a possibilidade de produção combinada de calor e energia. Turbinas a gás de ciclo combinado, motores de combustão interna, turbinas de combustão, gaseificação de biomassa, processos geotérmicos, motores *Stirling* e células a combustível são adequados à produção combinada de calor e energia. Essa produção, por ocorrer em um único lugar, possui alta eficiência se o calor for localmente utilizado. Na maioria dos casos, a geração de calor e energia tem estreita correlação, pois o calor a ser utilizado é gerado pelas perdas térmicas da produção de energia elétrica. A tecnologia de produção combinada de calor e energia já é largamente utilizada com turbinas a gás de ciclo combinado, motores de combustão interna, turbinas de combustão, gaseificação de biomassa e células a combustível (FAKHAM et al., 2001).

Sobre a tecnologia utilizada na rede de eletricidade com fonte renovável, apresenta-se o Quadro 2, tipos e quantidade das fontes que pode impressionar pelas dimensões absolutas, contudo, em termos relativos, eles são até modestos, pois representam apenas 2% da energia total produzida no mundo (TOLMASQUIM, 2003). Há, portanto, muito a ser feito para se tentar superar as limitações da GD e alterar, assim, essa realidade em nível global.

Quadro 2: Rede de eletricidade renovável, com base capacidade instalada de geração em 2000 (em MW).

Tecnologia	Mundo	Países em desenvolvimento
Energia eólica	18.000	1.700
Pequenas hidrelétricas	36.000	19.000
Energia de biomassa	38.000	30.000
Energia geotérmica	8.500	3.900
Energia térmica solar	350	0
Capacidade total de energia renovável	100.000	55.000
Grandes hidrelétricas	680.000	260.000
Capacidade mundial total de energia elétrica	3.400.000	1.500.00

Fonte: TOLMASQUIM, 2003.

Uma vez implantada corretamente e em locais adequados, a GD pode propiciar, segundo a literatura, benefícios aos consumidores e à sociedade, quando as opções convencionais de geração centralizada não estiverem disponíveis (ROMAGNOLI, 2005; RODRÍGUEZ, 2002; DIAS et al, 2005):

(a) Quando implantadas com arranjo e tecnologia adequados, unidades de GD podem ter índices de confiabilidade muito elevados, que podem se aproximar de 100%;

(b) Unidades de GD podem suprir o consumidor com energia de ótima qualidade no que se refere à tensão, frequência, entre outros indicadores;

(c) Em muitos casos, a GD pode ser a alternativa de suprimento elétrico mais viável para se evitarem os onerosos custos que têm a energia elétrica suprida por concessionária ou comercializador;

(d) Quando utilizada como cogeração, a GD pode trazer benefícios de calor e frio distribuídos. Isso promove o importantíssimo aumento da eficiência de uso dos combustíveis, levando à considerável economia de energia primária. Por exemplo, a eficiência de conversão de gás natural em energia útil pode chegar até a 85% caso se empregue a cogeração;

(e) A GD pode ser a única opção para o atendimento às comunidades isoladas quando a alimentação por meio da extensão de rede de transmissão ou de distribuição torna-se inviável por motivos econômicos, ambientais e (ou) legais. Quanto a esse aspecto, a GD tem grande potencial para contribuir com o atendimento à Lei n.º 10.438/2002, que dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica.

Por outro lado, situam-se os aspectos desfavoráveis a GD, que segundo Rodrigues (2006) incluem:

(a) A grande complexidade, incluindo a técnica, no nível de operação do despacho centralizado;

(b) A existência de impactos importantes nos procedimentos de operação e de controle da rede de distribuição;

(c) A necessidade de integração e de gerenciamento da GD junto às redes de distribuição existentes, que têm grau de complexidade dependente da rede e da fonte de GD a ser instalada, e isso requer análise caso-a-caso e impõe custo adicional;

(d) O impacto que a presença de GD causa nos sistemas de proteção das atuais redes de distribuição quando interligadas;

(e) A necessidade de monitoração constante da qualidade da energia;

(f) A necessidade de novas configurações da rede de distribuição a fim de incorporar e explorar a GD já no seu planejamento;

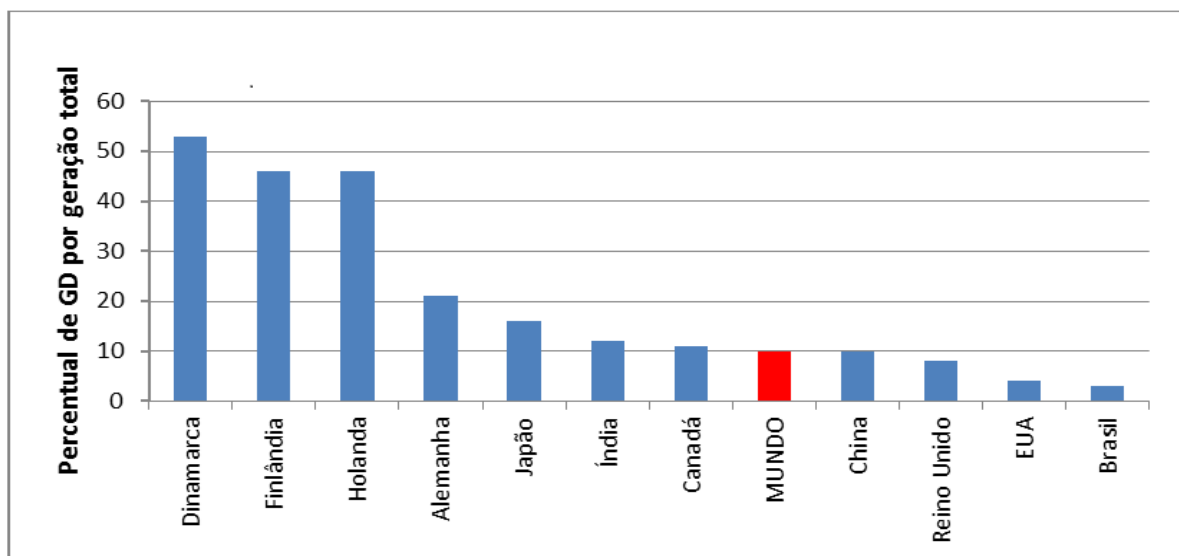
(g) As dificuldades de se elaborarem normas claras e abrangentes face às especificidades de cada rede e da própria GD;

(h) Os elevados custos envolvidos, que, apesar de decrescentes com o desenvolvimento das tecnologias de GD, notadamente são maiores que os custos da maioria das opções de geração centralizada.

(i) A baixa capacidade da sociedade em operar o sistema, seja porque há baixa formação, seja porque não há interesse.

Entretanto, todas as características têm despertado o interesse de muitos países pelo assunto e aumentado à penetração em vários países em que não existia. A Figura 1, a seguir mostra, para cada país indicado e para o mundo, o percentual de GD por geração total no respectivo local. Há enorme disparidade entre os percentuais dos diversos países, verificando-se que há países desenvolvidos e em desenvolvimento com percentuais acima e abaixo da média mundial. Isso mostra que a utilização de GD não é apenas uma questão de grau de desenvolvimento econômico, mas de outros parâmetros, como por exemplo, o aspecto ambiental e disponibilidade de fontes energéticas (DE GOUVELLO & MAIGNE, 2003).

Figura 1: Percentual de GD por geração total em diversos países e no mundo em 2006.



Fonte: WADE, 2006.

2.1.1 Geração Descentralizada com o uso da Cogeração

A GD de energia elétrica pode, vantajosamente, empregar os sistemas de cogeração, onde se desenvolve simultaneamente, e de forma sequenciada, a geração de energia elétrica ou mecânica e energia térmica (calor de processo e/ou frio), a partir da queima de um combustível tal como os derivados de petróleo, o gás natural, o carvão ou a biomassa.

Essa tecnologia é uma das alternativas mais eficazes para uma utilização consistente e racional da energia primária disponível, principalmente se comparada às centrais térmicas convencionais de atendimento GD. Com efeito, a produção combinada de energia elétrica e térmica para uso local contribui significativamente para a rentabilidade de uma planta de geração, principalmente pelo fato de apresentar eficiências elevadas, decorrente do uso dado às correntes térmicas necessariamente rejeitadas no ciclo térmico (MINAT, 2002).

Um dos exemplos, os impactos ambientais e sociais associados ao processo de conversão de energia de um modo geral são minimizados, ainda mais quando utilizados sistemas a gás natural, que apresentam menor nível de poluição atmosférica. Vale observar que a energia mecânica produzida pode ser utilizada na forma de trabalho mecânico (por exemplo, no acionamento de moendas, turbo bomba, turbo sopradores, entre outros) ou transformada em energia elétrica através de um gerador de eletricidade; e a energia térmica é utilizada como fonte de calor para um processo e/ou com fins de refrigeração (indústrias, hospitais, centros comerciais, aeroportos, etc.) (MINAT, 2002).

As tecnologias de geração de energia elétrica em menor escala, para utilização próxima aos consumidores e, como exemplo, destinando o calor rejeitado nos ciclos de potência para algum processo de aquecimento, não são efetivamente novidade no contexto energético. Por isso, é interessante rever sua evolução e principalmente constatar sua significativa expansão em anos recentes. Enfatizando, assim, a cogeração, identificando a tecnologia de melhor desempenho energético para a GD, portanto recebendo maior estímulo nas políticas energéticas. Para uma compreensão desse assunto, aborda-se a seguir a evolução desta tecnologia de GD no mundo e no Brasil (MINAT, 2002).

Porém, antes, deve-se destacar que os primeiros sistemas de cogeração, instalados em todo o mundo, surgiram junto com a indústria da energia elétrica e datam do final do século XIX na Europa e princípios do século XX nos EUA, quando o fornecimento de energia elétrica proveniente de grandes centrais se encontrava numa etapa incipiente de desenvolvimento. Nessa época, era comum que consumidores de energia elétrica de médio e grande porte instalassem suas próprias centrais de geração de energia, vendendo ou não

excedentes de eletricidade e vapor a consumidores vizinhos. Esta situação perdurou até a década de 40 do século passado, quando os sistemas de geração distribuída chegaram a representar 50% de toda a energia elétrica gerada nos Estados Unidos e na Alemanha (ACKERMANN et al, 2001).

A Administração de Informação de Energia dos EUA (EIA – *Energy Information Administration*) reporta que, a partir de 2000, a cogeração respondeu por aproximadamente 7,5% da capacidade instalada e quase 9% da eletricidade gerada nos EUA. Na primeira conferência americana de produção combinada de calor e eletricidade (CHP - *Combined Heat and Power*), realizada em dezembro de 1998, a indústria de cogeração, o Departamento de Energia (DOE – *Department of Energy*) e a Agência de Proteção Ambiental (EPA – *Environmental Protection Agency*) anunciaram o programa de incentivo CHP *Challenge*, estabelecendo como meta dobrar a capacidade instalada de cogeração entre 1999 e 2010, de 46 para 92 GW. O conselho Econômico Americano de Eficiência Energética (*American Council for an Energy-Efficiency Economy* - ACEEE) estima que um adicional de 95 GW de capacidade de CHP poderia ser adicionado entre 2010 e 2020, resultando em 29% de capacidade total (KAUDINYA et al, 2009).

O DOE está auxiliando os fabricantes de diferentes equipamentos a trabalharem conjuntamente, a fim de integrar seus componentes individuais em sistemas de cogeração completos e de fácil utilização, pacotes *plug and play* que devem estar prontamente disponíveis. Algumas dessas iniciativas são descritas a seguir (LASSETER et al., 2002):

- A *Burns and McDonnell*, trabalhando com a empresa *Solar Gas Turbines* e com a *Broad USA*, desenvolve sistemas de cogeração que se caracterizam por incluir uma turbina a gás *Taurus* de 5,2 MW e recuperação do calor de exaustão através de *chillers* de absorção totalizando 2000 TR (toneladas de refrigeração);
- A *Capstone Turbine Corporation* projetará e testará pacotes de sistemas de cogeração que usam gases de exaustão de microturbinas a gás de 30 e 60 kW, acoplados com *chillers* de absorção para condicionamento de ar;
- O Instituto de Tecnologia de Gás (GTI – *Gas Technology Institute*) desenvolve sistemas de cogeração com motores de combustão interna *Waukesha* associados à *chillers* de absorção Trane. A faixa de potência dos motores situa-se entre 290 e 770 kW, acoplados a sistemas de absorção de diferentes capacidades;
- *Honeywell Laboratories* implementa sistemas de cogeração para edifícios, considerando turbinas a gás de 2 – 5 MW, combinadas com *chillers* de absorção de 500-2 TR;

- *Ingersoll Rand* desenvolve um sistema com uma microturbina a gás de 70 kW, associada a um sistema de refrigeração por absorção água-amônia, usado para resfriamento do ar de entrada da turbina, para condicionamento de ar e em sistemas de refrigeração;

- *NiSource Energy Technologies* implementa um projeto de cogeração modular em um hotel, composto de três microturbinas, trocadores de calor com recuperação de calor, um *chiller* de absorção, uma unidade dessecante e um sistema de controle integrado. A proposta é tornar estes sistemas o modelo padrão de hotéis e motéis;

- O *United Technologies Research Center* desenvolve um sistema de cogeração baseado em microturbinas a gás aeroderivativas de 400 kW e alta eficiência da *Pratt & Whitney*, combinadas a máquinas de absorção da *Carrier* (LASSETER et al, 2002).

Na Europa, a cogeração, em média, é responsável por 10% da energia elétrica produzida, 10% da demanda de calor e uma pequena porcentagem da demanda de frio, seja por meio de pequenas plantas, ou plantas de aquecimento distrital com capacidade instalada superior a 500 MW elétricos, tanto no setor residencial como em grandes plantas térmicas e industriais, queimando, para isso, diversos tipos de combustíveis, desde carvão, gás, óleo e até biomassa. Naturalmente que a cogeração em grandes termelétricas não pode ser considerada geração distribuída.

Na Tabela 1 são apresentados os números relativos à cogeração em alguns países da Europa de 1994 até 1998, mostrando a evolução participativa da cogeração na região europeia.

Tabela 1: Dados históricos da cogeração na CEE.

País	1994		1996		1998	
	Eletricidade cogorada (GWh)	Porcentagem da eletricidade gerada em CTE (%)	Eletricidade cogorada (GWh)	Porcentagem da eletricidade gerada em CTE (%)	Eletricidade cogorada (GWh)	Porcentagem da eletricidade gerada em CTE (%)
Bélgica	2448	8	3000	9,5	3410	9,6
Dinamarca	21874	56,2	29260	55,9	25591	66,9
Alemanha	47752	13,5	37817	10,3	41770	11,3
Grécia	819	2,2	886	2,3	981	2,3
Espanha	8537	11,1	13390	17,5	21916	22,2
França	8506	24,5	9864	22	12660	22,7
Irlanda	259	1,6	357	2	404	2
Itália	26477	14,7	31383	16,2	44856	21,6
Luxemburgo	-	-	-	-	320	87,7
Países Baixos	31543	41,7	36410	45,1	47835	55,4
Áustria	11721	66	13539	70,3	14268	76,2
Portugal	3111	15,1	2845	14,5	3288	12,8
Finlândia	20312	59	22536	59,3	25128	75,6
Suécia	9257	85	10241	70,9	9544	95,5
Reino Unido	11619	5	15108	6,1	18644	7,4
União Européia	204235	17,6	226336	18,3	270615	21

Fonte: MINAT, 2002.

Os países do Sudeste Asiático têm um grande potencial de cogeração e já existem exemplos de projetos implementados na região. Usuários típicos de cogeração são instalações industriais e institucionais de grande e médio porte, para aquecimento e resfriamento distrital e pequenas plantas que necessitam de calor de processo para suas operações. Porém, o desenvolvimento da cogeração varia de país a país em uma mesma região, por causa de diferenças na demanda de energia, nas formas de distribuição, condições climáticas e a disponibilidade de combustível. Apesar das vantagens tecnológicas, em termos de emissões e eficiência, não há ainda uma grande utilização da cogeração nesses países, principalmente devido à falta de informação técnica e aos altos custos para a importação de equipamentos. Contudo, em termos de cogeração e GD, essa região do Sudeste pode ser vista como um exemplo para outros países asiáticos (LASSETER et al, 2002).

Na Indonésia, por exemplo, a cogeração, embora em pequena escala, tem sido principalmente utilizada pelas indústrias que possuem uma elevada demanda de vapor, tais como: indústria têxteis, de papel e celulose, químicas, de alimentos e bebidas e também em refinarias. A cogeração foi introduzida naquele país na década de 80, a partir das usinas de açúcar. Para encorajar os pequenos produtores de energia a utilizarem fontes renováveis, o governo da Indonésia emitiu um decreto intitulado *Small Power Purchase Tariff*, que

determina que a Companhia de Eletricidade Estatal compre compulsoriamente a eletricidade produzida a partir de rejeitos agrícolas e industriais em sistemas de cogeração, e também a partir da cogeração utilizando gás natural (MITTAL & AGRAWAL, 2011).

A Tailândia, cujo governo aprovou em 1988 uma política para encorajar a participação do setor privado na geração de energia a partir da cogeração, é um caso notável de fomento a esta tecnologia. Em 2000, o consumo de eletricidade na Tailândia foi de 88000 GWh, com expressivas taxas anuais de crescimento. Além da política do governo para encorajar a participação de setor privado na geração, o país também tem uma participação significativa de Pequenos Produtores de Energia (SSP – *Small Power Producer*), que utilizam centrais de cogeração com combustíveis tradicionais, além de fontes não convencionais. Por exemplo, a beneficiadora de arroz *Chia Meng*, uma das maiores do país, implementou uma central de cogeração com 2,5 MW, que utiliza casca de arroz como combustível. Esta planta foi comissionada em março de 1997. Outro caso de cogeração na Tailândia é a central da *Cogeneration Public Co. Ltd. (COCO)*, que queima gás natural e óleo diesel, com a potência elétrica instalada deve atingir 300 MW, associada a uma produção de 320 ton./h de vapor (MITTAL & AGRAWAL, 2011).

Nas Filipinas, com uma população crescente, o óleo combustível ainda tem uma participação vital no consumo de energia do país. Espera-se que a demanda total de óleo combustível cresça algo em torno de 5.9%, porém, a demanda de óleo para geração de energia deve recuar substancialmente em 2002, devido ao uso crescente do gás natural (TEIXEIRA et al., 2006).

Na Malásia, em 2001, foi iniciado um programa de incentivos para intensificar o uso de fontes renováveis de energia, incluindo o uso de biomassa e biogás. E foram fornecidas licenças para um período de 21 anos, aos produtores independentes de energia. A capacidade máxima de geração através de fontes renováveis está fixada em 10 MW. Por exemplo, as indústrias de *Sim Hoe Sdn. Bhd* investiram em novas instalações para suas serrarias, e asseguraram sua autossuficiência de energia por meio de uma central de cogeração que produz eletricidade e vapor de processo, através da queima de rejeitos de madeira. A indústria tem uma capacidade de geração de eletricidade de 1,5 MW (TEIXEIRA et al., 2006).

Visando o uso racional de energia, a partir do final da década de 70 começaram a implementar os primeiros projetos de cogeração na China. A cogeração com sistemas de pequeno porte (até 6 MW) chegou a representar a geração anual de 8 GWh de energia, com a

instalação de 1,8 GW de potência (GSP, 1995). O estado atual da cogeração permite a geração de 10 – 12% da eletricidade consumida no país (BROWN, 2001a).

A cogeração na China está implementada desde a década de 50 na forma de grandes redes de aquecimento distrital, que utilizam energia do sistema de arrefecimento de centrais termelétricas a carvão, óleo combustível e gás natural, localizadas no perímetro dos grandes centros urbanos.

Já na Rússia, a maior dificuldade na expansão da cogeração é manifestada na falta de fundos no país para a realização de investimentos. Segundo Brown (2001b), poderá existir uma grande expansão da cogeração nesse país nos próximos anos, tendo como fatores que incentivam esta expansão, entre outros:

- Necessidade de reforma do parque gerador de eletricidade, composto, na sua maioria, por unidades com mais de 20 anos de operação;
- Grandes reservas de gás natural. A Rússia possui 30% das reservas mundiais;
- Existência de infraestrutura para a exploração do gás natural;
- Começo do processo de abertura do mercado energético;
- Crescimento da demanda de energia elétrica a taxas de até 20% ao ano em algumas regiões.

Segundo a *Asia Consulting Group* (ACG, 2000), os autoprodutores japoneses são formados tipicamente por proprietários de centrais hidrelétricas ou de instalações industriais com geração própria, como por exemplo, indústrias de papel e celulose. Os autoprodutores respondem por aproximadamente 11% da potência instalada e 12% da geração total de energia, e sua participação na matriz energética japonesa permaneceu aproximadamente constante durante os últimos anos. Vale salientar ainda que a contribuição dos autoprodutores, para o sistema elétrico japonês, é mais alta do que a contribuição de seus equivalentes na Europa e EUA (ACG, 2000).

No entanto, no Japão atualmente, a cogeração ainda tem pouca representatividade na energia total gerada, constituindo aproximadamente 2% da capacidade total de geração. A ausência de reservas de gás natural e a falta de uma rede eficiente para a sua distribuição são uns dos principais empecilhos ao desenvolvimento da cogeração no país, pois acabam elevando os custos operacionais das plantas de cogeração.

Considerando os recentes acidentes nucleares e as metas de redução da emissão de gases de efeito estufa, a cogeração pode alcançar uma posição mais atrativa em um futuro

próximo. Porém, um dos impedimentos principais para o desenvolvimento de centrais de cogeração no Japão, foi o controle estatal do setor e a falta de uma legislação específica, que impediram a realização de projetos pelos estados de forma independente.

Na Índia, em 2000, o Ministério de Recursos Energéticos Não Convencionais tentava modificar a legislação, desregular o mercado e encorajar o estado a investir em cogeração para acelerar seu estabelecimento. Como resultado deste processo uma série de incentivos foi instituída para expandir a cogeração no país. Os incentivos incluem baixos impostos, depreciação acelerada e isenção de imposto de renda, de consumo e de vendas, subsídios, moratória de reembolso de até três anos, etc. Na atualidade, a principal barreira para o desenvolvimento da cogeração na Índia é a escassez de gás natural e, por consequência, o interesse principal em cogeração refere-se ao uso da biomassa.

Segundo a ACG (2000), o segmento de autoprodutores na Austrália constitui, aproximadamente, 4% da capacidade de geração instalada. Essa porcentagem não ressalta a importância dos autoprodutores no país, pois a cogeração industrial encarrega-se de fornecer e/ou complementar energia elétrica em diversas localidades.

A Austrália tem uma capacidade de cogeração total de aproximadamente 1700 MW, dos quais 17% estão baseados em instalações que empregam como combustível o bagaço da cana-de-açúcar. Dos 3000 MW de capacidade adicional de energia renovável planejada para os próximos dez anos, é esperado que a maior parte fosse produzida por sistemas de cogeração.

A Associação de Cogeração Australiana está trabalhando atualmente para superar as barreiras do mercado regulado, incentivando o programa de cogeração, de modo a tornar mais competitivas as centrais de cogeração. A principal barreira para a cogeração consiste no baixo custo de eletricidade na Austrália. De toda forma, a menor emissão de gases de efeito estufa pode se tornar o principal fomentador da expansão da cogeração.

Em síntese, as alternativas mais viáveis e de maior interesse no cenário atual e em curto prazo para as tecnologias de GD estão relacionadas às aplicações de cogeração e em geração nos horários de pico. Contudo é bem diversificado o grau de penetração da cogeração entre os países. Na Europa e nos EUA é onde a cogeração tem avançado mais, sendo que ao redor de 10% de toda a eletricidade gerada resulta de sistemas de cogeração. Para o ano de 2010, o aumento alcançado está em 20% da eletricidade total gerada nestes países, e em alguns casos, como a Holanda e Dinamarca, este valor ultrapassa os 40%.

2.1.2 Geração Descentralizada no Brasil e a Cogeração

No Brasil, o sistema elétrico se desenvolveu em larga escala no período do pós-guerra, dispondo nos anos 80 de duas redes interconectadas: a maior delas cobria o Sudeste e a de menor dimensão, a região Nordeste do país. A disponibilidade de hidroeletricidade no sistema a custos relativamente baixos, menos de US\$45/MWh (DIAS et al, 2005), tornou praticamente residual a participação da termoeletricidade no abastecimento elétrico do sistema interligado, e deste modo cerca de 90% do consumo elétrico brasileiro é atendido com base na geração de origem hidráulica.

Desta forma, não surpreende que a cogeração associada à autoprodução tenha declinado pronunciadamente, seguindo a mesma tendência observada nos países industrializados. No começo da década de 90, apenas algumas indústrias (açúcar e álcool, papel e celulose, química e petroquímica e siderurgia) usavam a cogeração para suprir suas necessidades de calor e eletricidade.

O caso mais notável é o da indústria açucareira, onde o bagaço de cana é subproduto do processo industrial. Com maior destaque no estado de São Paulo, existe hoje mais de uma centena de consumidores com capacidade própria de geração, totalizando mais de 800 MW instalados. Entretanto, de alguns anos para cá, de forma similar aos países desenvolvidos, como o Brasil surgem tendências para incremento da geração de eletricidade na forma descentralizada, utilizando não somente a cogeração, decorrentes das seguintes causas (DIAS et al, 2005):

- Forte propensão de aumento das tarifas de eletricidade, considerando o aumento da participação da geração termelétrica na matriz energética brasileira e, ainda, a desvalorização cambial, a necessidade de importação de equipamentos e a tarifa do gás natural em dólares;
- A disposição, por parte dos consumidores, de reduzir o custo do suprimento de energia elétrica e de melhorar a confiabilidade desse suprimento, face ao aumento dos preços aplicados pelas concessionárias e as deficiências de geração e transmissão. Em particular, o custo de geração em centrais empregando óleo diesel tornou, em certos casos, mais econômico para o atendimento da ponta por geração local ad hoc (geradores de ponta) do que pela concessionária;
- A reestruturação institucional do setor elétrico, com a criação das figuras do consumidor livre e do comercializador de energia, com oportunidade de livre acesso de produtores independentes e consumidores livres ao sistema de transmissão, pelas novas regras

estabelecidas pela ANEEL, legalizando a venda de energia elétrica ao mercado por produtores independentes e autoprodutores e, permitindo a distribuição de eletricidade conjuntamente com frio/calor distrital;

- Disponibilidade crescente do gás natural para geração, em virtude do aumento da oferta tanto de origem nacional como externa, da construção de gasodutos para transporte e do desenvolvimento das redes de distribuição;
- Conscientização dos problemas ambientais, promovendo soluções que tendam a reduzir os impactos ambientais da geração, dentre as quais as que permitem melhor aproveitamento da energia proveniente de combustíveis fósseis ou renováveis;
- Aperfeiçoamento de tecnologia que tornaram competitivas novas fontes e novos processos de geração de energia;
- Progresso da tecnologia eletrônica e conseqüente redução nos custos de sistemas de controle, de processamento e de transmissão de dados, viabilizando a operação de sistemas elétricos cada vez mais complexos.

É nesse novo cenário energético que aparece espaço para a GD, utilizando sistemas térmico, solar e eólico. O setor elétrico brasileiro passa hoje por um período de ajustes, e ainda há problemas à serem resolvidos, mas já se pode constatar uma forte sinalização de soluções, apontando para um mercado mais competitivo, onde será fundamental a busca de soluções regionais e eficientes, para o equacionamento das questões de custo e qualidade de suprimento de energia elétrica para o consumidor, as concessionárias e demais participantes deste mercado.

2.2 Sistemas *Microgrids* como Ferramenta para a Geração Descentralizada

O aumento da atenção e do esforço para ampliar e a implantação de *microgrids* cria uma pressão para desenvolvedores terem sucesso, tanto na perspectiva da qualidade e quantidade, quanto na diversidade de possibilidades que se adequem à demanda. Resultados de desempenho não adequados podem resultar reação contra micro redes frente às opções tradicionais de acesso de energia, como exemplo a baixa oferta de sistemas de energia solar frente à demanda (DUKE et al., 2002).

É importante observar que o desenvolvimento e a operação sustentável de *microgrids* enfrentam desafios. Relatórios recentes mostram que algumas micro redes tem baixo desempenho (PALIT et al., 2013), que está relacionado à tecnologia não ser adequada às

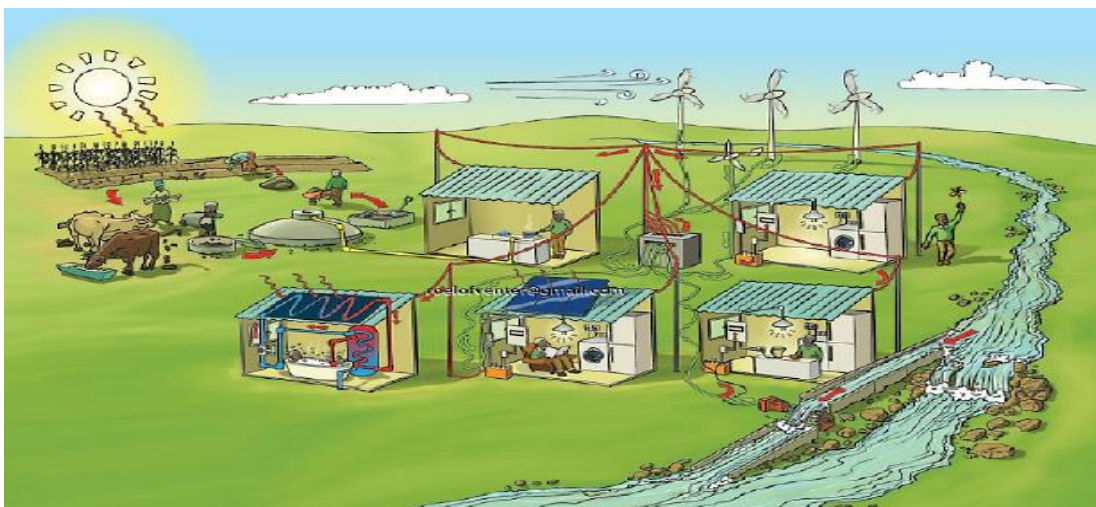
condições locais ou ao uso do cliente; mais frequente devido à gestão inadequada de recursos, treinamento inadequado e indisponibilidade de peças para a manutenção adequada dos sistemas (ALLIANCE FOR RURAL ELECTRIFICATION, 2011).

Os *microgrids* são pequenas redes elétricas que transmitem energia em distribuição de baixa tensão a partir de fontes de geração locais interligadas ou não, como micro central hidrelétrica, fotovoltaico e gaseificador de biomassa para um número relativamente pequeno de clientes (ROLLAND & GLANIA, 2011). Em todos os casos, os *microgrids* são capazes de gerar energia local e fornecer energia elétrica a um número relativamente pequeno de utilizadores, que estão ligados uns aos outros por meio de um sistema de distribuição comum. A eletricidade é normalmente distribuída com uma tensão baixa e o *microgrid* pode funcionar de forma totalmente independente da rede elétrica central.

Em diversos aspectos, os *microgrids* são versões menores de redes de eletricidade centralizadas tradicionais. De acordo com Lilienthal (2013), *microgrids* são definidas como "redes locais de energia elétrica que usam recursos de energia distribuída, gerenciando também o fornecimento de energia local e demanda".

O termo "*microgrid*" não é universalmente definido ou distinto de outros termos, tais como *minigrids* ou *picogrids* (LILIENTHAL, 2013). Além do uso do termo *microgrid*, outros são frequentemente usados como sinônimos na literatura. A Figura 2 representa um esquema de *microgrid*, com quatro fontes de energia, a fotovoltaica, a cinética da água, a eólica e o biogás.

Figura 2: Exemplo esquemático de Microgrid.



Fonte: Venter, 2012.

Especialistas e profissionais não concordam plenamente em uma convenção de nomenclatura ou categorização de micro redes. Por exemplo, *Navigant Research* tem dividido o mercado *microgrid* em cinco categorias com base no usuário final (NAVIGANT RESEARCH, 2013):

1. Sistemas remotos;
2. Comercial / industrial;
3. Comunidade / Utilitário;
4. Institucional / Campus;
5. Militar.

Sobre esse assunto, Lilienthal (2013) delinea, utilizando o Homer Energia, quatro categorias de micro redes baseadas em conexão e tamanho:

1. Grandes *microgrids* conectadas à rede (por exemplo, bases militares ou campi);
2. Pequenas *microgrids* conectadas à rede (por exemplo, grupos geradores individuais para fazer *backup* de redes centrais não confiáveis);
3. Grandes *microgrids* remotos (por exemplo, serviços públicos da ilha);
4. Pequenas *microgrids* remotas (por exemplo, aldeias).

Os avanços tecnológicos e melhorias no monitoramento, controle e coleta de pagamento de energia nos *microgrids*, mudaram as ferramentas disponíveis para fornecer serviços elétricos de forma substancial. O resultado são *microgrids* que têm um enorme potencial, parte do esforço global para fornecer acesso à eletricidade para milhões de pessoas que atualmente não têm acesso à energia elétrica (OXFAM, 2012; PALIT et al., 2013.). Governos, empreendedores privados e ONGs de todo o mundo tem preferido *microgrids* para eletrificar as comunidades que não teriam acesso ao serviço em curto ou médio prazo, por extensões de sistemas de rede tradicionais centralizados. Como resultado, o número de *microgrids* vem sendo desenvolvido e aumentando rapidamente (MITTAL & AGRAWAL, 2011).

Os *microgrids* fornecem vários serviços, desde a iluminação residencial, entretenimento, refrigeração e os usos comerciais produtivos, como: moagem e outros (MITTAL & AGRAWAL, 2011). Segundo a referência, dependendo do número de clientes atendidos, os tipos de serviços prestados, e o tipo de tecnologia de geração utilizada, a capacidade instalada de um *microgrid* varia de tão pouco como 1 kW para tão grande quanto algumas centenas de quilowatts.

Os *Microgrids* também empregam vários recursos de geração, que incluem: diesel, energia solar fotovoltaica (PV), micro hídrico e gaseificação de biomassa, bem como as tecnologias híbridas, como a eólica-diesel e PV-diesel. Quando baseados em diesel eles (os *microgrids*) são os mais comuns em todo o mundo, dado o custo relativamente baixo de capital inicial do gerador e sua ampla disponibilidade (LIDULA & RAJAPAKSE, 2011).

Microgrids baseados em micro sistemas hidrelétricos normalmente utilizam a energia cinética dos rios, simplificada, tem-se o desvio através de um tubo em uma turbina para transformar em eletricidade (VAN ELS et al, 2010). Sistemas de gaseificador transformam a biomassa em gás, e sua queima produz maior quantidade de energia elétrica (MUKHOPADHYAY, 2004).

A gaseificação é uma tecnologia promissora para a utilização da biomassa e de outros resíduos, devido ao baixo impacto causado ao meio ambiente e à redução das emissões globais de CO₂ (CAMPOY et al., 2009; KIRUBAKARAN et al., 2009).

O processo de gaseificação da biomassa consiste em uma série de reações simultâneas, como a pirólise, a gaseificação propriamente dita e a combustão. A mistura de gases gerada no final do processo varia consideravelmente em função de diversos parâmetros: temperatura utilizada, pressão, tempo de residência, concentração de oxigênio no sistema reacional e as propriedades da biomassa (FAAJ et al., 2005).

O Brasil tem 487 usinas a biomassa em funcionamento, que segundo dados da ANEEL (2014), que têm capacidade instalada total de 12 GW, respondendo por cerca 9% da matriz elétrica brasileira.

2.2.1 Sistemas *Microgrids* Instalados no Mundo

Segundo o Banco de Dados para a Eletrificação Rural da Bolívia (BADER), 77,8% da população rural, o que corresponde a três milhões de pessoas não são atendidas por energia elétrica, representando uma significativa demanda reprimida (BADER, 2001). Além do sistema interligado, há os sistemas isolados com potencia inferior a 01 MW que representam 3% da capacidade total de geração da Bolívia (BADER, 2001).

Na área residencial concentra-se a demanda para o atendimento de iluminação e aparelhos audiovisuais, com 20 kWh/mês para domicílios com suprimento de energia elétrica e cinco litros de querosene por mês para os não atendidos por energia elétrica (ESMAP, 1999).

A potencial demanda por serviços de eletricidade possui três opções técnicas. Nas áreas próximas as redes existentes, os domicílios podem ser atendidos através de novas conexões a rede. A parcela do mercado para essa opção foi estimada em 474.000 domicílios (BADER, 2001). Nas áreas isoladas longe da rede e dispersas podem, preferencialmente, ser atendidos por sistemas descentralizados com fontes: fotovoltaicos, geradores eólicos, micro hidrelétricas e por plantas a biomassa, representando um potencial de 180.000 sistemas. A Tabela 2 mostra projetos na eletrificação rural na Bolívia e sua duração.

Tabela 2: Projetos de Eletrificação Rural na Bolívia durante o período 1997/2001.

	Número de projetos	% Concluídos em 1999	Custo total (US\$)	% do custo total	% fontes internacionais de financiamento	Número de residências	% de residências
Extensão da rede	129	62	34.504.396	65	15	53.860	77,4
Sistemas isolados	7	71	3.154.233,29	6	0	4.060	5,8
Micro hidrelétricas	3	0	787.726	1	21	640	0,9
Fotovoltaicos	6	50	11.047.206	21	56	11.060	15,9
Estudos	17	35	3.347.351	6	77	n/a	n/a
Total	162	57	52.840.913	100	26	69.620	100

Fonte: BADER, 2001.

O ponto crítico para eletrificação rural na Bolívia está em como utilizar os recursos e as habilidades dos três níveis governamentais (central, departamental e municipal), e, do setor privado para programar um amplo, eficiente e sustentável programa de eletrificação rural, combinando extensão de rede e sistemas descentralizados de energia renovável (DE GOUVELLO & MAIGNE, 2003).

Já em Madagascar o sistema elétrico é alimentado por 80% de energia produzida por centrais hidrelétricas e 20% por térmicas. A capacidade instalada atual é em torno de 233 MW. A taxa nacional de eletrificação é de apenas 8%, com menos de 1% nas áreas rurais (DE GOUVELLO & MAIGNE, 2003).

Essa demanda deve ser suprida por quatro projetos que são: uma micro central hidrelétrica de 160 kW, que foi instalada em Fandriana, no centro oeste do país. Ela fornece energia elétrica a cerca de 700 consumidores, atendendo a três cidades. O consumo é baixo, cerca de 10 kW/mês/consumidor, e somente 4 pequenas usinas estão interligadas: um sistema fotovoltaico na província de Fianarantsoa, no centro do país para atender quarenta centros de saúde; um sistema de dez bombas de energia solar foram instaladas na parte meridional extrema do país, fornecendo água potável a populações rurais e substituindo o fornecimento

antigo com caminhões pipa; e na aldeia de Antetezambato uma micro central hidrelétrica de 40 kW atende a aproximadamente cinquenta consumidores dispersos em 4 lugares (DE GOUVELLO & MAIGNE, 2003).

Em 1998, no Senegal, apenas 27 mil dos 330 mil consumidores eram de área rural, e somente 268 comunidades rurais de 13.264 em todo o país eram eletrificadas, tendo uma demanda em torno de 97,7% nas áreas rurais.

Um projeto piloto fotovoltaico nas Ilhas do Mar foi testado. A partir dessa experiência, em uma escala muito maior, cobrindo várias dezenas de cidades na área de intervenção da Associação de Portos de Sante Prevês Catholiques do Senegal (APSPCS), um programa para eletrificar os centros de saúde foi executado, graças ao apoio técnico e financeiro do FONDEM (*Fondation Energies te Monde*) e da Organização Mundial da Saúde (OMS). Esse programa é de particular interesse com foco sobre as condições de sustentabilidade.

Como parte da preparação de um Plano de Eletrificação Rural por Energia Fotovoltaica em todo o país, a JICA (Agência Japonesa para Cooperação Internacional) e o governo senegalês decidiram criar um projeto piloto destinado a testar o modelo de “serviço pós-venda”, envolvendo o setor privado. Recentemente, foi entregue o controle e a supervisão da implementação desse projeto para a Agence Senegalaise d’Électrification Rurale (ASER). O projeto começou em janeiro de 2001 e realizou a instalação de 100 sistemas de energia solar em três localidades das Ilhas do Mar. Os moradores escolheram duas aplicações (50 Wp) e com possibilidades para mudar o número de lâmpadas fluorescentes.

Para atender parte da demanda rural não eletrificada a Argentina inovou com uma abordagem que consiste em dar concessões a licitantes privados, com subsídio maior para servir a determinada região. As concessões levaram eletricidade para 3000 a 25000 consumidores, usando a energia solar, eólica, mini e micro hidrelétrico e outras tecnologias de energia renovável, para habitantes de localidades distantes ou de difícil acesso, constituindo-se em uma solução significativamente econômica.

Segundo o Projeto de Energia Renovável no Mercado Elétrico Rural (PERMER), o esquema de concessões não teve dificuldade extra. As províncias participantes foram divididas em dois grupos: aqueles onde já existem titulares “gerais” de concessões e os que precisam de concessões para a distribuição cobrindo áreas rurais e urbanas. Os clientes rurais foram conectados a pequenos conjuntos geradores dispersos, acionados por diesel e a sistemas mini hidrelétricos, solares e solar-eólicos híbridos.

A eletrificação dos domicílios rurais em Bangladesh corresponde à metade da urbana, enquanto que, em outros países, a relação fica próxima de um para cinco, as razões para isso,

é a geografia do país, definida pelo delta dos rios Ganges e Brahmaputra. À mercê das inundações, do incessante depósito e da erosão sedimentar, do movimento do rio Ganges, que produz e dissipa todos os anos, interrompendo linhas de transmissão elétrica de milhares de ilhas e baixadas.

Torna-se evidente que o uso de sistemas fotovoltaicos, residenciais ou comunitários, complementa naturalmente a dinâmica de expansão das redes rurais. Além disso, o potencial para eletrificação rural descentralizada representa milhões de domicílios rurais, fazendo Bangladesh um dos principais mercados para sistemas fotovoltaicos residenciais.

A análise da demanda na Tabela 3 levou a uma proposta com cinco tipos de sistemas residenciais no contexto do projeto piloto.

Tabela 3: Descrição dos Sistemas Propostos para Usuários Potenciais.

S1 (lanterna portátil)		S2 (carregador de bateria – 60 Ah)		S3 (carregador de bateria – 120 Ah)		S4 (50 Wp SSD)		S5 (100 Wp SSD)	
Serviço	qtd. h/d	Serviço	qtd. h/d	Serviço	qtd. h/d	Serviço	qtd. h/d	Serviço	qtd. h/d
1 lâmp.	3h	2x8W	5h	2x8W	9h	2x8W	9h	1x8W	10h
				+1x13W		+1x13W		+2x13W	
				Rádio-gravador	2h	Rádio-gravador	3h	Rádio-gravador	3h
				Ventilador	3h	Ventilador	3h	Ventilador	3h
								TV p/b	3h

Fonte: BADER, 2001.

Os conhecimentos propiciados pela experiência oferecem melhor visibilidade a operadores públicos e privados no setor para o atendimento da demanda reprimida, permitindo acesso à eletricidade. Isso tudo, utilizando gerador com *microgrids* de distribuição, sistemas residenciais de energia solar, estações solares centralizadas para recarga de bateria, micro centrais hidrelétricas ou turbinas eólicas com distribuição através de um *microgrids*.

Essa aplicação é seguida pelos *kits* solares residenciais, instalados em mais de 30% dos domicílios relacionados: por volta de 50.000 sistemas instalados, incluindo 30000 sistemas autônomos, financiados diretamente pelos consumidores sem ajuda do governo, com redução de impostos de 2,5%, devido à isenção do encargo fiscal para importação. Uma pesquisa mostrou que 13.000 domicílios foram equipados pelos projetos, não incluindo os 16.000 domicílios planejados para 2002, sob a forma de “taxa por serviço” proposta pelo Departamento Nacional Energia – ONE (DE GOUELLO & MAIGNE, 2003).

Os sistemas de *microgrids* hidrelétricos são uma fonte comum de energia elétrica no Butão rural, com 10 desses sistemas em operação (DORJI et al., 2012; UDDIN et al., 2007). A carga elétrica dessas aldeias excede à potência gerada por algumas horas a cada dia. Durante todas as outras vezes, o gerador hidrelétrico fornece energia excedente, que muitas vezes não é utilizada (GREACEN, 2004).

O aumento da capacidade de geração ou a adição de armazenamento de energia, como em baterias, poderiam ser soluções eficazes para aliviar quedas, mas tem custo elevado. Várias soluções de gestão do lado da demanda têm sido desenvolvidas para gerenciar cargas de *microgrids*. A solução não tecnológica é restringir o número ou tipos de aparelhos que os clientes estão autorizados a utilizar (ESMAP, 2000). Dispositivos limitadores de carga, no passado, instalados em Butão eram comumente ignoradas (DORJI, 2007). Dispositivos mais avançados combinam medição de energia e limitador de carga e podem incluir recursos de pré-pagamento que permite aos usuários comprar energia ou potência de pico, conforme necessário (SOTO et al., 2012; BRIGANTI et al., 2012; ROLLAND & GLANIA, 2011).

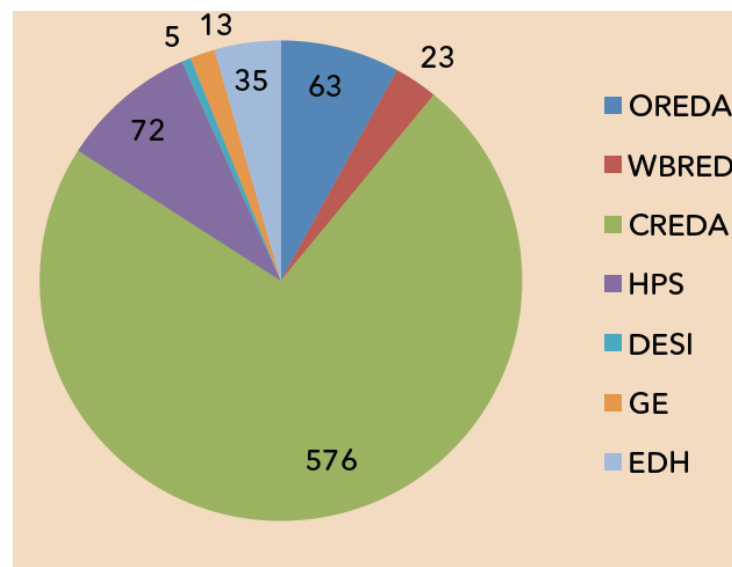
Na Índia sete desenvolvedores de *microgrid*, Bornéu Malaio e Haiti, representam uma gama de opções de modelo de negócios que levam em conta a geografia, as políticas que enfrentam e as fontes de financiamento disponíveis para eles, e as micro redes que construíram. Dado o grande número de micro redes dentro de cada desenvolvedor, e a escassez de dados centralizados que os desenvolvedores estavam dispostos a compartilhar, a metodologia aplicada. Os dados agregados disponíveis a partir dos desenvolvedores em seus *portfólios* completos apresentam a metodologia de estudo de caso utilizado, fornecendo informações detalhadas sobre os 17 locais *microgrids* na Índia, Haiti, Bornéu e Malásia. A Tabela 4 apresenta uma breve descrição de cada desenvolvedor.

Tabela 4: Descrição dos desenvolvedores.

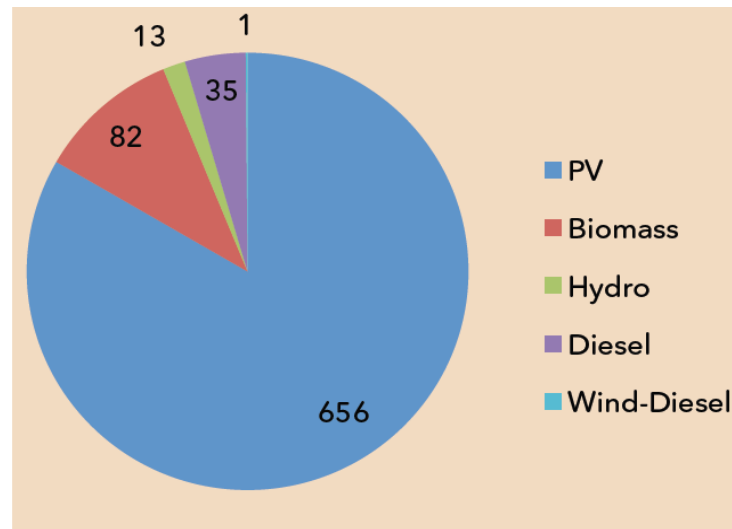
Desenvolvedor	Sigla	Pequena Descrição
Chhattisgarh Renewable Energy Development Agency	CREDA	Chhattisgarh, India – Government agency installing and operating mainly solar PV microgrids through contractors.
DESI Power	DESI	Bihar, India – Private developer installing biomass gasifier-powered microgrids in communities with anchor business tenants.
Eletricité d’Haiti	EDH	Haiti – EDH is the national utility of Haiti. The microgrids it develops are municipally – owned and operated. All of them are powered by diesel generators.
Green Empowerment/ Tonibung/ Partners of Community Organizations/ PACOS	GE/T/P or GE	Borneo, Malaysia – Green Empowerment and Tonibung are non-profits working together to finance and develop micro-hydro microgrids while integrating community empowerment NGO partner.
Husk Power Systems	HPS	Bihar, India – For-profit company installing biomass gasification systems with multiple business models.
Orissa Renewable Energy Development Agency	OREDA	Orissa, India – Government-funded photovoltaic, lighting-only microgrids for the most remote villages in the state.
West Bengal Renewable Energy Development Agency	WBREDA	West Bengal, India – Government funded photovoltaic microgrids interacting with central grid expansion.

Fonte: Alliance for Rural Electrification (2011).

Coletivamente, esses desenvolvedores instalaram 787 *microgrids* com uma capacidade instalada de 14,6 MW e mais de 58.000 clientes. A Figura 3 mostra o número total de *microgrids* construídos por cada desenvolvedor, e a Figura 4 demonstra o número total de micro redes por tipo de geração (DE GOUVELLO & MAIGNE, 2003).

Figura 3: Microgrids por desenvolvedor.

Fonte: Venter, 2012.

Figura 4: Microgrids total por tipo de fonte.

Fonte: Venter, 2012.

Além disso, esses *microgrids* são incapazes de fornecer eletricidade suficiente para serviços comerciais de energia elétrica como a utilizada para fabricação de farinha ou funcionamento de moinhos de arroz, ou prensas de óleo. Porém, serviços comerciais e outros que reduzem a carga de trabalho sobre as mulheres e melhoram as atividades econômicas podem aumentar significativamente a qualidade de vida de uma comunidade.

Em Bornéu Malaio os moradores e funcionários da empresa de energia trabalham para criar um grau de satisfação e familiaridade com o sistema *microgrid* para o atendimento da demanda. A manutenção e os problemas decorrentes do excesso de uso são comuns, sendo necessário o conhecimento do sistema, para sensibilizar a comunidade para a realidade de que os problemas podem ocorrer, e se eles não respeitarem os limites de carga ou se a manutenção não for realizada, ocorrerá problema de abastecimento elétrico (DE GOUELLO & MAIGNE, 2003).

Os *microgrids* possuem a opção de não serem regulados pelo governo, com isso cortam certos custos, entretanto ficam sem a proteção governamental em caso de situações de danos maiores, pois não estão sujeitos às regras de proteção financeira do governo.

Os serviços de má qualidade dos *microgrids* no Haiti levam à falta de pagamento pelos consumidores, produzindo demandas de energia e falta de recurso para a manutenção do sistema, gerando ciclo de parada na maioria dos meses. Esse ciclo é consequência de tarifas baixas demais, e o operador não consegue comprar combustível ou substituir peças. Como resultado, os clientes pagam menos quando os serviços se tornam mais irregulares, levando a

uma espiral descendente até o *microgrid* deixar de operar por meses (DE GOUELLO & MAIGNE, 2003).

Por sua vez, o dimensionamento dos geradores de *microgrids* da EDH, eleva ainda mais esse quadro. Os dados recolhidos ao longo de um período de um ano mostram que os geradores em *Port-a-Piment* e *Coteaux* são consistentemente executados em baixas *set-points*. Os custos operacionais poderiam ser reduzidos significativamente usando geradores de tamanho adequado.

Na Tabela 5, comparam-se alguns modelos de *microgrids* em alguns países, observando as demandas reprimidas por pessoas e os tipos de fontes primárias utilizadas para insumo, destacando-se um baixo aproveitamento por GD.

Tabela 5: Descrição de modelos de *microgrids* comparativamente.

PAÍS	Sistemas descentralizados tipo de fontes.	Demanda reprimida	Geração área isolada
BOLIVIA	Fotovoltaica, eólica, micro hidrelétricas, termo a biomassa.	3 milhões pessoas	3%
MADAGASCAR	Micro hidrelétrico e fotovoltaico.	-	1%
SENEGAL	Fotovoltaica.	26,4 mil pessoas	2,3%
ARGENTINA	Fotovoltaica, eólica, mini e micro hidrelétrico e térmico a diesel.	25 mil pessoas	-
BANGLADESH	Fotovoltaica.	1 milhão pessoas	-
MARROCOS	Fotovoltaica, eólica, micro hidrelétrico e térmico a diesel.	-	-
BUTÃO	Mini hidrelétricas.	-	-
INDIA	Fotovoltaica e gaseificador biomassa.	-	-
BORNÉU MALAIO	Micro hidrelétrico.	-	-
HAITI	Térmico a diesel.	-	-
BRASIL	Fotovoltaica, eólica, mini e micro hidrelétrico, térmico a diesel, biomassa e biodigestores.	2,9 milhão pessoas	0.96%

Fonte: DI LASCIO e BARRETO, 2009.

Em comparação percentual, o Brasil fica atrás de outros países mencionados na tabela acima como Senegal, Madagascar e Bolívia, mas em termos de demanda reprimida por pessoa, está na frente de quase todos, exceto a Bolívia com 3 milhões de pessoas, ilustrando que pelo nosso potencial de fontes primárias, os *microgrids* ainda têm muitas possibilidades de crescimentos.

2.2.2 Sistemas *Microgrids* Instalados no Brasil

No Brasil, no tocante a *microgrid* utilizando energia eólica, temos os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica que foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha (PE), no início dos anos 1990. Os resultados dessas medições possibilitaram a determinação do potencial eólico local e a instalação das primeiras turbinas eólicas no país. É importante constatar como o setor elétrico brasileiro se associou ao processo de caracterização dos recursos e implantação de unidades de geração, de forma inicial (PINHO et al., 2004).

Dada à importância da caracterização dos recursos eólicos da região Nordeste, o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), com o apoio a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) lançou, em 1998, a primeira versão do Atlas Eólico do Nordeste do Brasil, objetivando desenvolver modelos atmosféricos, para analisar dados de ventos e elaborar mapas eólicos confiáveis para o país.

O aproveitamento efetivo desses recursos no Brasil, teve início apenas em julho de 1992, com a instalação de uma turbina de 75 kW na ilha de Fernando de Noronha, através de iniciativa pioneira do Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), na época conhecido como Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente a capacidade instalada no Brasil é de 21,4 MW, com unidades eólicas de grande porte nos estados do Ceará, Pernambuco, Minas Gerais e Paraná, e se trabalha com o objetivo de instalar novos sistemas (LORA; ADDAD, 2006).

Estes sistemas GD são adequados para atender às necessidades energéticas de locais isolados, devido ao alto custo da eletrificação de localidades com baixa demanda, pelo sistema de geração centralizada, que é de difícil acesso geográfico. Geralmente, os sistemas isolados eletrificados utilizam geração termelétrica com grupo gerador a diesel.

No Brasil existem mais de 400 sistemas isolados de grande porte (com mais de 1400 MW de potência instalada) e inúmeros sistemas pequenos que utilizam óleo diesel como fonte geradora de energia, há também os sistemas híbridos de energia, isto é, sistemas que utilizam mais de uma fonte primária de energia para a geração elétrica (LORA & ADDAD, 2006), que combinam fontes de energia renovável e geradores convencionais. Estes podem representar uma solução mais econômica para muitas aplicações e também proporcionar uma fonte mais segura de eletricidade, devido à combinação de diversas fontes, além do que, o uso de energia renovável reduz a poluição ambiental, causada pela queima, transporte e armazenamento de óleo diesel.

O único sistema híbrido eólico diesel de grande porte instalado no Brasil é o sistema da Ilha de Fernando de Noronha. A geração diesel da Ilha tem uma capacidade instalada de aproximadamente 2 MW com 2 grupos geradores de 350 kVA e 3 de 450 kVA. Existem ainda vários grupos geradores de pequeno porte. Duas turbinas eólicas, 75 kW e 225 kW de potência nominal, estão conectadas diretamente à rede elétrica formando um sistema integrado.

Um sistema de supervisão central está sendo implementado para garantir o perfeito funcionamento do sistema de forma automatizada. A energia gerada pelas turbinas eólicas atualmente contribui com aproximadamente 25% da demanda da ilha. Em contexto mais abrangente, em dezembro de 2004, havia registro de 145 empreendimentos eólicos autorizados pela ANEEL, que deverão agregar ao sistema elétrico nacional 6584 MW, o que corresponde a cerca de 22% de todas as usinas outorgadas pela ANEEL.

Além dos sistemas eólicos e híbrido eólico-diesel, que são utilizados em sistemas isolados, temos os sistemas fotovoltaicos, que utilizam a energia solar. Os sistemas fotovoltaicos podem ser conectados à rede em geração centralizada, na qual o arranjo fotovoltaico atua como fonte complementar ao sistema elétrico, essa opção não é utilizada no Brasil, e sim os sistemas não conectados à rede, utilizando a GD em áreas isoladas, local do consumo (PINHO et al, 2008).

No Brasil, a tecnologia fotovoltaica vem, ao longo dos anos, inserindo-se gradualmente no mercado. Estima-se que, atualmente, existem ao redor de 12 MWp de potência instalada de sistemas fotovoltaicos fornecendo energia elétrica para domicílios, escolas, centros comunitários, telefonia rural e bombeamento de água (DI LASCIO & BARRETO, 2009).

A tendência da aplicação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede ainda não se faz presente de forma significativa, mas já existem iniciativas que sinalizam um aumento da importância desse tipo de sistema. Foram identificadas experiências de conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica convencional no Brasil, totalizando uma potência instalada de aproximadamente 38 kWp, conforme apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil.

Sistema	Data Instalação	Local	Potência (Wp)	Tipo
CHESF	1995	Recife – PE	11 000	Policristalino
Lab. Solar UFSC	1997	Florianópolis – SC	2 000	Amorfo
LSF/IEE – USP	1998	São Paulo – SP	750	Monocristalino
UFRJ	1999	Rio de Janeiro – RJ	848	Monocristalino
Lab. Solar UFS	2000	Florianópolis – SC	1 000	Amorfo
LSF/IEE – USP	2001	São Paulo – SP	6 300	Policristalino
CEPEL	2002	Rio de Janeiro – RJ	16 000	Monocristalino

Fonte: Lora e Addad (2006).

Como se pode observar, quando há referência aos sistemas fotovoltaicos nacionais destacam-se os estados do Rio de Janeiro, Pernambuco, São Paulo e Santa Catarina, sendo que os tipos de sistemas conectados à rede nem sempre são iguais.

2.2.2.1 Programas de Energização no Brasil em Sistemas Isolados *Microgrids*

No Brasil, alguns programas de universalização ao atendimento elétrico foram implementados, e tinham como objetivo a redução da exclusão da população de áreas distantes dos centros urbanos. Um programa importante para a eletrificação rural foi o “Luz no Campo”, administrado pela Eletrobrás, instituído pelo decreto de 02 de Dezembro de 1999. Além dele temos o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM). Os esforços do programa “Luz no Campo” foram direcionados à expansão da rede centralizada, com o objetivo de ligar um milhão de consumidores, principalmente nas áreas rurais, tendo início em 1999, atingiu 42% da meta em junho de 2002, com 419 mil unidades consumidoras atendidas, com foco na região Nordeste, onde se encontram 45% dos consumidores (DI LASCIO & BARRETO, 2009).

O programa “Luz no Campo” destinou 1,77 bilhões de reais, provenientes da Reserva Global de Reversão (RGR), para financiamentos de eletrificação rural. Houve uma complementação de 930 milhões de reais, por parte dos agentes executores e dos governos Federal, Estadual e Municipal (SUGINOTO, 2002).

Um subprojeto, com o mesmo objetivo de reduzir a exclusão elétrica, porém com execução em GD. Foi o subprojeto “Comunidades ribeirinhas”, que utilizava sistema renovável em áreas remotas da Região Amazônica, sendo utilizados 51 sistemas fotovoltaicos. Inicialmente (em 2003) esse subprojeto contribuía para outro projeto, chamado “Luz na

Amazônia”, financiado por uma agência de fomento alemã, com apoio financeiro de 10 milhões de dólares, para eletrificar seis mil domicílios (DI LASCIO & BARRETO, 2009).

O programa patrocinado pelo governo para eletrificação em microgrids, denominado Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios é criado em 1994, sendo um programa nacional, com geração descentralizada e o objetivo de atender escolas, centros de saúde e outras instalações comunitárias, não se focava em eletrificação domiciliar individual (BRASIL, 2000).

Em 2000, o PRODEEM adquiriu cerca de 3 MWp em sistemas fotovoltaicos com investimento de 61 milhões de reais, financiado por dotações do Tesouro Nacional. Entre 1996 e 2000, o PRODEEM forneceu equipamentos a 3050 vilarejos e beneficiaram 604 mil habitantes. As tecnologias utilizadas no PRODEEM incluíam energia solar fotovoltaica, energia eólica, pequenas centrais hidrelétricas e combustíveis derivados de biomassa e biodigestores. A tecnologia fotovoltaica predominou, entre 1996 e 2002, com cerca de 5,2 MWp, sendo instalado e distribuído mais de 8.700 sistemas de energia solar fotovoltaica.

O Programa “Luz Para Todos”, criado em 2003, veio substituir o Programa Luz no Campo, tendo como principal objetivo fornecer e distribuir energia elétrica a todos os domicílios e estabelecimentos rurais, sem custo de conexão ao consumidor, até 2010. O objetivo era atender 10 milhões de brasileiros em mais de dois milhões de famílias que ainda não tinham acesso à eletricidade (BRASIL, 2008).

Atualmente, o prazo do Programa Luz para Todos (PLPT) foi prorrogado até dezembro de 2018. A medida tem o objetivo de levar energia elétrica a 228 mil famílias do meio rural. A iniciativa foi feita por meio do Decreto N. 8.387, de 30 de dezembro de 2014. O PLPT atendeu, até novembro de 2014, uma quantidade de 3.184.946 famílias, beneficiando cerca de 15,3 milhões de pessoas. Os investimentos contratados superam 22,7 bilhões de reais, com recursos de 16,8 bilhões de reais do Governo Federal. O Programa visa acabar com a exclusão elétrica no País e prover acesso à eletricidade, gratuitamente (BRASIL, 2008).

2.2.3 Rondônia e Implementação de *Microgrids*

No Estado de Rondônia, nos meados dos anos 80, a produção de energia elétrica ocorria por meio de grupos geradores a diesel e, em algumas localidades do interior do estado, os sistemas Locomóveis, que eram uma espécie de caldeira de pequena dimensão e baixa eficiência, utilizando a queima direta da biomassa. Entretanto, esse sistema era robusto e utilizava como insumo a madeira com umidade e dimensões diferenciadas. Na década de 90,

na cidade de Ji-Paraná, a Madeireira Urupá forneceu eletricidade para atender parte da demanda local até 1991, operando com a madeira para geração de vapor para duas turbinas a vapor (MORET, 2000). Segundo Moret (2000), a usina termelétrica da empresa Sathel, usando a madeira como combustível atendeu parte da cidade de Ariquemes até 1994, tendo ainda locomóveis usados por madeireiras, grupos geradores a diesel, pequenos aproveitamentos hidrelétricos, a termelétrica à madeira, localizada no canteiro de obras da Usina Hidrelétrica de Samuel na época. Essas iniciativas foram importantes durante um período de vinte anos.

Em Rondônia, o modelo de atendimento às localidades isoladas geralmente é o *microgrid*, com uso de diesel como insumo, pois há a compensação do custo do combustível através da CCC (Conta de Compensação de combustível). Sendo encontrados no estado 27 sistemas isolados nessa configuração, conforme a Figura 5, (BRASIL, 2008).

Figura 5: Atendimento isolado termelétrico em Rondônia.



Fonte: BRASIL, 2008

No Quadro 3, está a distribuição das unidades geradoras dos 27 sistemas isolados. Essas unidades geradoras formam um total de 137 pontos de geração, produzindo um montante de 71,7 MW de potência, disponível para o atendimento da demanda dessas localidades, esses sistemas consomem 82 milhões de litros de óleo diesel por ano.

Podemos destacar, no quadro 3, na coluna consumo diesel sem CCC comparados com a coluna consumo diesel, que praticamente, todo o consumo do diesel era feito às custas do CCC, reforçando o que foi dito anteriormente sobre a utilização desse insumo, nos *microgrids* no estado de Rondônia, segundo a Eletrobrás (2012).

Quadro 3: Energia, demanda e consumo de Diesel no setor isolado de Rondônia por ano.

Sistema	MWh	MW médio	Demanda máxima anual (MW)	Consumo específico litros/kWh	Consumo Diesel sem CCC (mil litros)	Consumo Diesel (mil litros por ano)
Alvorada do Oeste	19.580	2,2	3,6	0,283	-	5.404
Buritis	64.126	7,3	10,9	0,283	-	17.058
Calama	2.286	0,3	0,4	0,296	-	661
Campo Novo de Rondônia	7.987	0,9	1,5	0,296	-	2.300
Conceição da Galera	78	0,01	0,02	0,404	-	29
Costa Marques	15.427	1,8	3,3	0,283	-	4.366
Cujubim	28.369	3,2	7,3	0,283	-	7.943
Demarcação	242	0,03	0,05	0,349	-	85
Izidolândia	910	0,1	0,2	0,329	15	314
Jacy-Paraná	26.099	3,0	5,9	0,283	427	7.125
Machadinho do Oeste/Tabajara	48.660	5,5	8,5	0,283	292	14.063
Maici	36	0,01	0,01	0,404	7	22
Nazaré	1.107	0,1	0,3	0,329	-	313
Nova Califórnia	4.720	0,5	1,1	0,296	-	1.218
Pacarana	2.512	0,3	0,7	0,296	-	731
Pedras Negras	125	0,01	0,02	0,404	-	45
Rolim de Moura do Guaporé	547	0,1	0,2	0,349	49	240
Santa Catarina	235	0,03	0,06	0,404	-	79
São Carlos	2.227	0,3	0,4	0,296	-	630
São Francisco	21.442	2,4	4,1	0,283	-	5.961
Surpresa	960	0,1	0,2	0,349	-	327
Triunfo	8.910	1,0	2,2	0,283	223	2.744
União Bandeirante	3.450	0,4	0,7	0,296	-	966
Urucumacua	825	0,1	0,2	0,349	2	290
Vale do Anari	9.333	1,1	1,9	0,283	-	2.641
Vila Extrema	10.329	1,2	1,9	0,296	-	2.861
Vista Alegre do Abunã	14.567	1,7	4,2	0,283	-	4.050
TOTAL						82.466

Fonte: Eletrobrás, 2012.

Os *microgrids* e sistemas fotovoltaicos instalados na Reserva Extrativista do Rio Ouro Preto (REROP), no estado de Rondônia, pelo “Projeto Equinócio” da UnB, entre 1995 e 2004, foram utilizados como estudo sobre sistema solar no atendimento à comunidade isolada. Segundo o Atlas Solarimétrico, a média mensal da radiação solar total para a área da REROP varia entre 3,89 a 4,45 kWh/m².dia (TIBA, 2000). O referido sistema fotovoltaico Instalado com o objetivo de contribuir na identificação de parâmetros de referência para a eletrificação rural da Amazônia, efetuando o acompanhamento socioeconômico de todas as famílias da Reserva, e a eletrificação da sua área mais remota.

A REROP foi escolhida para sediar o Projeto devido ao seu povoamento esparsa que não justificava outra fonte de energia. O trabalho foi direcionado para identificar tecnologias e procedimentos que possibilitassem alcançar índices elevados de robustez e confiabilidade, de modo a reduzir o custo de implantação, operação e manutenção das instalações.

A ação na REROP foi reforçada a partir de 2000, com o apoio da ANEEL, quando essa ação passou a compor o “Projeto de Referência em Geração Híbrida de Energia Elétrica”, Projeto PNUD BRA/98/019, contrato n. 99/011, que possibilitou concluir a eletrificação de 14 casas, quatro escolas e um posto de saúde. A maioria dessas estruturas está localizada no extremo leste da REROP, onde foram instaladas quatro (04) TVs em centros comunitários e implantado um freezer igualmente de uso coletivo. No total foram beneficiadas 19 famílias, quase todas residentes nos vilarejos mais remotos (DI LASCIO, 2001).

Em cada habitação, foram mantidas as características adotadas para os sistemas das moradias, foi instalado um painel fotovoltaico de 36 Wpico e uma bateria de 64 Ah. Todos os sistemas foram especificados em corrente-contínua e na tensão de 12 volts, com o objetivo de aumentar a confiabilidade, e evitar as perdas ocasionadas pelos inversores. Cada casa recebeu duas lâmpadas frias, de 12 volts, sendo uma de 9 W e a outra de 15 W, e uma tomada para rádio com opção de 9 ou 12 volts (DI LASCIO, 2001).

No vilarejo de Sepitiba, o mais distante no interior da REROP, foi instalado um pequeno congelador de 81 litros, em 12 volts, para a conservação de alimentos, destinado a auxiliar na organização das tarefas do dia-a-dia dos moradores. O sistema de resfriamento recebeu um conjunto de 600 Wpico de painéis fotovoltaicos (DI LASCIO, 2001).

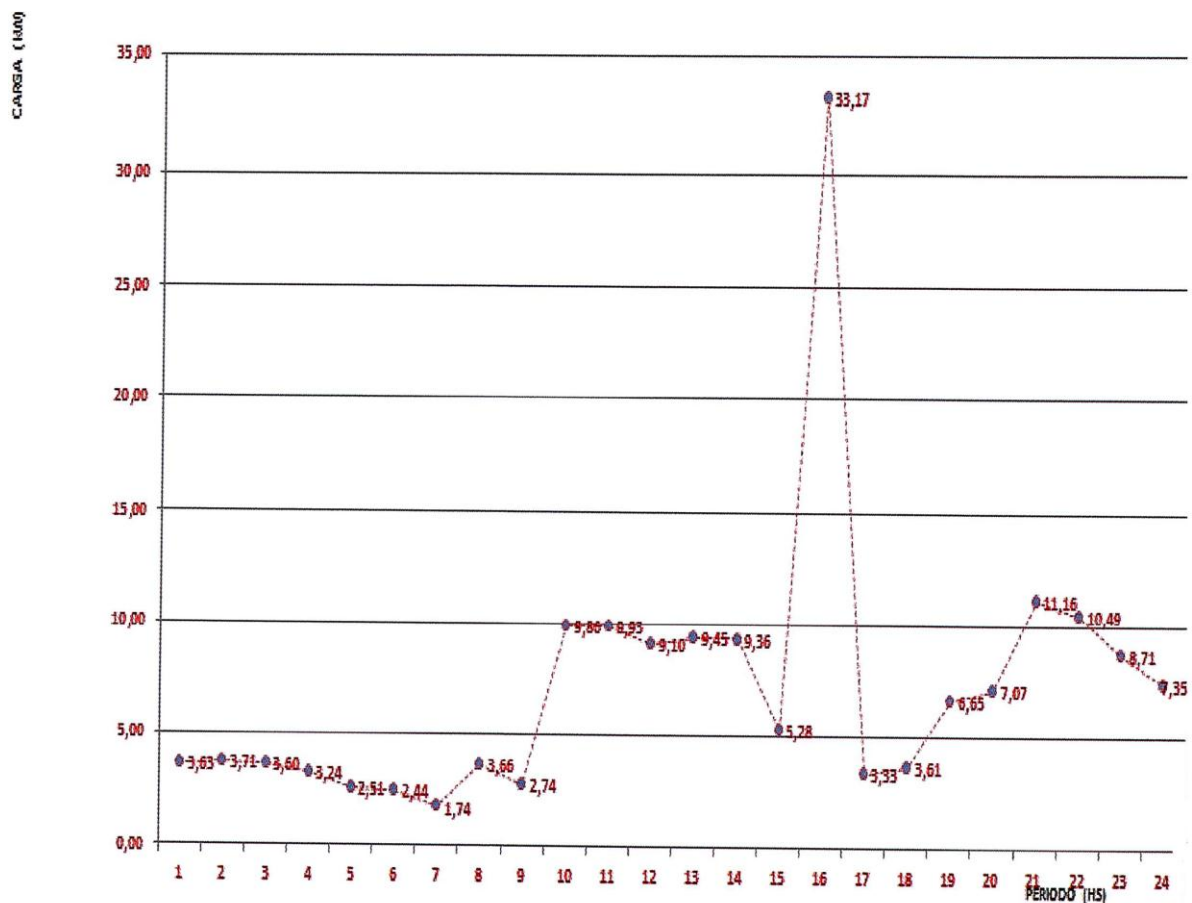
Na Comunidade Nossa Senhora dos Seringueiros, localizada na reserva extrativista Rio Ouro Preto, na cidade de Guajará-Mirim, no Estado de Rondônia, em 2008, em um outro projeto, foi utilizado como combustível o óleo vegetal de babaçu como insumo para o processo de geração elétrica, para atender em média a 40 famílias, com potência instalada de 20 kW. Além da geração de energia, a usina possibilita que a comunidade, no processo de

produção do óleo do babaçu, utiliza também seus subprodutos em atividades que gerem renda (MORET, 2011a).

Essas implementações promoveram a inclusão social de comunidades com acesso às informações e programações televisivas, permitindo melhorias na qualidade de vida e nas questões sociais relativas ao acondicionamento dos alimentos, que passaram ter maior durabilidade possibilitando utilização por um período maior.

Em estudo recente, a Eletrobrás Rondônia (2015), realizou um diagnóstico socioeconômico em 553 comunidades isoladas, e identificou que estão aptas ao atendimento por meio de implantação de sistema alternativo de geração de energia elétrica. Com base nessa pesquisa, foram obtidos indicadores diários de Perfil de Consumo Energético Desejado (PCED). A curva de demanda da pesquisa feita pela Eletrobrás para as comunidades isoladas, conforme a Figura 6, mostra a previsão do possível comportamento de consumo diário das comunidades isoladas. Esse parâmetro das comunidades isoladas se assemelha com o consumo da comunidade dos Benjamim.

Figura 6: Perfil diário estimado da curva de demanda das comunidades isoladas.



Fonte: ELETROBRÁS, 2015.

2.3 Insumos para o Sistema Híbrido de Geração Descentralizada

As escolhas dos insumos de um sistema híbrido de geração descentralizada são fundamentais para o planejamento do sistema de geração elétrica, pois definem os custos inicial, operacional, de manutenção e tempo de vida do sistema. Sobre esse assunto, pode-se afirmar que as configurações do SHGD para as pequenas localidades isoladas da Amazônia estão relacionadas à disponibilidade da fonte, de energia renovável e não renovável, no local de sua implantação, para a melhor eficiência técnica e econômica (SEVERINO, 2008). Como opções de energia renovável serão tratadas a energia solar fotovoltaica, os óleos vegetais, os resíduos da biomassa e o biogás (SILVA, 2010). Entretanto, quando os insumos de energia renovável não forem suficientes será necessário à inclusão do diesel, fonte de energia não renovável.

As fontes não renováveis de energia, no caso o diesel, têm sua energia química a ser liberada durante uma reação química através da combustão e sendo um combustível bastante utilizado em motores de combustão interna nas comunidades, menores e mais distantes, por ter fácil operacionalização dos geradores que utilizam motores a diesel (PINHO et al., 2008).

Os motores são classificados quanto à combustão, sendo interna ou externa, são máquinas térmicas que transformam a energia química do combustível, como já foi dito, através da queima da mistura ar-combustível dentro do motor num trabalho mecânico. Esses motores representam a tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido à sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso, resultando no seu emprego em larga escala como elementos de propulsão de automóveis, navios, aviões, além de serem muito utilizados para geração de eletricidade em sistemas de emergência ou para suprir picos de demanda, e para acionamento de bombas, compressores, ou qualquer outro tipo de carga estacionária (PINHO et al., 2008).

Os motores a combustão podem ser classificados como do tipo de combustão externa, no qual o fluido de trabalho está completamente separado da mistura ar-combustível, sendo o calor dos produtos da combustão transferido através das paredes de um reservatório ou caldeira; e do tipo de combustão interna, no qual o fluido de trabalho consiste nos produtos da combustão da mistura ar-combustível propriamente (TAYLOR, 1988).

No caso do motor a diesel, o ar é admitido na câmara de combustão e comprimido até uma pressão e temperatura suficientes para que ocorra a combustão espontânea quando o combustível for injetado. Como exemplo, têm-se os grandes motores diesel lentos,

estacionários e navais, com potências que ultrapassam 60 MW, assim como os motores rápidos a diesel, empregados no transporte terrestre e embarcações de médio porte. Para a faixa de pequenas potências, até 5 MW, os motores diesel dominam o mercado de geração de energia elétrica e são muito utilizados em sistemas elétricos de emergência (PINHO et al., 2008).

Atualmente a maior parte da energia utilizada pela humanidade provém de combustíveis fósseis. A vida moderna tem sido movida a custo de recursos esgotáveis que levaram milhões de anos para se formarem. O uso desses combustíveis em larga escala tem mudado substancialmente a composição da atmosfera e o balanço térmico do Planeta provocando o aquecimento global, degelo nos polos, chuvas ácidas e envenenamento da atmosfera e prejudicando o meio ambiente. As previsões dos efeitos decorrentes para um futuro próximo, são catastróficas. Alternativa como a energia nuclear, que era apontada como sendo a solução definitiva, já se mostrou perigosa para o meio ambiente.

O óleo diesel é um componente importante na geração de eletricidade em localidades isoladas e em sistemas de reserva, em aplicações que não permitem a interrupção no fornecimento de energia (PINHO et al, 2008). Os grupos geradores a diesel existentes no mercado abrangem uma ampla faixa de potência, atendendo aos mais diversos tipos de aplicações (BARBOSA, 2006).

O custo de implantação dos grupos geradores a diesel é sempre mais atraente quando comparados com os dos sistemas renováveis de capacidade equivalente, isso porque o diesel para a geração de eletricidade das localidades isoladas pode ser custeado pela conta de compensação de combustível (CCC), que minimiza o custo adicional ao sistema elétrico e faz com que o sistema diesel seja mais competitivo (MORET, 2011a).

Também se pode destacar que mesmo sem incentivo à utilização de fontes renováveis, numa análise econômica que envolva a flutuação do custo do combustível, o impacto nas atividades econômicas, o custo dos impactos ambientais, custo de oportunidades podem revelar a oportunidade deste formato de geração. Além disso, a menor agressão ao meio ambiente, o menor nível de ruído dos sistemas que utilizam as fontes renováveis, além de seu maior tempo de vida útil, são fatores que devem ser considerados na escolha da fonte de energia e da tecnologia utilizada. A eficiência do diesel nos grupos geradores é baixa, pois os motores propulsores tem rendimento na ordem de 30% a 40%.

Os equipamentos que utilizam energia renovável têm melhorado os seus rendimentos, pois tecnologias estão sendo desenvolvidas, a ponto de aproximar e/ou ultrapassar o rendimento dos equipamentos que utilizam combustíveis fósseis (MORET, 2011a).

Outra importante fonte renovável é a energia solar, seu aproveitamento para produção direta de eletricidade teve início há pouco mais de 170 anos quando, em 1839, o cientista francês Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico ao observar, em um experimento com uma célula eletrolítica (dois eletrodos metálicos dispostos em uma solução condutora), que a geração de eletricidade aumentava quando a célula era exposta à luz (BECQUEREL, 1839). A partir daí, foram estudados os comportamentos de diversos materiais expostos à luz até que, no ano de 1954, Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson desenvolveram a primeira célula fotovoltaica de silício, com eficiência de 6%, capaz de converter energia solar em eletricidade suficiente para alimentar equipamentos elétricos. No ano de 1957, iniciou-se a utilização de células fotovoltaicas em aplicações espaciais e até hoje essa fonte é reconhecida como a mais adequada para essas aplicações (PEARSON, 1957).

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 17% (GREEN, 2000).

Segundo Palz (2002), a energia solar recebida pela terra a cada ano é dez vezes maior que à contida em toda a reserva de combustíveis fósseis. Essa quantidade de radiação que chega à superfície terrestre é extremamente variável. Além das variações regulares, diária e anual, devido ao movimento aparente do Sol. Há as variações irregulares que são causadas por condições climáticas (nuvens), bem como pela composição geral da atmosfera. Dessa forma, o projeto de um sistema fotovoltaico requer dados de medições dessa radiação em locais mais próximos possíveis daquele onde se pretende implantar o sistema. Com o histórico dessas medidas, podem-se viabilizar instalações de sistemas solar térmico e fotovoltaico em uma determinada região, garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano, onde as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações.

O sistema híbrido fotovoltaico e eólico utiliza a energia solar e a cinética do vento, que são renováveis, esse sistema podem armazenar energia em grupos de baterias, para suavizar a oferta e armazenar a energia elétrica para momentos de maior necessidade (BARING-GOULD et al., 2003). Esse sistema que corresponde à oferta, ao armazenamento e ao conversor de carga são os mais comuns, entretanto há dois problemas: o primeiro é relativo ao armazenamento tradicional, por bateria, que é inconveniente pelo custo e o tempo de

durabilidade da bateria e; o segundo é o conversor, de tensão contínua para tensão alternada, devido a perda na conversão que aumenta o custo, porque o atendimento de carga é o mesmo daqueles das redes tradicionais, em tensão alternada. O sistema eólico tem a desvantagem de não ser aplicável em todos os lugares, pois a oferta depende da disponibilidade de ventos contínuos com velocidade maior que 10 m/s, já o sistema fotovoltaico tem como vantagem a utilização da energia solar que é abundante na maior parte do Brasil, e a eficiência desse sistema depende da presença de luz e dos materiais que compõem a placa solar, pois são eles que convertem a radiação solar em energia elétrica,

Segundo Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) a radiação solar é mais intensa próxima à linha do equador, como a Amazônia se encontra com sua maior parte nessa região, isso possibilita melhor disponibilidade de radiação solar, que poderá ser utilizada como fonte segura e eficiente de energia, propiciando fator favorável a utilização desse insumo para a transformação em energia elétrica.

Ainda sobre energia renovável na Amazônia, pode se destaca o óleo vegetal como fonte de energia em potencial, pois comunidades isoladas utilizam os moto-geradores a diesel, como já foi comentado, para produção de energia elétrica, e esses podem funcionar a óleo vegetal. Essa possibilidade de utilização do óleo vegetal nesses motores, como combustível, compondo as unidades produtoras de energia elétrica, gera uma expectativa favorável, por ser uma fonte de baixo custo e ter alta disponibilidade na localidade. Nesses termos, o óleo vegetal desponta como uma perspectiva viável, tanto que já existem no mercado atual motores que atendem especificações de óleos vegetais (D'ARCE, 2005).

A ideia de um motor funcionando a óleo vegetal não é nova. O primeiro motor inventado por Rudolf Diesel, em 1893, utilizava óleo de amendoim. Na década de 1910, a indústria direcionou trabalhos de desenvolvimento do motor para utilização com diesel, o óleo cru do petróleo. No caso em questão, há uma perspectiva no retorno ao princípio do invento.

Segundo D'arce (2005), os óleos vegetais utilizados em motores não produzem uma combustão completa e podem gerar problemas nessas máquinas, como exemplo a redução da vida útil.

Os óleos vegetais são produtos naturais constituídos da mistura de ésteres derivados do glicerol. A aplicação direta dos óleos vegetais nos motores é limitada em virtude de algumas propriedades físicas dos mesmos, principalmente sua alta viscosidade, sua baixa volatilidade e seu caráter polisaturado, que implicam em alguns problemas nos motores, bem como uma combustão incompleta (D'ARCE, 2005).

A utilização do óleo vegetal nas máquinas, a ciclo Diesel, ainda geram alguns inconvenientes que precisam de pequenos ajustes nas correções dos problemas pouco complexos. A produção de óleo vegetal pode ser feita por grandes e pequenos produtores, possibilitando a descentralização da produção. Assim, dominado o processo de extração de óleo, os agricultores poderão obter outros produtos associados ou coprodutos, de alto valor nutricional e comercial, como a torta, a farinha, o gérmen de soja, dentre outros, adicionando a renda familiar e contribuindo com o desenvolvimento da comunidade e região.

Segundo Guerra & Fuchs (2009), os óleos vegetais podem ser extraídos de várias espécies de plantas oleaginosas encontradas em condições ambientais.

O óleo pode ser extraído de diversas espécies de plantas que crescem em diferentes condições ambientais. A diversidade de plantas oleaginosas é enorme, representadas por espécies como: dendê, macaúba, babaçu, tucum, coco, buriti, noz pecã, castanha, macadâmia, pinhão, amendoim, soja, canola, nabo forrageiro, pinhão-manso, tungue, girassol, algodão, linhaça, gergelim, crambe, cártamo, nim e moringa, dentre muitas outras (GUERRA & FUCHS, 2009).

Outra fonte de energia renovável é a biomassa e resíduos, que são matéria orgânica produzida numa determinada área de um terreno, e sendo capaz de gerar gases que são transformados, em usinas específicas, em energia. Esta energia é resultado da decomposição de materiais orgânicos como, por exemplo, esterco, madeira, resíduos agrícolas, restos de alimentos entre outros (MORET, 2000, 2011b). Segundo Moret (2011b), a biomassa pode ser uma boa opção energética, pois é renovável e gera baixas quantidades de poluentes. Numa usina de álcool, por exemplo, os resíduos de cana-de-açúcar (bagaço) podem ser utilizados para produzir biomassa e energia. A geração de energia elétrica através da biomassa pode contribuir para a diminuição dos impactos ambientais.

Vendo o sistema energético de forma mais ampla, além da simples geração em energia elétrica, é claro que sistemas de geração a partir de biomassa, com suas características de porte médio e pequeno, devem buscar usos em cogeração sempre que possível para agregar o uso da energia térmica à geração elétrica, o que fica muito mais eficiente com sistemas distribuídos do que em grandes centrais, característica útil para pequenas localidades.

Segundo o CENBIO (2008), utilizando dados da AMAZON (1997 – 99) a biomassa proveniente do resíduo da madeira na Amazônia, possui um potencial que pode ser utilizado para geração elétrica a partir da energia térmica.

Uma avaliação do CENBIO feita com dados da AMAZON (1997 – 99) (9;11) é uma base adequada para estimar o potencial de geração deste setor. A partir de levantamentos cobrindo cerca de 95% da produção de madeira da Amazônia (75 locais), e estimando as porcentagens de perda de madeira no campo (15%), nas

serrarias (50%, no local de destino) e nas fábricas de móveis (20%, também no destino) chegou-se a 7.6 milhões de toneladas de resíduos. A conversão seria feita em unidades de pequeno porte (até alguns MW, caldeiras abaixo de 20 bar de pressão, eficiência de 15%) ou de maior porte (dezenas de MW, sistemas de vapor com eficiência de 30%) levando a potências instaladas de 430 a 860 MW (CENBIO, 2008).

A demanda energética brasileira na Amazônia no tocante a biomassa ainda é em maior parte atendida pela queima de madeira. De acordo com Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2002), os cerca de 50 milhões de metros cúbicos de madeira em tora extraídos por ano na região amazônica produzem apenas 20 milhões de metros cúbicos de madeira serrada (MORET, 2000). Do total, aproximadamente 60% é desperdiçado nas serrarias durante o processamento primário. Em geral, mais 20% são desperdiçados no processamento secundário, gerando um imenso volume de resíduos. No Brasil, existe ainda muito resíduo proveniente da atividade florestal sendo desperdiçado, podendo, se bem utilizado, significar um acréscimo na geração de energia principalmente para comunidades que não são beneficiadas pelo sistema elétrico nacional (MORET, 2000).

Outra opção é o biogás, gás proveniente da quebra biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio, que consiste numa mistura gasosa composta principalmente de gás metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), com pequenas quantidades de outros gases e certa quantidade de umidade, sua produção ocorre naturalmente em local em que o oxigênio atmosférico não consiga chegar, como em pântanos, no fundo de corpos d'água, intestino de animais, ou de forma antrópica em aterros sanitários e usinas de biogás (CAETANO, 1985).

Assim, surge a prática da utilização do biodigestor anaeróbico, que é um equipamento usado no processamento de materiais, como fezes de animais nas pequenas propriedades rurais, na obtenção de energia. Ele é um reator químico em que as reações químicas são feitas por bactérias que processam matéria orgânica em condições anaeróbicas, tendo como produtos o biogás, com cerca de 75% metano e 25% CO_2 , e o fertilizante (CEZAR & SILVA, 2008).

Segundo Demirer e Chen (2005) o processo de biodigestão anaeróbica consiste de um sistema de tratamento no qual a matéria orgânica é degradada até a forma de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) em condições de anaerobiose. De acordo com Côte et al (2006), o processo de biodigestão possui vantagens para o tratamento de resíduo e aproveitamento de gases, como o metano.

As vantagens do processo são: redução de microrganismos patogênicos e odores, pequeno espaço físico ocupado para o tratamento dos resíduos, e a facilidade de controlar a liberação de gases ou efluentes. Em processos anaeróbicos como este, a degradação da matéria orgânica envolve a atuação de micro-organismos procarióticos anaeróbicos facultativos e obrigatórios, cujas espécies pertencem ao

grupo de bactérias hidrolíticas, fermentativas, acetogênicas produtoras de hidrogênio e arqueas metanogênicas (CÔTE et al., 2006).

No Brasil existe uma vasta opção de energia renovável, ainda pouco explorada, caso se considere a disponibilidade e desperdício dessas fontes energéticas, que podem atender pequenas demandas contribuindo social, cultural e economicamente com as comunidades ainda excluídas do fornecimento de energia elétrica.

2.4 A Importância para o Desenvolvimento Regional

Segundo o IBGE (2015), a população estimada de Rondônia é 1.768.204, e sua economia tem como fonte principal a pecuária e o agronegócio. O sistema de energia elétrica, do estado, conta com a participação da usina de Samuel, com potência instalada de 216 MW, e pequenas centrais hidrelétricas (PCH), distribuídas pelo interior. Hoje o sistema elétrico, já conta com a participação das Usinas do Rio Madeira, Santo Antônio e Jirau, onde a energia é transmitida para a subestação em Porto Velho, operada pela Eletrobrás Eletronorte, que por sua vez transmite 400MW em corrente alternada para o sistema Rondônia e outra parcela em torno de 3500 MW em corrente contínua, enviada para a subestação Araraquara II, em São Paulo.

Mesmo com esse reforço no sistema elétrico, nacional e estadual, e com os programas de governo de universalização ao atendimento elétrico, ainda há no estado 553 comunidades isoladas sem atendimento elétrico, como já foi dito pela Eletrobrás Rondônia (2015), em sua pesquisa, e como essas áreas são isoladas e de difícil acesso, logo seu atendimento se caracteriza como GD, podendo utilizar o sistema híbrido de geração de energia elétrica. Dessa forma, o estudo de modelagem de sistema híbrido de geração distribuída, é importante, pois cria possibilidade para o atendimento dessa demanda reprimida.

Um sistema híbrido de geração distribuída eficiente utilizado para o atendimento dessa demanda local é um dos fatores estruturante para o desenvolvimento econômico e social, pois técnicas e tecnologias poderão ser aplicadas aos processos de produção, agregando valor aos produtos gerados nas localidades, e através disso empoderar as comunidades. E quanto ao aspecto ambiental, sua vantagem está na redução de poluente lançado na atmosfera, minimizando os impactos ambientais, pois o insumo do SHGD, o combustível utilizado, é de fonte renovável na sua totalidade ou em sua maior parte. E quanto ao aspecto político, podemos citar a redução da utilização do CCC, como vantagem, e a abertura de mais

discursão sobre a utilização e financiamento dessas tecnologias que utilizam como fontes as energias renováveis.

O desenvolvimento regional das comunidades isoladas está ligado diretamente à manutenção dos processos de produção das comunidades, pois se o lugar não lhe fornecer condições mínimas para sua alimentação e habitação, essa comunidade tende a desaparecer, gerando várias consequências, como por exemplo, migração para as periferias dos grandes centros urbanos e acabam vivendo em condições socioeconômicas desfavoráveis. Com isso, aumentam os impactos negativos nas cidades, causando desequilíbrio no desenvolvimento da região.

A manutenção da qualidade de vida na comunidade isolada é um dos pontos mais importante para o desenvolvimento regional, pois isso trás equilíbrio aos processos naturais para os locais isolados e para o estado, gerando benefícios social, econômico, cultural e ambiental. A proteção e a utilização consciente das reservas naturais pelo homem significa proteger a vida do Planeta, em sua totalidade, numa perspectiva de continuidade a existência da vida do homem e suas gerações.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Área de Implantação do Projeto: Floresta Nacional do Jamari

A Floresta Nacional do Jamari (Figura 7) tem situação fundiária regularizada e foi criada com uma área estimada de 215.000 ha, possuindo Certidão de Inteiro Teor, expedida em 02 de julho de 1998, pelo Registro de Imóveis do Cartório Primeiro Ofício da Comarca de Porto Velho, sob a matrícula de nº 034570, constante no livro nº 2 do Registro Geral de Imóveis, com uma área de 225.799,7491 ha. A Unidade possui, também, registro na Secretaria do Patrimônio da União (SPU), sob o nº 0683 00005.500-0.

Apesar de ter a documentação de toda a área em nome do IBAMA (2002), existem três famílias tradicionais que vivem em três áreas diferentes, mas não mantêm a integridade e posse. Nessa pesquisa se utiliza uma dessas áreas: aquela ocupada pela família Benjamim que vivem na região sudeste (localidade de Santa Bárbara) da Floresta Nacional, às margens do Rio Jacundá, desde 1945, aproximadamente.

Atualmente, esta família é composta por seis pessoas, que vivem do cultivo de banana, laranja e mandioca (produção de subsistência), da fabricação de farinha para consumo e comercialização nos municípios de Itapuã do Oeste e Porto Velho. No período da colheita da mandioca e preparação da farinha, os Benjamim contratam mão-de-obra extra. Há também como atividade da família a caça e pesca para subsistência na localidade.

As famílias tradicionais não possuem nenhum documento de posse da terra e são caracterizadas como população tradicional. Segundo o Roteiro Metodológico para Elaboração de Plano de Manejo para Florestas Nacionais, população tradicional residente é entendida como sendo a população que vive no interior da Floresta Nacional, anterior a sua criação, e que tenha como base econômica o extrativismo sustentável dos recursos naturais da Floresta.

Assim, como população tradicional, os Benjamim têm assegurado o direito de viver na Floresta Nacional, de modo sustentável, ainda que não possam vender terra ou obter financiamentos que exijam documentação, eles podem contribuir para a sustentabilidade da Floresta Nacional, retirando dela o que precisam para sobreviver, porém, não desmatam, não produzem com fertilizante químicos tóxicos ao meio ambiente, não produzem monocultura e cuidam para que a floresta também sobreviva, mantendo o ciclo estruturante da sociedade, influenciando os aspectos social, econômico, político e ambiental.

Para a sobrevivência da família Benjamim a energia é um item importante, pois contribui para a melhoria do processo de produção, agregando valor aos seus produtos e com

isso impactando positivamente, para a mudança socioeconômica, e permitindo o equilíbrio na exploração dos recursos naturais local.

A seguir apresenta-se o quanto a demanda de energia da família Benjamim e a prospecção de novos equipamentos para o bem-estar da mesma foram determinadas com base em entrevista *in loco*.

3.2 Tipo de Pesquisa

Esta pesquisa é um estudo da falta de energia elétrica em comunidades isoladas, que pode ser representada como um estudo de uma entidade bem definida como um programa, um sistema educativo, uma pessoa, ou uma unidade social, Gil (2007). É uma categoria de pesquisa cujo objeto é uma unidade analisada aprofundadamente. Esta definição determina suas características que são dadas por duas circunstâncias. Por um lado, a natureza e abrangência da unidade, Trivinos (1987). Tendo como *locus* de análise a comunidade tradicional formada pela família Benjamim, localizada na Floresta Nacional do Jamari, que está localizada a 90 km da cidade de Porto Velho. O acesso à Floresta pode ser realizado pela BR-364, partindo-se de Porto Velho em direção à Cuiabá (MT). Está compreendida entre os meridianos 62°44'05" e 63°16'54" e paralelos 9°00'00" e 9°30'00". Limita-se ao norte com a Estação Ecológica Samuel, a leste com o município de Itapuã do Oeste e a sul e oeste, com o município de Cujubim, correspondendo a uma área aproximada de 215.000 hectares. Por ser uma área de proteção ambiental, ela é isolada e o acesso é restrito. Na figura 7, o mapa abaixo se pode visualizar a Floresta.

Figura 7: Mapa da FLONA JAMARI - Local Santa Bárbara.



Fonte: ICMBIO, 2008.

Sobre estudo de caso, Goldenberg (2004) esclarece que, se constitui de uma análise holística a mais completa possível, que considera a unidade social estudada como um todo, com o objetivo de apreender a totalidade de uma situação e descrever as várias partes de um caso complexo, por meio de um mergulho profundo e exaustivo do objeto.

No caso dessa pesquisa, o mergulho se dá em torno da energia demandada pela família Benjamim e da prospecção de demanda que possibilite uma melhoria na qualidade de vida dessas pessoas.

O levantamento dos dados foi feito no local com uso de entrevista semiestruturada com moradores da comunidade, checagem visual e fotográfica *in loco*.

Da mesma forma, o estudo de caso se aplica ao tema, porque há muitas comunidades com o mesmo perfil social, ambiental e econômico, portanto os resultados desta pesquisa podem servir de base em outras localidades.

3.2.1 Tipo de Dados

Dados numéricos relativos à demanda de energia elétrica de uma comunidade isolada, custo de implantação do SHGD utilizando simulador e aproximação numérica.

3.2.2 Tipo de Análise de Dados

As análises foram realizadas por dois procedimentos distintos, como forma de cotejamento, um por aproximação matemática e outro por sistema computacional. Além do cotejamento, aprimoraram-se os procedimentos para determinação de sistemas isolados, visto que a maior parte do público alvo não tem acesso a sistemas computacionais.

No procedimento por aproximação matemática a vantagem está na sua simplicidade e baixo custo do método, mas tem desvantagem na demora do processamento dos dados. O sistema computacional leva vantagem na rapidez do processamento dos dados, porém tem como desvantagens o treinamento específico para operação e o alto custo da licença do *software*.

3.2.3 Técnicas para a Coleta de Dados

A entrevista é a obtenção de informações de um entrevistado, sobre determinado assunto ou problema. A entrevista pode ser:

- (a) padronizada ou estruturada: roteiro previamente estabelecido;
- (b) despadronizada ou não estruturada: não existe rigidez de roteiro. Podem-se explorar mais amplamente algumas questões.

Nessa pesquisa foi utilizada a entrevista não estruturada, pois a comunidade tradicional se mostrou inibida e reticente devido às experiências desagradáveis com outros pesquisadores que tiveram, sendo assim, a entrevista não estruturada, por não ter um roteiro rígido, se mostrou mais adequada para a pesquisa, porém a atenção foi redobrada para evitar divagações e fuga do objeto de pesquisa.

3.3 Sistemas de Planejamento para *Microgrids*

O planejamento de um *microgrid* precisa de vários parâmetros técnicos, para um bom dimensionamento do sistema elétrico, e com isso, reduzir os riscos de subdimensionar ou sobredimensionar o sistema, garantindo um projeto adequado à comunidade. O sistema computacional é útil para esse planejamento, pois com os simuladores virtuais podem indicar

a melhor opção técnica, pois cruzam várias informações e possibilidades. Garantindo uma tomada de decisão mais segura, em termos de custo-benefício do investimento.

3.3.1 Sistemas Computacionais como Ferramenta para Planejamento

A importância de sistemas computacionais está baseada na qualidade e agilidade do resultado. Por outro lado, o resultado fica igual se os *inputs* tiverem características parecidas.

Vários tipos de programas para simulação de SHGD têm sido desenvolvidos por diferentes grupos de pesquisa nos últimos anos. Entre esses programas, podem-se destacar: TRNSYS®, INSEL®, HYBRID2®, HOMER® e outros. Uma atribuição desses programas, entre outras, é que são capazes de simular sistemas puramente FV (VERA, 2004).

Entre estes programas, segundo Krenzinger (1998), se destacam PVFORM, desenvolvido por SANDIA Laboratories, HERMINES, DA L'ECOLE des MINES de Paris e ASHLING, da University College CORK (Irlanda). Os dois últimos incorporam base de dados de componentes específicos. HERMINES e ASHLING são programas que precisam muita informação sobre cada componente do sistema fotovoltaico, informação que em muitas oportunidades não é distribuída pelos fabricantes ou que são de difícil determinação nos laboratórios.

Atualmente, no mercado se encontra uma grande variedade de programas de dimensionamento e simulação com diferentes linguagens de programação, precisões e metodologias de cálculo.

Os *softwares* TRNSYS® e INSEL® são simuladores que trabalham com sistemas térmicos e não possuem abrangência sobre sistemas híbridos. Já o HYBRID2® e o HOMER® são projetados para simular sistemas híbridos, porém o Homer possui maior e mais atual arquivos de dados, tornando sua utilização mais vantajosa apesar do custo da licença. Os programas HERMINES e ASHLING são simuladores de sistema fotovoltaicos que precisam de maior interferência do operador para incluir características do sistema fotovoltaico ao software.

3.3.1.1 Uso do Homer

O *software Homer* é de propriedade da *Homer Energy LLC*, empresa de *software* de modelagem *microgrid* com atividade pelo mundo. O Homer (Híbrido e Otimizado de Múltiplos Recursos Energéticos) *software* é um simulador com múltiplas variáveis utilizado

no planejamento na construção de custo eficaz e *microgrid* confiável que combinam fontes de energia renovável ou não, armazenamento e gerenciamento de carga elétrica (HOMER ENERGY, 2013).

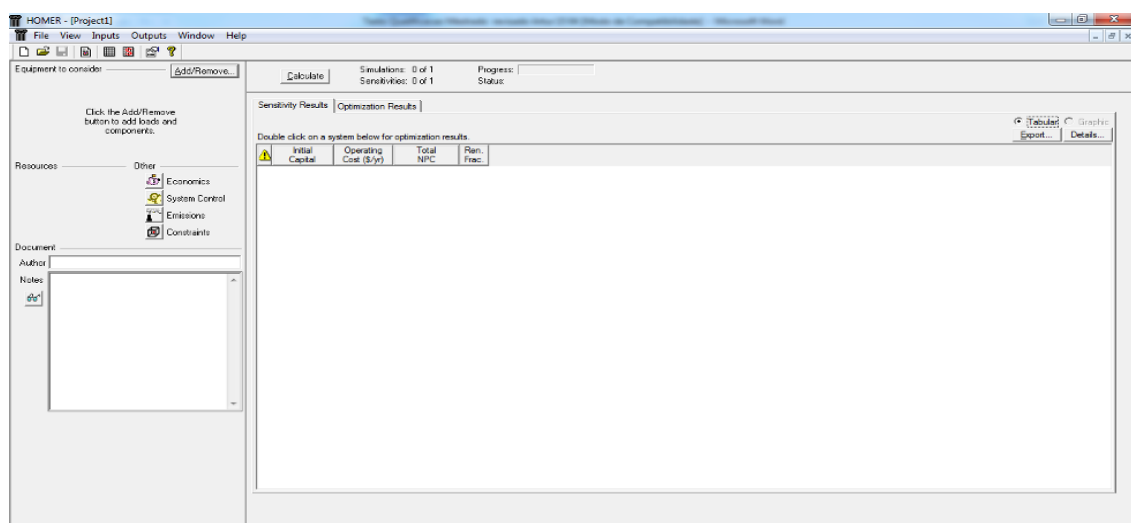
Sua importância (do *software Homer*) destaca-se nas várias entradas de dados, tais como coordenada geográfica, demanda elétrica de entrada e saída, preço do litro de combustível fóssil e biocombustível, custo de investimento, taxa de financiamento, carga de ponta de pico, custo de financiamento de placa fotovoltaica, e outros elementos mais específicos (SILVA, 2010).

Por essas vantagens apontadas, neste estudo foi utilizado o Sistema Homer, cujas alternativas incorporadas ajudam a responder aos objetivos da pesquisa. Além disso, a energia solar fotovoltaica tem penetração assegurada na região de Rondônia.

Com o domínio do estudo dessa tecnologia se pode contribuir qualitativamente e quantitativamente o problema da pesquisa. Uma vez que essa ferramenta pode permitir construir um banco de dados analítico e teórico sobre a viabilidade técnica e econômica da utilização de um sistema híbrido na geração de energia elétrica em localidades isoladas na Amazônia, sobretudo no estado de Rondônia que é o foco do estudo.

O sistema empregado é uma ferramenta com interface interativa para aplicação em proposta de resolução de problemas em termos de planejamento de sistemas elétricos (Figura 8).

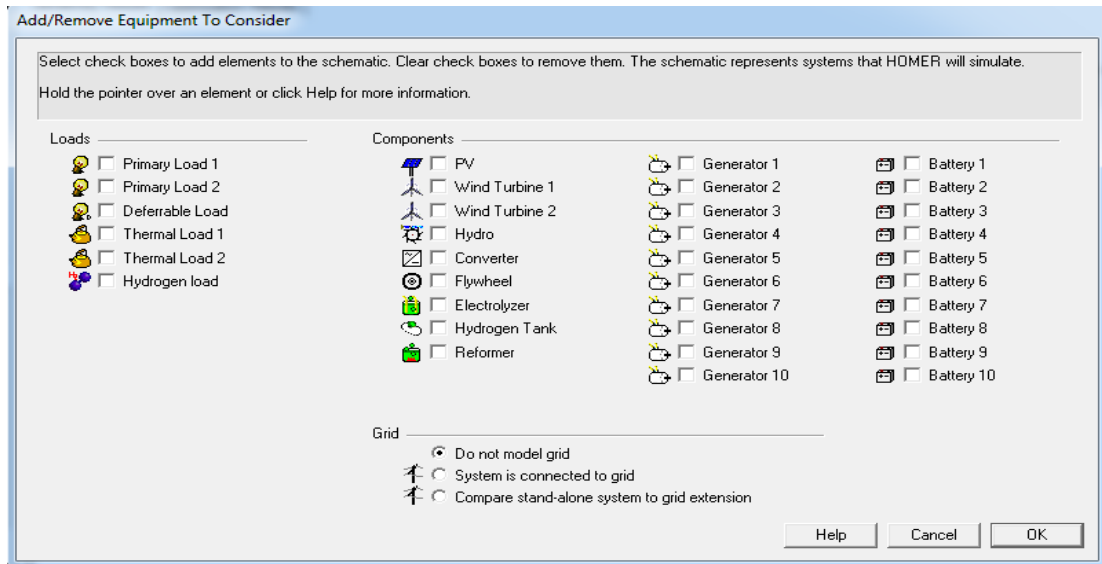
Figura 8: Interface inicial Homer.



Fonte: Imagem do Homer.

Apresentada a interface inicial do Homer, passa-se a descrever os passos para usá-lo:
 (a) definir o problema, inserir os dados da carga inicial ou sua prospecção e as fontes de alimentação de energia no primário do sistema são introduzidos no Homer (Figura 9).

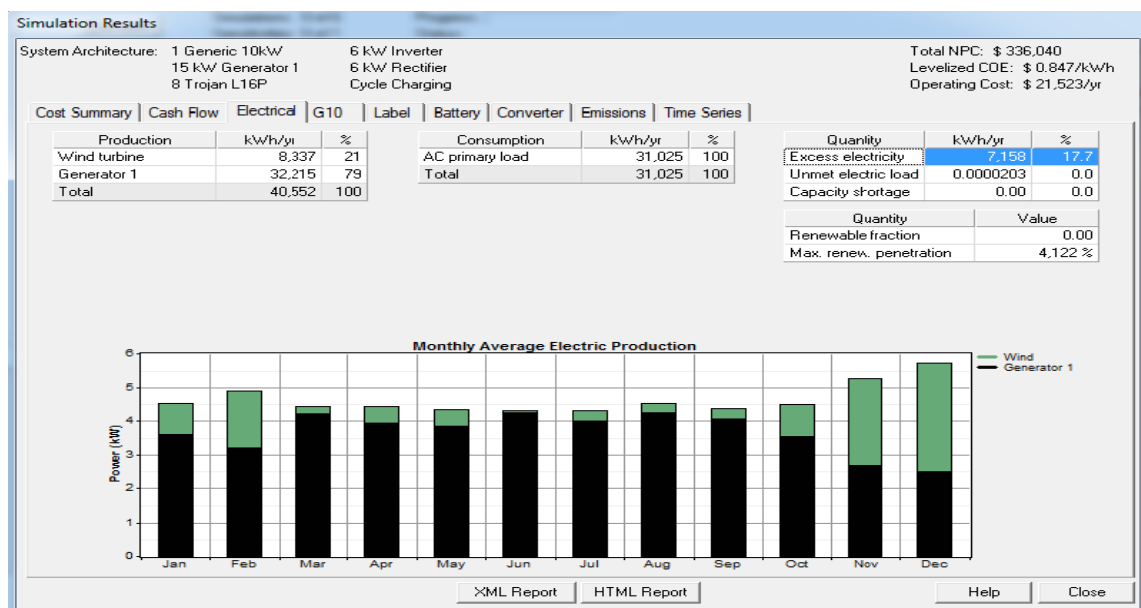
Figura 9: Parametrização da carga e fontes iniciais no Homer.



Fonte: Imagem do Homer.

(b) grau de sensibilidade do sistema possibilitando várias configurações de ajuste à demanda (Figura 10).

Figura 10: Análise da perda elétrica e o excedente não utilizado 17.7% pelo sistema.



Fonte: Imagem do Homer.

Os principais parâmetros no Homer de entrada são: custo de combustível fóssil, curva de carga demanda, referência de localização (latitude e longitude) para a radiação solar, velocidade de ventos, custo de operação e manutenção, sensibilidade do sistema para melhor adequação do projeto. Aplicando os parâmetros de entrada de dados no Homer, as possibilidades de sistema simulado são obtidas com o seu correspondente custo atual líquido para o projeto.

Apresentado o *software* utilizado na pesquisa, e as informações obtidas no local, comunidade dos Benjamim, tem-se como prospecção de dados:

(a) observação e levantamento das fontes disponíveis: foi utilizada a referência da existência de atividade econômica, com o resíduo de laranja, mandioca, banana e casca de castanha (biomassa);

(b) anotação da carga: leitura das etiquetas dos equipamentos;

(c) levantamento do consumo: questionamento e obtenção de relato dos hábitos de consumo da família.

3.3.2 Cálculo por Aproximação Numérica

Esta metodologia permite o cálculo da carga através do conhecimento de características da demanda, equipamentos, usos finais, possibilidade futuras de carga.

A aproximação numérica é realizada em três fases:

(a) Determinação da demanda

A demanda de energia elétrica está destacada na seguinte distribuição: três residências, uma casa de farinha (produção de farinha para consumo e venda), dois pequenos depósitos (armazenar castanha do Brasil e milho) e casa do gerador.

O cálculo da demanda foi realizado com o produto da potência pelo tempo de uso dividido pelo fator de potência, conforme a equação (1):

$$Demanda \text{ (em kVA por dia)} = [Potência \text{ (em watts)} \times Fator \text{ demanda de funcionamento (por dia)}] / Fator \text{ de potência.} \quad (1)$$

(b) Determinar a curva de demanda para ser atendida:

Colocam-se em planilha eletrônica os dados da demanda por período, apresentando a curva de demanda para ser atendida.

(c) Cálculo por aproximação numérica

c.1 Nesta fase, utilizamos a equação (2), para obter o valor médio de demanda para aproximar a potência necessária a nominal para atender a demanda dos valores de placas solares disponíveis no mercado:

$$P_{\text{média solar}} = \text{Potência para atendimento nominal da demanda média} \quad (2)$$

c.2 A potência efetiva que será utilizada terá um multiplicador 2, porque a referência para atendimento elétrico é 50% de fator de capacidade, conforme a equação (3):

$$P_{\text{efetiva solar}} = 2 * P_{\text{média solar}} \quad (3)$$

c.3 Testa-se em toda a curva de demanda a potência efetiva solar para demonstrar se há desperdício ou falta excessiva de carga.

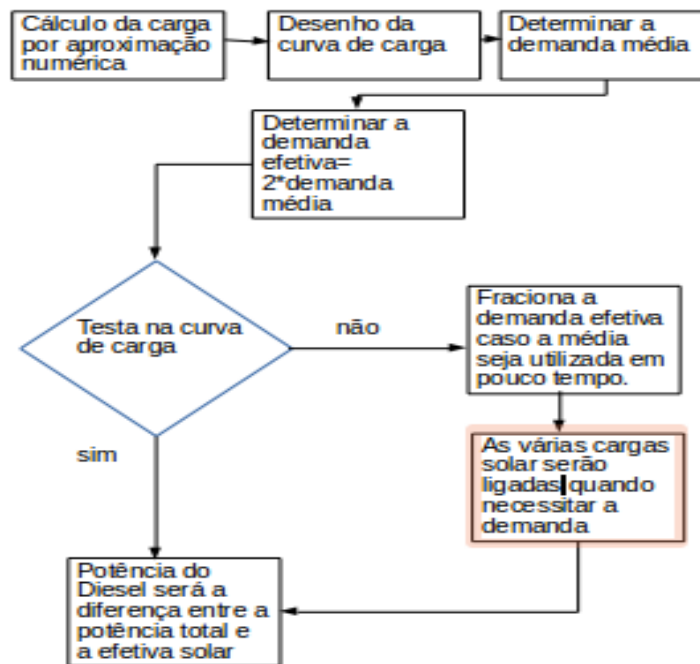
c.4 A potência diesel será calculada pela diferença entre a máxima demanda e o que será atendido pelo sistema solar, conforme a equação (4). Aplica-se 50% para o fator de carga para o sistema diesel:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{efetiva solar}} + P_{\text{diesel}} \quad (4)$$

c.5 A operação do SHGD será realizada de forma complementar, ou seja, o sistema é atendido até a média da demanda com sistema solar, a partir desta fase atende-se complementarmente com o sistema diesel.

c.6 Testa-se o sistema em toda a curva de carga para demonstrar que toda a demanda será atendida com o SHGD operando normalmente.

Figura 11: Esquema da determinação de carga por aproximação numérica.



Fonte: Elaboração própria, 2015.

O Dimensionamento dos equipamentos solares, descrito por *Solar Energy International* - SEI (2007), são definidos pelas equações a seguir:

- Potência do painel solar é determinada pela equação (5):

$$\text{potência do painel (w)} = \frac{\text{potência (w)} * \text{uso em horas/dias (h/dia)} * \text{VMP}}{\text{horas de insolação} * \text{fator de segurança}} \quad (5)$$

Potência (W) = potência nominal do uso final

Voltagem (V) = valor da voltagem da bateria que é tipicamente de 12V

VMP= tensão de máxima potência (tipicamente de 17,4 V em sistemas com baterias de 12 V)

Horas de insolação= para a Amazônia estima-se em no mínimo 8 horas diárias

Fator de segurança= o valor típico é de 0,8

- Capacidade do banco de baterias é calculada utilizando-se a equação (6):

$$\text{capacidade do banco de baterias (Ah)} = \frac{\text{consumo} * \text{autonomia (dias sem sol mensal)}}{\text{profundidade de descarga no final da autonomia}} \quad (6)$$

Consumo (Ah/dia) = A* uso em horas/dia (h/dia)

Corrente A= potência (w)/voltagem (V)

Autonomia= para as características da Amazônia estima-se 3 dias

Profundidade de descarga = estima-se em torno de 0,6

- Dimensionamento do inversor

A carga do inversor pode ser calculada através da equação (7) da seguinte forma. Para qualquer eventual desvio, deverá ser considerado com base nesta razão, e é definido para o seguinte intervalo de potência:

$$0,7 * P_{FV} < P_{MAX}^{INV} < 1,2 * P_{FV} \quad (7)$$

P_{FV} representa a potência máxima (nominal) do gerador fotovoltaico

P_{MAX}^{INV} a potência DC máxima (nominal) do inversor

3.3.3 Comparação dos Resultados

Para o estudo de caso em questão não se aplica a análise estatística, mas sim o cotejamento da aproximação matemática e o sistema computacional. É o aprimoramento dos procedimentos para determinação de sistemas isolados, visto que a maior parte do público alvo não tem acesso a sistemas computacionais por estarem em área de difícil acesso.

Os dados comparados pelo modelo de aproximação matemática e o simulador Homer, mostram suas similaridades para o atendimento da demanda da comunidade isolada. Os parâmetros utilizados na comparação são o custo total, dimensionamento dos equipamentos solar e dimensionamento dos equipamentos a diesel.

Os valores do custo são determinados pelos custos internacionais no Homer e na aproximação numérica são valores locais. O custo do equipamento é internacional pelo Homer e locais pela aproximação numérica.

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS DA PESQUISA

4.1 Fontes Energéticas Disponíveis na Comunidade

Foram identificadas as seguintes fontes energéticas disponíveis na comunidade: solar com incidência média 4,56 kWh/m².dia (TIBA, 2000), hidráulica (correnteza de um igarapé com velocidade média 0,4 km/h no período de junho de 2015), a biomassa (casca de castanha do Brasil em torno de 3 a 4 tonelada e lenha em torno de 2 a 3 toneladas) e biogás (pequena cria de galinha e porco, com perspectiva de ampliar a criação, sendo criados soltos ficando inviável estimar a quantidade de biomassa).

Os dados prospectados foram:

(a) a quantidade de biomassa (cascas em quantidade considerável não utilizada devido à distância, longa, entre o ponto de coleta e a casa da família pesquisada, lenha 4 kg consumidos por semana para cocção);

A família tem um plantio de 7,5 mil pés de mandioca, representando um potencial energético médio em torno de 225.900 MJ, considerando em média 4 kg de raiz por pé e que apenas 40% da planta é aproveitada, caso se utilize os resíduos como biomassa, para uma análise elementar da biomassa dos resíduos da mandioca a mesma segue o padrão das demais biomassas com, 42% de C, 6% de H, 42% de O, 0,5% de N e 9,5% de cinzas (CERQUEIRA LEITE, 2005).

Para Cerqueira Leite (2005) o poder calorífico dos resíduos da mandioca é 15,76 MJ/kg para as ramas secas e de 12,55 MJ/kg para outros resíduos da mandioca.

(b) quanto à energia hidráulica no período de cheia a velocidade das águas sofre redução, não foi possível mensurar a velocidade da correnteza nesse período.

A quantidade de energia consumida foi dividida em fóssil e biomassa. Quanto ao combustível fóssil, eram utilizados 20 litros de diesel em média por mês para o motor gerador (ao custo de US\$ 1.06/Litro, junho de 2015); gasolina para uso em um motor 2 tempos para acionar o ralador para fazer farinha de mandioca (ao custo de US\$ 1.06/Litro mesmo do diesel, junho de 2015). No Quadro 04 estão listadas as fontes disponíveis de biomassa e hidráulica disponíveis no local de estudo.

Quadro 4: Fontes e energia consumida.

Tipo de fonte	Quantidade utilizada de fonte	Potencial da fonte	Observação
Biomassa- castanha	Não há consumo.	3 a 4 toneladas	Espalhada na floresta com umidade.
Biomassa- lenha	4 kg por semana para cocção.	2 a 3 toneladas	Empilhada apenas 400 kg
Biogás	Não há consumo.	Não foi possível medir	Criação sendo refeita.
Hidráulica	Não foi possível medir	Não foi possível medir	Sofre drástica redução na seca.

Fonte: Elaboração própria, jun. 2015.

A localidade possui um motor (2,5 Hp/1864,25 W) com gerador de 1,1 kVA, bifásico com apenas opção monofásica no gerador, entretanto o sistema tanto do motor quanto do gerador estão danificados (Figuras 12 e 13), Dessa forma não há utilização de energia elétrica na comunidade no momento, entretanto uma manutenção corretiva no motor e gerador pode colocar o motor-gerador novamente em condições operacionais.

Figura 12: Vista do gerador com ligação monofásica 110 volts.

Fonte: Elaboração própria, jun. 2015.

Figura 13: Vista do motor com o tanque diesel e parte tubulação do radiador.



Fonte: Elaboração própria, jun. 2015.

4.2 Dados da Demanda da Comunidade

A Tabela 7 descreve o levantamento dos dados de consumo na comunidade para análise de demanda. Observa-se a presença de três lâmpadas, um aparelho de televisão, uma geladeira, um *freezer* e uma máquina de lavar roupas. Esses itens demonstram que a família Benjamim tem demanda elétrica baixa, totalizando 3,125 kWh/dia.

Tabela 7: Demanda elétrica inicial em kWh/dia.

Equipamentos	Potência (em watts)	Tempo de funcionamento (em hora por dia)	Demanda (em kWh por dia)
3 lâmpadas 3U compacta de 20W cada	60	6,0	0,360
1 TV 20 polegadas CRT	90	3,5	0,315
1 geladeira de uma porta	90	10	0,900
1 <i>freezer</i> horizontal pequeno	130	10	1,300
1 máquina de lavar roupas	500	0,5	0,250
TOTAL			3,125

Fonte: Elaboração própria, jun. 2015.

Uma vez avaliada a demanda de energia da comunidade pesquisada, apresenta-se na Tabela 8 a prospecção futura, a partir do olhar da comunidade, de novos equipamentos para melhoria de atividade comercial, comunicação e qualidade de vida na comunidade.

Tabela 8: Ampliação de sistema com novos equipamentos.

Equipamentos	Potência (em watts)	Tempo de funcionamento (em hora por dia)	Demanda (em kWh por dia)
8 lâmpadas 3U compacta de 20W cada	160	6,0	0,960
2 TV 22 polegadas LCD 75 watts cada	150	3	0,450
1 geladeira de um porta	200	10	2,000
1 <i>freezer</i> horizontal	400	10	4,000
1 computador	250	1	0,250
1 rádio amador	100	0,2	0,020
3 ventiladores de 100 watt/110volts	300	2	0,600
1 aparelho de som tipo system	130	2	0,260
TOTAL			8,540

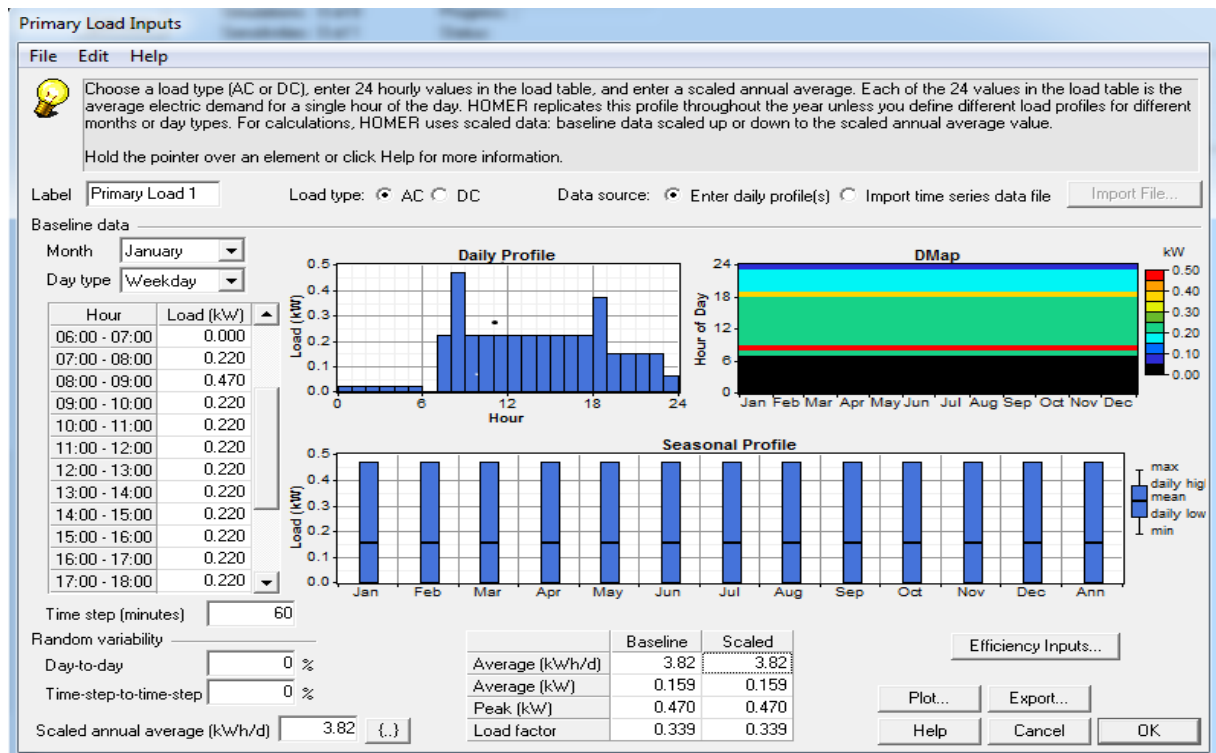
Fonte: Elaboração própria, jun. 2015.

Com essa prospecção, a demanda passará de 3,125 kWh/dia para 8,540 kWh/dia, com aumento de 5,415 kWh/dia perfazendo em termos percentuais 173,28%, para atender as necessidades futuras da comunidade dos Benjamim.

4.3 Determinação da Carga no Sistema Homer

A demanda inicial determinada no método de aproximação numérica foi de 3,125 kWh/dia (Tabela 7), e utilizando o Homer o valor é um pouco superior, igual a 3,820 kWh/dia. Esse resultado é apresentado a seguir, na Figura 14, constatando-se 18,19% a mais na simulação com o Homer.

Figura 14: Demanda simulada no Homer no valor de 3,82 kWh/dia sistema fotovoltaico e diesel.

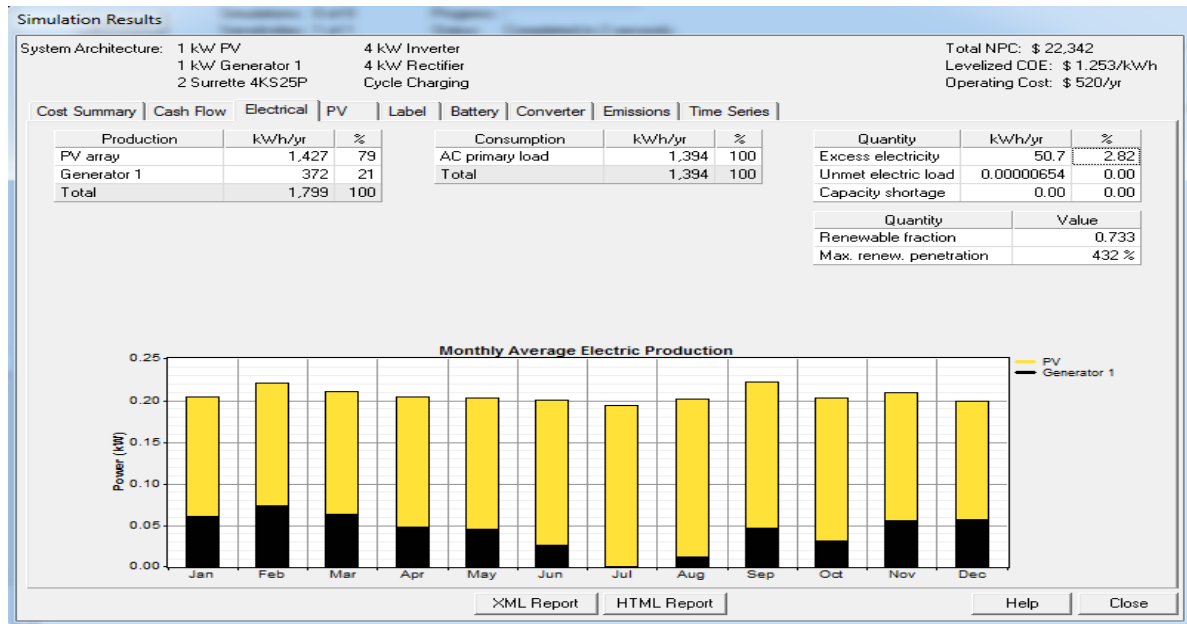


Fonte: Imagem do Homer, jul. 2015.

A modelagem do SHGD foi obtida pela saída de dados do Homer, conforme Figura 09 e 10, através da entrada de dados relativa à carga e tempo de uso (demanda ativa). Na qual o *software* fornece duas opções de configurações de SHGD: primeira opção de sistema fotovoltaico e gerador (motor a diesel) com custo líquido de \$ 22,342.00 dólares (Figura 15) e a segunda opção com gerador (motor a diesel), e armazenagem de carga a bateria também como o anterior, porém com custo líquido de \$ 24,346.00 (Figura 16). O custo líquido representa no Homer, o *Net Present Cost* – NPC, os custos com equipamento, substituição, operação, manutenção, combustível e retorno dos custos não utilizados com substituições.

Na demanda simulada de carga de 3,82 kWh/dia, conforme Figura 14, e os dados do sistema fotovoltaico e diesel apresentam pequeno percentual de ineficiência, conforme Figura 15, quanto ao excesso de eletricidade não aproveitada em torno de 2,82%. Observa-se que esse parâmetro pode ser desprezado em consideração na análise.

Figura 15: Parâmetro de excesso de eletricidade não aproveitada.

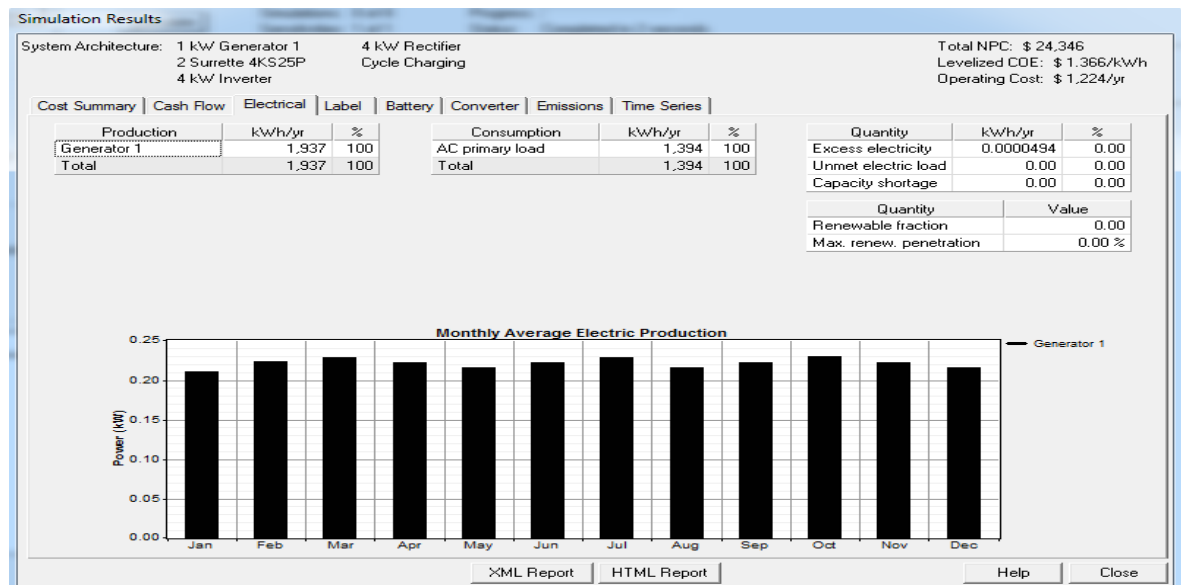


Fonte: Imagem do Homer, jul. 2015.

A arquitetura da primeira opção de sistema descrita pelo Homer, conforme a Figura 15, possui um painel solar de 1 kW, um gerador diesel de 1 kW, duas baterias *Surrrette* 4KS25P de ciclo profundo que pode ter vida útil de mais de 1000 ciclos completos cada bateria, um inversor de 4 kW e um regulador de carga de 4 kW.

No aspecto relativo ao excesso de eletricidade, analisando a segunda opção de sistema, observa-se um percentual de 0% de perda de energia não aproveitada, porém o custo líquido ainda é maior (24,346.00 dólares) desqualificando essa opção de sistema, conforme Figura 16.

Figura 16: Parâmetro de excesso de eletricidade não aproveitado pelo segundo sistema.



Fonte: Imagem do Homer, jul. 2015

As opções o sistema fotovoltaico e diesel, conforme Figura 15, e o sistema somente a diesel, conforme Figura 16, ambas obtidas da simulada no Homer mostram suas estruturas e seus custos, revelando que a opção do sistema fotovoltaico e diesel, se destaca e será utilizada como referência de sistema para a modelagem (fotovoltaico diesel), pois se mostra a melhor opção inicial e em longo prazo. Esse modelo de sistema fotovoltaico e diesel, então servirá de parâmetro para o estudo. Para esse modelo, fotovoltaico e diesel, iremos propor outro procedimento, sem utilizar o simulador Homer, para encontrar esse planejamento, que será o procedimento por aproximação numérica, abordado a seguir.

4.4 Determinação de Carga por Aproximação Numérica

Na Tabela 9, a demanda foi descrita pela representação da curva de carga por intervalos de tempo de cada uma hora e meia, dentro de 24 horas (um dia), e quando comparada a Tabela 7, temos uma diferença de 17,22% a mais, que significa uma correção na demanda pela primeira análise (Tabela 7), referente ao uso de iluminação no intervalo de meia noite e 6 horas da manhã, na comunidade dos Benjamim localidade de Santa Bárbara.

Tabela 9: Demanda calculada para carga instalada inicial do sistema Benjamim em Santa Bárbara.

Tempo de Consumo (em hora por dia)	0→1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5	24
1 lâmpada (20W)	30	30	30	30									30	30	30	30
2 lâmpadas (20W cada)													60	60	60	60
1 TV (90W)													135	135	135	
Geladeira (90W por 12 hora/dia)						135	135	135	135	135	135	135	135			
Freezer (130W)						195	195	195	195	195	195	195	195			
Máquina de lavar (500W 0,5 h/dia)						250										
TOTAL (Wh/dia)	30	30	30	30	0	580	330	330	330	330	330	330	555	225	225	90
3,775 kWh/dia																

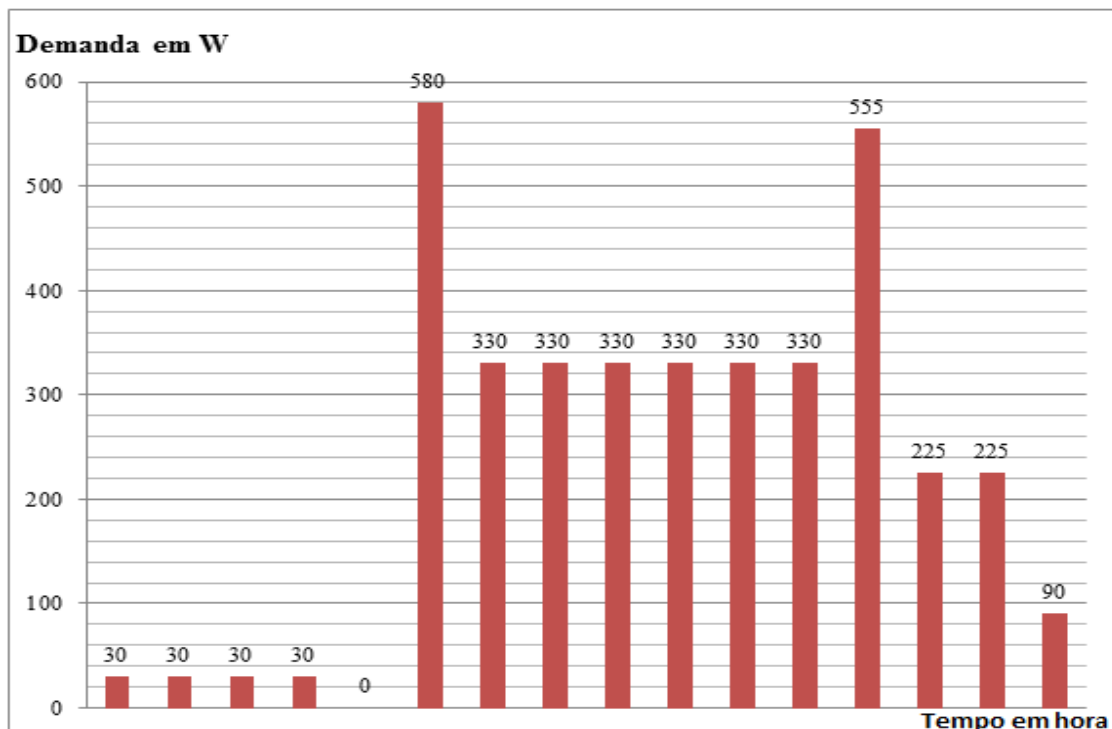
Fonte: Elaboração própria, jul. 2015.

A demanda média e máxima, são respectivamente, 330 W e 580 W, que podem ser observadas na Figura 17, representando o comportamento da demanda de carga por dia da comunidade dos Benjamim, localidade de Santa Bárbara. A partir dessas demandas se obtém o fator de carga, que segundo a resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010 da ANEEL, é definido como sendo a razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora ocorridas no mesmo intervalo de tempo, conforme a equação (8):

$$\text{Fator de Carga} = \text{Demanda média (kW)} / \text{Demanda máxima (kW)}. \quad (8)$$

O fator de carga é um índice adimensional que varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, melhor a eficiência energética da instalação. Para isso a diferença entre a demanda média e a demanda máxima registrada deve ser a menor possível. Em outras palavras, permite verificar o quanto a energia está sendo utilizada de forma racional. Para o nosso sistema o fator de carga é 0,57, calculado pela equação (8).

Figura 17: Demanda de carga da comunidade dos Benjamim, por hora dia de utilização.



Fonte: Elaboração própria, jul. 2015.

A seguir foram seguidas as etapas da aproximação numérica.

–Determinação da demanda média que é em torno de 330 W;

–Aplicação do fator de correção 2 para fator de carga de 50%; entretanto vamos fazer a aproximação com valores disponíveis de kit solar de 600W com fator de carga de 55%, relativamente baixo devido limitações técnicas;

–Determinação das placas disponíveis no mercado com kits comercializados de até 900W;

–Testar na demanda;

–Calcular o valor da diferença entre a demanda total e o que será oferecido pelo sistema solar determinando o diesel, mais 50% para o fator de carga para o sistema diesel;

–Testar no sistema para determinar se funciona.

Segundo a empresa L&F Comércio, Projetos e Consultoria LTDA², os valores de placa solar variam de acordo com potência e tipo de placa. A Tabela 10 apresenta dados atuais de dezembro de 2015, com valores de mercado, que possuem flutuações de preço por serem importadas e estarem sujeitos à variação de câmbio e carga tributária vigente.

Tabela 10: Potência da carga do painel solar em watts e custo em dólar.

Potência do painel	Custo em Dólares	Relação US\$/W
30W	102.42	3.41
140 W	171.90	1.23
150 W	178.55	1.19
255 W	270.39	1.06
140 W tp A	292.14	2.08
255 W tp A	332.02	1.30
		Média 1.71

Fonte: Minha Casa Solar, dez. 2015.

O custo do sistema híbrido para a parte solar fotovoltaica de 300 Wp, com base em informações do fornecedor anterior, é para: a) a placa solar (300 Wp) é 513.00 dólares; b) o inversor senoidal de 300 W (12 v/115 v) é 189.00 dólares; c) os dois reguladores de cargas 10A (12 v – 150 W) é 134.60 dólares; e d) as duas baterias estacionárias de 105 Ah é 377.83 dólares. Logo, o custo somente com equipamentos para a parte solar é 1,214.43 dólares, não incluído o custo com condutor, conector, outros elementos e instalação.

² Empresa L&F Comércio, Projetos e Consultoria LTDA com inscrição CNPJ: 11.945.569/0001-46, com o nome de fantasia Minha Casa Solar, hospedada no site www.minhacasasolar.com.br.

O custo do sistema híbrido para a parte diesel de 300 W nominais, com base em informações do fabricante (para valores médios, dimensionamento e tempo de vida), para o custo do gerador diesel de 1kva - 1kw (potência de pico) é 934.00 dólares, não incluído o custo com condutor, conector, outros elementos e instalação.

Ainda tratando do custo da parte diesel do sistema, temos o custo de combustível diesel que é US\$ 1.06 cada litro, no local, correspondendo a 6.36 dólares por dia (considerando 6 horas conforme o sistema), o que equivale a um custo de 2,321.40 dólares por ano com a utilização do combustível diesel.

O custo inicial do sistema híbrido fotovoltaico e diesel, obtido pelo planejado através do procedimento por aproximação numérica, somente para os equipamentos é 2,148.43 dólares. Comparando o custo inicial, por equipamento, das partes solar (1,214.43 dólares) e diesel (934.00 dólares), o custo do solar se iguala ao custo do gerador diesel, em 16 meses, ou seja, quatro meses depois do gerador diesel ser totalmente pago, para uma análise anual.

O custo total do sistema híbrido é composto de 2,148.43 dólares, para os equipamentos do sistema, e de 2,321.40 dólares por ano, para o combustível diesel. Compondo um custo por ano de 4,469.83 dólares, não incluído nesse total os custos com operação, manutenção e substituição de equipamento, para essa análise.

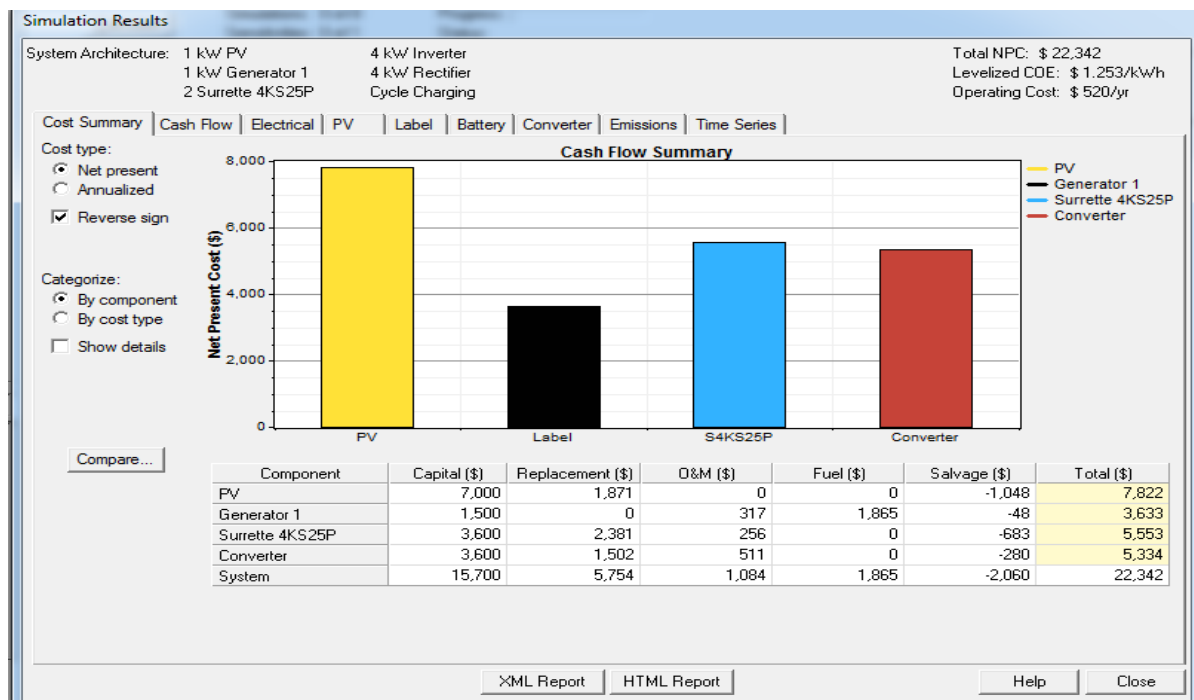
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O custo inicial do sistema híbrido por aproximação numérica é 2,148.43 dólares, conforme cálculo anterior, o valor de custo da fonte energética solar é 1,214.43 dólares e do gerador diesel é 934.00 dólares.

O custo inicial do sistema híbrido pelo simulador Homer é 10,921.00 dólares, conforme Figura 18, o valor de custo da fonte energética solar é 9,690.00 dólares, do gerador diesel é 1,231.00 dólares.

O custo inicial do sistema determinado por aproximação numérica é cinco vezes menor que o custo inicial pelo Homer, pois o custo inicial por aproximação numérica não sobredimensiona o sistema, não inclui o custo com as instalações e os custos com periféricos.

Figura 18: Parâmetro de custo por dispositivos do sistema.



Fonte: Imagem do Homer, jul. 2015.

O custo total do sistema híbrido, por aproximação numérica, estimado, usará com parâmetro 15.000 horas (tempo de vida do gerador na projeção Homer), então para o sistema projetado por aproximação numérica, o gerador trabalha 6 horas dia, logo teremos 2.160 horas ano. Por sua vez, 15.000 horas no sistema híbrido projetado por aproximação numérica equivale sete anos, aproximadamente. Então, o custo total é 2,148.43 dólares mais 7 vezes 2,321.40 dólares, ou seja, 18,398.23 dólares.

O custo total do sistema híbrido, pelo Homer, é 22,342.00 dólares (Figura 18), comparando esse custo com os 18,398.23 dólares, por aproximação numérica, temos uma diferença de 17,65%, que equivale a operação e manutenção não incluída na projeção por aproximação numérica.

O SHGD solar diesel em termos de custo iniciais de implantação ainda é caro, porem em termos custo total, que leva em consideração a vida útil, O & M e depreciação, a médio e longo prazo é vantajoso, o cálculo por aproximação numérica para o planejamento do SHGD se mostra simples nas operações, mas apresenta-se eficiente, como foi demonstrado na comparação com o simulador, seu ponto fraco está no tempo de execução. Já o planejamento com a simulação com o Homer é prática e rápida, porém seu custo é alto, devido os custos com a licença do *software* e o treinamento específico imprescindível para sua operacionalização.

Quanto ao aspecto ambiental, em termos de emissões de gases e partículas, podemos comparar o SHGD com outro sistema puramente alimentado a diesel (sistema ilustrativo), equivalente ao SHGD em termos de potência elétrica de saída do sistema. A determinação das vantagens do sistema híbrido em relação a um sistema somente fóssil utilizará informações do banco de dados do Homer, onde teremos primeiro as informações do sistema híbrido, depois do sistema fóssil e a percentagem comparativa, respectivamente. Para: o dióxido de carbono 349 kg/ano, 1.712 kg/ano, 79,61% a menos para o sistema híbrido; o monóxido de carbono 0,862 kg/ano, 4,23 kg/ano e 79,62% a menos para o sistema híbrido; o hidrocarboneto não queimado 0,0955 kg/ano, 0,468 kg/ano e 79,59% a menos para o sistema híbrido; material particulado 0,065 kg/ano, 0,319 kg/ano e 79,62% a menos para o sistema híbrido; o dióxido de enxofre 0,701 kg/ano, 3,44 kg/ano e 79,62% a menos para o sistema híbrido; e o óxido de nitrogênio 7,69 kg/ano, 37,7 kg/ano e 79,60% a menos para o sistema híbrido. Os dados indicam que o SHGD fotovoltaico diesel, em média, produzem 79,60% a menos emissões de gases e partículas para o meio que se utilizasse somente combustível fóssil, destacando a vantagem ambiental de utilização de sistema híbrido para atendimento de demanda reprimida.

O SHGD além da análise dos custos econômico e ambiental, leva em consideração o custo social, pois esse sistema atende as necessidades das comunidades que precisam do insumo elétrico, para o melhoramento de suas atividades e novas práticas ensejadas por elas. O SHGD pode contribuir, de forma indireta, para a possibilidade da inclusão das comunidades isoladas nos meios sociais (municipal, estadual e nacional), que através dos meios de informações televisiva, radiofônica e internet, compreenda a extensão dos seus direitos e

possa lutar por eles e exercendo seus deveres, de forma consciente da importância do seu papel diante a sociedade.

Isso demonstra que o custo de implantação do SHGD solar diesel comparado por aproximação matemática e no simulador Homer possui boa similaridade. Isso corrobora e garante que o procedimento por aproximação numérica para o planejamento de SHGD, possa ser utilizado com segurança nas comunidades isoladas para a geração elétrica, pois esse procedimento foi comparado com a expertise do simulador Homer, ferramenta com excelente maturidade técnica e com ampla aplicação pelo mundo em planejamento de sistema híbrido.

REFERÊNCIAS

ACG. Asia Consulting Group. **The future for distributed power in Asia. Cogeneration on-site power production.** n. 5. v. 1.Set./Out. London: James & James Publishers, 2000.

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SODER, L. **What is Distributed Generation?** International Symposium on Distributed Generation: Power System and Market Aspects. Estocolmo. Suécia, Jun., 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 3ª Edição, Brasília, 2014. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 02/03/2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução n. 456 de 29 de novembro de 2000.** Delega Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Brasília-DF, 2003. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 02/04/2015.

_____. **Resolução n. 410 de 9 de setembro de 2010.** Atualizada até a REN 499/2012: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Brasília-DF, 2012. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 02/05/2015.

ALLIANCE FOR RURAL ELECTRIFICATION. **Hybrid Mini Grids For Rural Electrification: Lessons Learned.** Brussels: Alliance for Rural Electrification, 2011.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. 2000. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/index.php?task=livro&cid=2>>. Acesso em: 30/03/2014.

BADER. **Electrificación Rural. Banco de Datos 1992/2001,** elaborado pelo Vice Ministério de Energia e Hidrocarbonetos (VMEH), 2001.

BARBOSA, C. F. O. **Avaliação Tecnológica, Operacional e de Gestão de Sistemas Híbridos para Geração de Eletricidade na Região Amazônica.** Dissertação de Mestrado, Belém: UFPA, 2006.

BARING-GOULD, E.I.; FLOWERS, L.; LUNDSAGER, P.; MOTT, L.; SHIRAZI, M.; ZIMMERMANN, J. **Worldwide Status of Wind-Diesel Applications.** Windpower 2003, Austin, Texas, USA, 2003.

BECQUEREL, E. “**Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons**”, Comptes Rendues (9), 561. 1839.

BRASIL. **Decreto n.º 4.873, de 11 de novembro de 2003.** Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – “LUZ PARA TODOS” e dá outras providências, 2008. Disponível em: <www.presidencia.gov.br/legislacao>. Acesso em: 9/02/2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios- Retrospectiva. Secretaria de Energia, Departamento de**

Desenvolvimento Energético, Coordenação da Política do Desenvolvimento energético, 2000.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. Brasília: MME, 2008. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 01/05/2015.

BRIGANTI, M.; VALLVÉ, X.; ALVES, L.; PUJOL, D.; CABRAL, J.; LOPES, C. **Implementation of a PV rural micro grid in the island of Santo Antão (Cape Verde) with an individual energy allowance scheme for demand control** Proc. 27th European Photovoltaic Solar Energy Conf. and Exhibition (Frankfurt) pp. 3874–9, 2012.

BROWN, M. Editorial. **Cogeneration and On-site Power Production**. n. 4. v. 2. Jul./Aug. London: James & James Publishers, 2001a.

BROWN, M. Editorial. **Cogeneration and On-site Power Production**. n. 6. v. 2. Jul./Aug. London: James & James Publishers, 2001b.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CAMPOY, M.; GÓMEZ-BAREA, A.; VIDAL, F. B.; OLLERO, P. **Air Steam Gasification of Biomass in a Fluidized Bed: Process Optimization by Enriched Air**. Fuel Processing Technology, n. 90, p. 677-685, 2009.

CENBIO. 2008. Disponível em <<http://cenbio.iee.usp.br/atlasbiomassa.htm>>. Acesso em: 25/01/2015.

CERQUEIRA LEITE, R.C. **Report for the IUPAP working group on energy – Energy from biomass**. Campinas: NIPE / Unicamp, 2005.

CEZAR, V.R.S.; SILVA Junior, S.T. **Cartilha sobre construção e operação de biodigestores alimentados com manipueira**. In: Relatório final do projeto intitulado como Avaliação do tratamento de manipueira de biodigestores de fases separadas (ácido gênico e metano gênico) combinado com filtro de macrófitas aquáticas. Processo 2005.1/002. FAPEAL 2008.

CÔTE C.; MASSE D.I.; QUESSY S. **Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries**. Bioresource Technology, 2006. P. 686-691.

CMMDA – Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento – O Relatório Brundtland. Nosso Futuro Comum. 1987.

D'ARCE, M. A. B. R. **Grãos e óleos vegetais: matérias primas**. 2005. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br>>. Acesso em: 10/01/2015.

DE GOUVELLO, C.; MAIGNE, Y. **Eletrificação Rural Descentralizada. Uma Oportunidade Para A Humanidade, Técnicas Para O Planeta**. CRESEB-CEPEL, Rio de Janeiro, 2003.

DEMIRER G. N.; CHEN S. **Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure**. *Process Biochemistry*, 2005. P. 542-549.

DI LASCIO, M. A. **“Projeto de Referência em Geração Híbrida de Energia Elétrica: Aplicação Reserva Extrativista do Rio Ouro Preto e Reserva Extrativista do Médio Juruá”**. Brasília, DF. 06/2001. Sétimo Relatório da Meta 2: Geração de Energia Fotovoltaica na Rerop. Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel. Projeto PNUD BRA/98/019, Contrato no 99/011. 2001.

DI LASCIO, M. A.; BARRETO. **Energia e desenvolvimento sustentável para a Amazônia rural brasileira: eletrificação de comunidades isoladas** / Marco Alfredo Di Lascio, Eduardo José Fagundes Barreto; com a colaboração, Daniel Pioch, Écio Rodrigues. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2009.

DIAS, M. V. X.; BORTONI, E. da C.; HADDAD, J. **Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras**. In: *Revista Brasileira de Energia*, Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, Itajubá, Brasil v. 11, n. 2, p. 137–156, 2005.

DORJI, K. **The sustainable management of micro hydropower systems for rural electrification: the case of Bhutan** Master’s Thesis in Environmental Systems Humboldt State University, Arcata California. 2007.

DORJI, T.; URMEE, T.; JENNINGS, P. **Options for off-grid electrification in the Kingdom of Bhutan** *Renew. Energy* 4551–8, 2012.

DUKE, R., JACOBSON, A., & KAMMEN, D. M. **Product quality in the Kenyan solar home industry**. *Energy Policy*, 30 (6), 477-499. 2002.

DUNN, S.; FLAVIN, C. **Sizing up micropower**. In: BROWN, Lester R.; FLAVIN, Christopher; FRENCH, Hilary F. (Org.). *State of the world 2000*. Washington: World watch Institute, cap. 8, 2000.

EI-KHATTAN, W.; SALAMA, M.M.A. **Distributed Generation Technologies. Definitions and benefits**. *Electric Power Systems Research*. Elsevier. 71, 2004.

ELETROBRÁS. **Plano Anual de Combustíveis Sistemas Isolados 2012**. <http://www.eletronbras.com.br/elb/data/Pages/LUMIS59C70657PTBRIE.htm>. Acesso em: 10/04/2012.

ELETROBRÁS. **RELATÓRIO: Diagnostico Socioeconômico de Unidades Consumidoras – UC’s identificadas em comunidades remotas de áreas isoladas do Estado de Rondônia (2015)**. <http://www.eletronbras.com.br/elb/data/Pages/RELATORIO.htm>. Acesso em: 01/03/2016.

ESMAP. **Bolívia: Relatório Final de Atividades Operacionais**. Energia Rural e Eficiência Energética, p. 65. 1999.

ESMAP. **Mini-Grid Design Manual**. World Bank. Washington, DC: Joint UNDP/World Bank Energy Sector Management Assistance Program, 2000.

FAAJ, A.; WALTER, A.; BAUEN, A.; BEZZON, G.; ROCHA, J. D.; MOREIRA, J. R.; CRAIG, K.R.; OVEREND, R. P.; BAIN, R. L. **Novas Tecnologias para os Vetores Modernos de energia de Biomassa.** In: Uso da Biomassa para produção de energia na Indústria Brasileira. Campinas, SP, Ed Unicamp, 2005.

FAKHAM, H.; LU, D.; FRANCOIS, B. **Power control design of a battery charger in a hybrid active PV generator for load following applications,** *Industrial Electronics, IEEE*, 2001.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças globais.** Manaus: INPA, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GSP (Global Studies Program). **Energy Efficiency Opportunities in China: Industrial Equipment and Small cogeneration.** Pacific Northwest Laboratory. Advanced International Studies. 1995.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais.** 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GUERRA, E. P.; FUCHS, W. **Produção de óleo vegetal: comestível e biocombustível.** Viçosa: CPT, 2009. 226 p.

GUERRERO, J.; BERBEL, N.; MATAS, J.; DE VICUNA, L.; MIRET, J. **Decentralized control for parallel operation of distributed generation inverters in microgrids using resistive output impedance,** *IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on*, pp. 5149, 2006.

GREACEN, C. **The marginalization of ‘small is beautiful’: micro-hydroelectricity, common property, and the politics of rural electricity provision in Thailand.** Doctoral Dissertation Energy and Resources Group, University of California, Berkeley, 2004.

GREEN, G. **Capital Accounting for Neighbourhood Sustainability: Housing and the Regeneration of Coalfield Communities.** Centre for Regional Economic and Social Research, Sheffield Hallam University, Sheffield, 2000.

HOMER ENERGY. 2013. Disponível em: <<http://www.homerenergy.com/>>. Acesso em: 02/03/2015.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2002. <<http://www.ibama.gov.br/prevfogo/mudancas-climaticas>>. Acesso em: 27/01/2015.

IBGE. – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2008. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 30/04/2015.

ICMBIO. 2008. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/>>. Acesso em: 10/05/2015.

KAUDINYA, D.P.; BALACHANDRA, P.; RAVINDRANATH, N. H. **Contra sistemas de energia independentes, a geração descentralizada revisão da literatura para conexão à rede.** Renovável e sustentável de energia Comentários, 2009.

KIRUBAKARAN, V.; SIVARAMAKRISHNAN, V.; NALINI, R.; SEKAR, T.; PREMALATHA, M.; SUBRAMANIAN, P. **Review on Gasification of Biomass**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, p. 179-186, 2009.

KRENZINGER, A. **"RADIUSOL - Programa para a determinação da radiação solar sob superfícies com diferentes ângulos de inclinação"**. Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

LASSETER, R.; AKHIL, A.; MARNAY, C. **Integration of distributed energy resources: the CERTS Microgrid Concept**. E Scholarship-University of California. California. 2002.

LILIENTHAL, P. **Homer Energy**. Retrieved from Microgrid Learning Series.2013. Disponível em: <<http://blog.homerenergy.com> //>. Acesso em: 02/03/2015.

LIDULA, N. W. A.;RAJAPAKSE, A. D. **Microgrids pesquisa: uma revisão das micro-redes experimentais e sistemas de teste Renovar sustentar a energia**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Rev. 2011.

LORA, E. E. S.; ADDAD, J. (Coord.) **Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Interciência. Rio de Janeiro, 2006.

MALFA, E. **ABB on Sustainable Energy Markets**. Università di Brescia, 2002.

MINAT, S. **Cogeneration in Europe: New Policies Should Turn the Market Around**. Cogeneration and On-Site Power Production. London: James & James Publishers. n. 4. v. 3. July/August, 2002.

MINHA CASA SOLAR, 2015. Disponível em: <<http://www.minhacasasolar.com.br>>. Acesso em: 02/07/2015.

MITTAL, M.; AGRAWAL, M. **Micro grade atividades tecnológicas em todo o mundo: uma revisão**. Int. J Res Rev. Apl. Sci (2011), pp. 147-152, 2011.

MORET, A. S. **Biodiversidade em Reserva extrativista: estudo de caso do levantamento do potencial de babaçu para consolidar economicamente a RESEX do Rio Ouro Preto**. Relatório de pesquisa. CNPq. Porto Velho, RO. 2011a.

MORET, A. S. **Biomassa Florestal, Petróleo e Processo de Eletrificação em Rondônia: Análise das Possibilidades de Geração Descentralizada**. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP. Campinas, SP. 2000.

MORET, A. S. **Geração Descentralizada no Estado de Rondônia: potenciais contribuições dos resíduos agrícolas e dos óleos vegetais**. In: In: Primeiro Seminário Atendimento Energético de comunidade Extrativista- SAEX'2004, 2004.

MORET, A. S. **Modelo de geração de energia elétrica para localidades isoladas da Amazônia: intervenção com sustentabilidade**. In: Dieter Gawora, Rômulo Soares Barbosa e

Maria Helena de Souza Ide. (Org.). Povos e comunidades tradicionais no Brasil. Montes Claros: Editora UNIMONTES, 2010, v. 1, p. 13-33.

MORET, A. S. **Otimização da geração de eletricidade para pequenos aglomerados populacionais da Amazônia: estudo do combustível óleo vegetal in natura**. Relatório de pesquisa. CNPq. Porto Velho, RO 2011b.

MUKHOPADHYAY, K. **Uma avaliação das usinas de biomassa com base gaseificação em Sunderbans**. Biomassa Bioenergy, 2004, pp. 253-264.

NAVIGANT RESEARCH. **Microgrid Deployment Tracker: Commercial/Industrial, Community/ Utility, Institutional/Campus, Military, and Remote Microgrids: Operating, Planned, and Proposed Projects**. Boulder, CO: Navigant Consulting. 2013.

OXFAM. (2012). **Rio +20 Media Brief: Energy Access for All**. In T. O'Rourke (Ed.). 2012.

PALIT, D.; SOVACOOOL, B.; COOPER, C.; ZOPPO, D.; EIDSNESS, J.; CRAFTON, M. **The Trials and Tribulations of the Village Energy Security Programmer (VESP) in India**. Energy Policy (57), 407-417. 2013.

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. São Paulo: Editora Hemus, 2002.

PEARSON, G. L. **“Conversion of solar to electric energy”**, American Journal of Physics (25), 591. 1957.

PINHO, J. T.; BARBOSA, C. F. O.; PEREIRA, E. J. S.; SOUZA, H. M. S.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. **Sistema Híbrido: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PINHO, J. T.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B.; VALE. S. B. **“Operation Strategies of Wind-Diesel Systems for Electricity Generation Using Intelligent Systems”**, Global Wind Power 2004 Conference and Exhibition, Chicago, 2004.

RODRIGUES, A. de F. **Análise da viabilidade de alternativas de suprimento descentralizado de energia elétrica a comunidades rurais de baixa renda com base em seu perfil de demanda**. Dissertação de mestrado- Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Coppe, 2006, X, 146 p.

RODRÍGUEZ, C. R. C. **Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Dissertação–Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ROLLAND, S.; GLANIA, G. **Hybrid Mini-Grids for Rural Electrification: Lessons Learned** (Brussels: Alliance for Rural Electrification (ARE) and US AID), 2011.

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

SEVERINO, M. M. **Avaliação Técnico-Econômica de um Sistema Híbrido de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas da Amazônia.** Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE. TD – 027/08, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008, 335p.

SILVA, S. B. **Dimensionamento Ótimo de Sistemas Híbridos, com Geração Fotovoltaica e Célula a Combustível, para Atendimento a Comunidades Isoladas da Amazônia.** Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE. TD – 052/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2010, 132p.

SOLAR ENERGY INTERNATIONAL. 2007. Disponível em: <<http://www.solarenergy.org/courses/disenho-e-instalacion-de-sistemas-fotovoltaicos-conexion-directa-a-la-red-en-linea/>>. Acesso em: 30/03/2015.

SOUZA, A. R. **Conexão de geração distribuída em redes de distribuição.** 108 p. Dissertação - Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2009.

SOTO, D.; ADKINS, E.; BASINGER, M.; MENON, R.; RODRIGUEZ-SANCHEZ, S.; OWCZAREK, N.; WILLIG, I.; MODI, V. **A prepaid architecture for solar electricity delivery in rural areas ICTD'12:** Proc. 5th Int. Conf. on Information and Communication Technologies and Development (Atlanta, GA) pp 130–8, 2012.

SUCIPTA, M. S.; KIMIJIMA, K. **Suzuki Análise de desempenho do sistema híbrido.** SOFC-MGT com combustível de biomassa gaseificada J Fontes de Energia, pp. 124-135, 2007.

SUGINOTO, L. **“Luz para os esquecidos”.** Jornal da Unicamp, ano XVII. Campinas, 2002.

TAYLOR, C. F. **Análise dos Motores de Combustão Interna.** Editor Edgar Blücher, Vol. 2. São Paulo, 1988.

TEIXEIRA, F. N.; VENTURINI, O. J.; ARRIETA, R. P.; LORA, E. E. S. **Geração Distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais/** Electro Eduardo Silva Lora, Jamil Addad, coordenadores. - Rio de Janeiro: Interciência, 2006 Projeto “Oportunidades e Barreiras da Geração distribuída para a Distribuição de Energia Elétrica”. 2006.

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres.** Recife, PE. Edição Universitária da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). 111 páginas. 2000.

TOLMASQUIM, M. T.(Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil.** Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003.

TRIVINOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais : a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo : Atlas, 1987.

UDDIN, S.; TAPLIN, R.; YU, X. **Energy, environment and development in Bhutan Renew.** Sust. Energy Rev. 11 2083–103. 2007.

VAN ELS, R. H.; DINIZ, J. D.; SOUZA, J. S.A.; BRASIL, A.C.P.; SOUSA, N.A.; KROETZ, J. **Contribuição das micro Hidrelétricas Centrais: Eletrificação rural em Santarém.** Rev. Bras Energia, pp. 35-46. 2010.

VENTER, R. **Renewable Energy Mini-Grid Info graphic Illustration.** Retrieved from Roelof Venter Illustrator, 2012.

VERA, L. H. **Programa Computacional para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

WADE – **World Alliance for Decentralized Energy.** World survey of decentralized energy 2006. [S.l.]: WADE, 2006. Disponível em: <www.localpower.org>. Acesso em: 26 mai. 2007.

WALTER, A. C. S. **Geração Distribuída de Energia Elétrica,** In: Curso de Especialização sobre o Novo Ambiente Regulatório, Institucional e Organizacional dos Setores Elétricos e de Gás Natural – CENARIOS 2000. Módulo VI. Produção de Energia Elétrica. EFEI/USP/UNICAMP. p. 242-259. Set, 2000.

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

ZERRIFFI, H. **Eletrificação Rural: Estratégias para Geração Distribuída.** Springer, 2011.

ZOULIAS, E.I.; GLOCKNER, R.; LYMBEROPOULOS, N.; TSOUTSOS, T.; VOSSELER, I.; GAVALDA, O.; MYDSKE, H.J.; TAYLOR, P. **Integration of hydrogen energy technologies in stand-alone power systems analysis of the current potential for applications.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 10, 432-462, 2006.