

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ATENDIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DOMICILIAR PARA COMUNIDADES
ISOLADAS DE BAIXA POTÊNCIA DO INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ
ATRAVÉS DE UM GASEIFICADOR DE 1KW

Osmundo Batista de Brito Neto

DM 25 / 2006

UFPA / CT / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Osmundo Batista de Brito Neto

ATENDIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DOMICILIAR PARA COMUNIDADES
ISOLADAS DE BAIXA POTÊNCIA DO INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ
ATRAVÉS DE UM GASEIFICADOR DE 1KW

DM 25 / 2006

UFPA / CT / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Osmundo Batista de Brito Neto

ATENDIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DOMICILIAR PARA COMUNIDADES
ISOLADAS DE BAIXA POTÊNCIA DO INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ
ATRAVÉS DE UM GASEIFICADOR DE 1KW

Dissertação submetida à Banca
Examinadora do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da UFPA para a
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Elétrica

UFPA / CT / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2006

B862a Brito Neto, Osmundo Batista de

Atendimento de energia elétrica domiciliar para comunidades isoladas de baixa potência do interior do Estado do Pará através de um Gaseificador de 1 KW / Osmundo Batista de Brito Neto; orientadora, Brígida Ramatti Pereira da Rocha.-2006.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2006.

1. Energia da biomassa. 2. Energia elétrica - produção. 3. Energia - fontes alternativas. I. Título.

CDD – 21. ed. 621.04209811

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ATENDIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DOMICILIAR PARA COMUNIDADES
ISOLADAS DE BAIXA POTÊNCIA DO INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ
ATRAVÉS DE UM GASEIFICADOR DE 1KW

AUTOR: Osmundo Batista de Brito Neto

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMA DE ENERGIA
ELÉTRICA.

APROVADA EM 11/12/2006.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Brígida Ramati Pereira da Rocha
(ORIENTADORA – UFPA)

Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Junior
(MEMBRO – UFPA)

Prof. Dr. José Augusto Lima Barreiros
(MEMBRO – UFPA)

Prof. Dr. Sueo Numazawa
(MEMBRO – UFPA)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
(Coordenador do PPGEE/CT/UFPA)

UFPA / CT / PPGEE

DEDICATÓRIA

Dedico este árduo trabalho a meu pai, José Batista de Brito, incansável incentivador em todas as etapas da minha carreira e à minha mãe, Maria de Lourdes da Silva Brito, *in memorian*, pelo exemplo de perseverança e temor a Deus.

À minha querida esposa Oneide, fiel companheira, ajudadora e cooperadora que Deus me deu para juntos caminharmos esta jornada.

Às minhas filhas, Raquel e Sara, presentes de Deus, pela profunda motivação de viver que me propiciam.

Ao meu ex-gerente e amigo Yvonaldo Bento, pelo apoio, sensibilidade ao tema e confiança inspiradora para tornar possível este trabalho.

Aos meus irmãos e amigos Paulo, Kátia, Cássia, Claudia, Fernando Câmara, Adhemar, Dário, Elizabete, Alesandro, Carla, Liduina, Pr. Kim e tantos outros que de diversas maneiras colaboraram para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o Pai, Jesus Cristo e o Espírito Santo, sem sombra de dúvida, o principal personagem para o cumprimento deste trabalho.

À minha orientadora, Profa. Brígida Ramati Pereira da Rocha, pelo incentivo, apoio, sugestões e suporte tecnológico no planejamento e execução da metodologia desenvolvida.

Ao engenheiro Antonio Olavo Fonseca da Rocha, companheiro de pesquisa, que com sua experiência dispôs-se a contribuir para enriquecer este trabalho.

Ao meu amigo e fiel companheiro, engenheiro Fernando Antônio dos Santos Caldas, presente em todos os eventos da minha carreira, pelo incentivo, críticas e sugestões que não me deixaram retroceder.

Ao meu amigo químico, Augusto Saraiva, que com sua experiência e notório saber, incentivou-me nos momentos mais importantes.

Aos membros da Banca do Exame desta Dissertação, Prof. Dr. Sueo Numazawa, Prof. Dr. José Augusto Lima Barreiros e Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Junior.

Ao Instituto Indiano de Ciências, em especial ao Prof. Dr. Sridhar, pela intensa colaboração a este trabalho.

À UFPA, em especial ao Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes, coordenador do PPGEE, pela oportunidade e confiança que me proporcionaram.

EPÍGRAFE

*“Não te furtas a fazer o bem a quem de direito,
estando na tua mão o poder de fazê-lo”*

Rei Salomão (700 a.C)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVO DO TRABALHO	3
1.3. METODOLOGIA	4
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	5
CAPÍTULO 2 - O ATENDIMENTO ENERGÉTICO ÀS COMUNIDADES ISOLADAS NO INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ	7
2.1. INTRODUÇÃO.....	7
2.2. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA O SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS COMUNIDADES ISOLADAS.....	8
2.3. CONCLUSÃO	10
CAPÍTULO 3 - PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS QUE RESPALDAM A UNIVERSALIZAÇÃO DO USO DO SERVIÇO PÚBLICO DE ELETRICIDADE	11
3.1. INTRODUÇÃO.....	11
3.2. LUZ NO CAMPO.....	11
3.3. PROJETO RIBEIRINHAS	12
3.4. PROINFA.....	15
3.5. PRODEEM.....	17
3.6. LUZ PARA TODOS.....	21
3.7. CONCLUSÃO	25
CAPÍTULO 4 - A ENERGIA SOLAR	28
4.1. O SOL COMO FONTE DE ENERGIA.....	28
4.2. A RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA	29
4.3. BREVE HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR.....	30
4.4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - CONVERSÃO ELÉTRICA.....	32
CAPÍTULO 5 - A ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA	36
5.1. A FORMAÇÃO DA BIOMASSA	36
5.2. OS RESÍDUOS COMO FONTE DE BIOMASSA.....	38
5.2.1. RESÍDUOS DO SETOR PRIMÁRIO – AGRÁRIA	39
5.2.2. RESÍDUOS DO SETOR SECUNDÁRIO – DE TRANSFORMAÇÃO	41
5.2.3. RESÍDUOS DO SETOR DE CONSUMO – URBANO.....	42
5.3. HISTÓRICO DOS GASEIFICADORES	43

5.4. GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA SÓLIDA.....	46
5.5. GASEIFICAÇÃO	46
5.5.1. GASEIFICADORES DE LEITO FIXO CONTRACORRENTE	48
5.5.2. GASEIFICADORES DE LEITO FIXO CO-CORRENTE	50
5.5.3. GASEIFICADORES DE LEITO CRUZADO	51
5.5.4. GASEIFICADORES DE LEITO FLUIDIZADO	52
CAPÍTULO 6 - O GASEIFICADOR DE 1 Kg/h (1 KW)	55
6.1. INTRODUÇÃO.....	55
6.2. GASEIFICADOR INDIANO.....	56
6.3. ADEQUAÇÃO DO SERVIÇO AUXILIAR	57
6.3.1. 1ª OPÇÃO DE ADEQUAÇÃO/ADAPTAÇÃO DO SERVIÇO AUXILIAR.....	57
6.3.2. 2ª OPÇÃO DE ADEQUAÇÃO/ADAPTAÇÃO DO SERVIÇO AUXILIAR.....	59
6.3.3. 3ª OPÇÃO DE ADEQUAÇÃO/ADAPTAÇÃO DO SERVIÇO AUXILIAR.....	60
6.4. UTILIZAÇÃO DO GASEIFICADOR	62
6.4.1. APROVEITAMENTO DO GÁS COM O G.G. DESLIGADO	62
6.4.2. TOMADA DE CARGA	62
6.4.3. AUTONOMIA.....	63
6.5. CONCLUSÃO	65
CAPÍTULO 7 - COMUNIDADES ONDE PODEM SER IMPLEMENTADAS O USO DO GASEIFICADOR DE 1 KW.....	66
7.1. INTRODUÇÃO.....	66
7.2. COMUNIDADES NO INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ	66
7.3. PERFIL SOCIOECONÔMICO E DISPONIBILIDADE DE BIOMASSA	70
7.4. COMPARATIVO SISTEMA FOTOVOLTAICO x GASEIFICADOR	72
7.5. CONCLUSÃO	73
CAPÍTULO 8 - CONCLUSÃO GERAL	74
BIBLIOGRAFIA	76

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 - Ilha de Cotijuba-PA - confecção de caixinha de madeira.....	8
Figura 2-2 - Escola Santo Antonio às margens do lago da U.H.E. Tucuruí no Pará .	9
Figura 3-1 - Residência ribeirinha atendida pelo projeto com Painel Fotovoltaico. ...	13
Figura 3-2 - Escola Manoel Patrício atendida pelo PRODEEM em Igarapé Miri-PA.	18
Figura 3-3 - Índices percentuais da exclusão elétrica, por Região. (Censo 2000)	22
Figura 3-4 - Números absolutos da exclusão elétrica rural por Estado da Federação. (Censo 2000)	23
Figura 3-5 - Índices percentuais de não atendimento rural, por Estado da Federação. (Censo 2000)	23
Figura 5-1 - Resíduos da exploração florestal.	41
Figura 5-2 - Resíduos da industrialização da madeira.	41
Figura 5-3 - Sistema de 20 kW instalado em Hosahalli, Índia (Rocha, 2002)	47
Figura 5-4 - Classificação dos tipos de gaseificadores pelo caminho do fluxo de gás e da biomassa.	48
Figura 5-5 - Gaseificador de Leito Fixo Contracorrente.....	49
Figura 5-6 - Gaseificador de Leito Fixo Co-corrente.	50
Figura 5-7 - Gaseificador de Leito Fixo Cruzado.....	52
Figura 5-8 - Gaseificador de Leito Fluidizado.....	54
Figura 6-1 - Descarregamento na UFPA.....	56
Figura 6-2 - Armazenamento na UFPA.....	56
Figura 6-3 - Serviço Auxiliar original.....	56
Figura 6-4 - Serviço Auxiliar original.....	56
Figura 6-5 - 1ª opção de Adequação/Adaptação do AS.....	58
Figura 6-6 - Detalhe Quadro do SA-1ª Opção.....	58
Figura 6-7 - Diagrama da 1ª opção de Adequação/Adaptação do SA	58
Figura 6-8 - Bomba D'água e Exaustor.....	59
Figura 6-9 - Detalhe do ExaustorVentilador – 2ª opção	59
Figura 6-10 - Diagrama da 2ª opção de Adequação/Adaptação do SA	60

Figura 6-11 - Motor automotivo adaptado no eixo do sistema de exaustão original..	61
Figura 6-12 - Diagrama da 3ª opção de Adequação/Adaptação do SA	61
Figura 6-13 - Utilização do fogão a gás.....	62
Figura 6-14 - utilização do fogão a gás e do “lâmpião”	62
Figura 6-15 - Acionamento do GG	63
Figura 6-16 - GG alimentado por gás.....	63
Figura 6-17 - presença de umidade no filtro.....	64
Figura 6-18 - Presença de umidade no filtro	64
Figura 6-19 - Coletor de gotas.....	64
Figura 6-20 - Filtro de areia e carvão	64
Figura 7-1 - Escola Margarida de Freitas, Barcarena-PA.....	67
Figura 7-2 - Sr. João Amaral Comunidade Quilombola S. Benedito – Acará-PA	67
Figura 7-3 - Biomassa tratada como lixo	68
Figura 7-4 - Máquina manual de processar o açaí	68
Figura 7-5 - Confecção de caixas de madeira.....	69
Figura 7-6 - caixa de madeira.....	69
Figura 7-7 - Serraria “caseira”	69
Figura 7-8 - Produção de Farinha-artesanal.....	69
Figura 7-9 - Chegando em Igarapé Miri	70
Figura 7-10 - Exposição em Praça Pública	70
Figura 7-11 - Planta baixa de uma residência referencial	71
Figura 7-12 - galhos, gravetos e folhas - LIXO	72
Figura 7-13 - galhos, gravetos e folhas - LIXO.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - Resultados do PRC-PRODEEM - junho de 2006 (Eletronorte, 2006)...	21
Tabela 3-2 - Comparativo do custo em R\$/W dos programas pesquisados.	27
Tabela 5-1 - Tipos de resíduos.....	39
Tabela 6-1 - Cargas assumidas pelo GG	63
Tabela 6-2 - Potência, Tensão, Corrente e Energia observados no GG	63
Tabela 7-1 - Quadro de Carga para a residência referencial	71
Tabela 7-2 - Atendimento por Painel Fotovoltaico.....	73
Tabela 7-3 - Atendimento por Gaseificador de 1 KW	73

RESUMO

No Pará, quase 21% de sua população, não tem acesso ao uso da energia elétrica na sua residência. Neste universo está o público alvo deste trabalho que são as comunidades isoladas. Dado a extensão territorial e a extensa bacia hidrográfica do Estado do Pará, estas comunidades dificilmente serão atendidas por extensão da rede de distribuição.

A proposta deste trabalho consiste na sugestão de uso do caroço de Açaí como biomassa para um gaseificador indiano de 1 Kg/hora, co-corrente e topo aberto, adaptado e adequado às especificidades da região; o sistema de gaseificação é acoplado a um gerador de 2 KVA (Diesel ou Gasolina), para suprir com energia elétrica as comunidades isoladas, onde já existe a biomassa como resultado do processamento do Açaí e que vem sendo tratada como lixo.

Neste contexto, foram pesquisados os programas governamentais que podem respaldar esta proposta, utilizando-a como uma das muitas opções de atendimento de energia elétrica através das fontes alternativas.

PALAVRAS-CHAVE: Gaseificação
Biomassa
Eletrificação rural
Comunidades isoladas

ABSTRACT

In Pará State, almost 21% of its population has no access to use of electric energy in their residence. To this universe belongs the target audience from this report, that are the isolated communities. Due the large territorial extension and hydrographic basin in Pará State, this communities will have many difficulties to be served by the extension of distribution network.

The proposal of this report consists in the use of the Açaí seed as biomass to an Indian co-current and open top gasifier of 1 Kg/hour, adapted and adjusted to the specifications of this region; the gasification system is connected to a generator of 2 KVA (Diesel or Gas), to supply with electric energy for the isolated communities where already exists the biomass as a result of the Açaí seed processing that is been considered as garbage.

In this context, the governmental programs were examined in order to support this proposal, using the proposed system as one of many options to serve with electric energy by alternative source.

KEYWORDS: Gasification
Biomass
Rural eletrification
Isolated communities

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O momento atual tem evidenciado uma preocupação universal muito grande no que diz respeito ao atendimento pela energia elétrica das necessidades básicas de todo ser humano. O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD atua em diversos projetos no Brasil a fim de reduzir a pobreza. O setor de energia, insumo importante para o crescimento, segundo o PNUD, é uma das áreas de atuação das Nações Unidas. Esses projetos são baseados nos objetivos do milênio, traçados pela ONU. Esta é uma das grandes metas que permeia o setor energético.

No Brasil, existe atualmente cerca de 2,5 milhões de domicílios não atendidos pela rede elétrica, que corresponde cerca de 12 milhões de brasileiros. Destes domicílios, 90% possuem renda familiar inferior a 3 salários mínimos e 80%, ou seja, 2,0 milhões de domicílios, estão localizados em áreas rurais, em particular, naqueles de baixo Índice de Desenvolvimento Humano – IDH

Nestes últimos anos, o Brasil tem vivido difíceis momentos com relação ao suprimento de energia elétrica à sua população. A crise do setor, que vem se prolongando desde a década de 90, é resultado da falta de investimentos. Em busca de soluções, o governo apresentou várias alternativas, entre as quais a desverticalização do setor, passando pela proposta de privatização que não logrou êxito, deixando o setor com um quadro preocupante, ou seja, um grupo heterogêneo em relação à origem do capital das empresas geradoras e transmissoras. Hoje se convive com um grupo de empresas privadas e outras estatais, o que dificulta o estabelecimento de uma regulamentação para o setor.

O governo teve que elaborar um conjunto de leis que pudesse legalizar as ações e garantir o suprimento de energia. Entre elas pode-se destacar a chamada Lei das Concessões que, além de criar condições para participação de capitais privados no setor elétrico, permitiu a concessão aos mesmos para construção de novos projetos mediante licitação. O comércio livre de compra de energia para grandes consumidores é uma dessas inovações.

"Estas inovações definiram o caminho da reforma do setor: licitação de novos potenciais hídricos para criar um mercado competitivo na geração; livre acesso à transmissão e definição de uma malha básica; opção de escolha de supridora de energia aos consumidores livres; determinação das tarifas pelo preço; introdução do Produtor Independente de Energia – PIE; obrigatoriedade de conclusão dos projetos paralisados e criação de mecanismos facilitadores para a privatização" (Cavaliero, 2002).

Os consumidores passaram a ser divididos em cativos e livres. Aos consumidores livres foi dado o direito de escolha de seu fornecedor de energia elétrica e suas transações seriam realizadas no Mercado Atacadista de Energia - MAE. Aos cativos, em função de limites técnicos, o atendimento seria realizado pela concessionária que fisicamente integrasse o consumidor à rede.

Neste contexto, o governo brasileiro acena com a proposta de universalização do atendimento de serviços de energia elétrica através da Lei 10.438/2002, reconhecendo a eletricidade como um direito básico e que deva ser provido a todos. Não obstante, ao contexto de privatização das empresas provedoras dos serviços de eletricidade, que colocam os lucros como ênfase em suas metas, acrescentam-se a condição da sociedade brasileira marcada por profundas desigualdades sociais. “A crise de energia elétrica que afeta o estado brasileiro é indiferente para uma parcela da população brasileira: os que não contam com atendimento de eletricidade em suas residências. Essa é a realidade de milhões de brasileiros no início do século XXI, principalmente aqueles moradores das zonas rurais mais pobres e distantes dos grandes centros urbanos, como as comunidades isoladas da região Amazônica” (Pazzini, 2002).

Na elaboração deste trabalho, foi usada como motivação a discussão do tema “universalização do serviço de energia elétrica”, inserido no contexto atual do sistema elétrico brasileiro, observando a definição de serviço adequado como aquele que satisfaz as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas (Lei 8987/95); assim como, observando os princípios ambientais de auto-sustentabilidade, procurou-se mostrar a importância do papel que pode ser desempenhado pelos recursos naturais renováveis no atendimento das demandas isoladas. Dada sua extensão territorial, quase 15% do território nacional, bem como sua ampla bacia hidrográfica com constituição de várias ilhas, o Estado do Pará leva ampla desvantagem em

relação à maioria dos outros Estados do Brasil no que diz respeito ao atendimento de energia elétrica convencional via extensão de rede pela concessionária para aquelas comunidades isoladas. Sua população é constituída por cerca de 6.192.307 pessoas, as quais estão distribuídas nas áreas urbana e rural por 4.120.693 (66,55%) e 2.071.614 (33,45%), respectivamente (IBGE, 2004). Do total dessa população, 20,97% não é contemplada com o fornecimento de energia elétrica (ANEEL, 2004), sendo que a grande maioria desse percentual representa a população residente na área rural, principalmente nas áreas isoladas, as quais, fazendo-se uma alusão à crise energética de 2001, vivem hoje em um “eterno apagão”.

O não abastecimento dessas áreas deve-se a diversas causas, entre elas as características intrínsecas do próprio meio rural (pequenas vilas dispersas e isoladas, baixa densidade demográfica e de renda, infra-estrutura precária, grande distância dos grandes centros, locais remotos situados muitas vezes em emaranhados de rios, descaso do poder público, etc.) que, somadas com o fator econômico, inviabilizam a tradicional eletrificação por extensão da rede elétrica.

A Lei 10.438/2002, que dispõe sobre a Universalização do Serviço Público de Energia Elétrica e a Resolução ANEEL nº 223/2003, que norteia os Planos de Universalização de Energia Elétrica, delimitando a data da universalização até 2008, proporcionam aos sistemas híbridos para geração de eletricidade que utilizam as fontes de energia renovável uma forma importante e viável para o atendimento descentralizado desse nicho na região Amazônica e, especialmente no Estado do Pará, onde existe um grande número de localidades isoladas sem perspectivas de abastecimento pela via convencional.

1.2. OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um Gaseificador de 1KW (1 Kg/h), de origem indiana, com melhorias, adaptações e adequações às necessidades locais, como uma dentre tantas soluções para suprir o atendimento de energia elétrica para residências ou pequenos empreendedores, nas comunidades isoladas do interior do Estado do Pará, onde não há perspectiva de atendimento pela energia convencional via extensão de rede, destacando-se seu baixo custo, tecnologia simples, fácil manutenção e operação, estimulando um

desenvolvimento sustentável, destacando-se o perfil socioeconômico da comunidade propícia; à tecnologia de geração por gaseificação para obtenção de energia elétrica; aos impactos socioeconômicos e ambientais proporcionados por tais sistemas e à gestão e sustentabilidade dos mesmos.

1.3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para alcance dos objetivos estabelecidos foi desenvolvida visando garantir a universalização do suprimento de eletricidade a todo cidadão em comunidades isoladas no interior do Estado do Pará adotando-se como ponto de partida a pesquisa em um Gaseificador indiano de 1Kg/h, o levantamento do perfil da comunidade a ser implementada e o respaldo legal. A seqüência obedecida foi a seguinte:

- 1) Pesquisa no Gaseificador indiano de 1 Kg/h.
 - a) Avaliação do sistema de serviço auxiliar original do gaseificador indiano;
 - b) Implementação de adequações no sistema original do serviço auxiliar do gaseificador indiano para possibilitá-lo a ser usado dentro das especificidades da região das comunidades isoladas no interior do Estado do Pará;
 - c) Testes em Laboratório da eficiência no gaseificador indiano utilizando-se como combustível o caroço do açaí, casca da castanha e gravetos da espécie conhecida regionalmente como Mata Pasto (*sena tora*);
 - d) Testes em campo com o Gaseificador indiano modificado, utilizando-se como combustível o caroço do açaí, casca da castanha e gravetos da espécie Mata Pasto.

- 2) Pesquisa para levantamento do perfil das comunidades onde podem ser implementadas a instalação de um Gaseificador de 1Kg/h.
 - a) Visita em comunidades do interior no Estado do Pará:
 - Ilhas do Lago da UH de Tucuruí / Microbacia do Rio Caripé;
 - Barcarena – PA: Escola Margarida de Freitas;
 - Acará – PA: Comunidade Quilombola Guajará, S. Benedito, Itacoã e Nazaré;
 - Ilha do Cotijuba – PA;

- Igarapé Miri – PA;
 - Ilha do Cumbú. – PA;
 - Muritucutú – PA.
- b) Levantamento do perfil socioeconômico e disponibilidade de biomassa;
- c) Levantamento dos Programas Governamentais para promoção da universalização;
- d) Pesquisa nos sites do MME, Eletrobrás, Eletronorte e Órgãos de regulação do setor elétrico brasileiro.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em oito capítulos assim distribuídos:

- Capítulo 1 – Introdução

Este capítulo apresenta o cenário contextual em que se encontra o setor elétrico brasileiro durante a elaboração do trabalho, evidenciando seu objetivo como uma dentre tantas soluções para o suprimento por energia elétrica das comunidades isoladas do interior do Estado do Pará, a metodologia aplicada e sua estrutura.

- Capítulo 2 – O atendimento energético às comunidades isoladas do interior do Estado do Pará

Este capítulo destaca as dificuldades inerentes da região que dificultam que o atendimento por energia elétrica nas comunidades isoladas do Estado Pará.

- Capítulo 3 - Programas Governamentais que respaldam a universalização do uso do serviço público de eletricidade.

Este capítulo apresenta vários programas governamentais visando respaldar legalmente o objetivo deste trabalho.

- Capítulo 4 – A Energia Solar

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica e o histórico do aproveitamento da energia solar que serviu de subsídio nas opções estudadas para suprir o serviço auxiliar do Gaseificador indiano de 1Kg/h.

- Capítulo 5 – A Energia a partir da Biomassa

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica e o histórico da obtenção da energia elétrica a partir da biomassa bem como os tipos de gaseificadores.

- Capítulo 6 – O Gaseificador do 1 Kg/h

Apresenta o Gaseificador indiano de 1 Kg/h em sua concepção original acadêmica, as melhorias, adequações, adaptações, testes e utilizações implementadas focadas no público alvo deste trabalho.

- Capítulo 7 - Comunidades onde podem ser implementadas o Gaseificador de 1 Kg/h

Apresenta o perfil socioeconômico de diversas comunidades do interior do Estado do Pará e a disponibilidade de biomassa característica.

- Capítulo 8 – Conclusão

Este capítulo apresenta as considerações finais e a proposta de um Gaseificador de 1Kg/h que atenda as regionalidades e especificidades de algumas comunidades do interior do Estado do Pará.

As bibliografias citadas no texto encerram o presente trabalho.

CAPÍTULO 2 - O ATENDIMENTO ENERGÉTICO ÀS COMUNIDADES ISOLADAS NO INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ

2.1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das civilizações modernas sempre esteve associado ao problema da garantia de suprimento da oferta de energia para atender aos níveis crescentes de demanda. Essa realidade fez com que as pessoas, de um modo geral, associassem energia a desenvolvimento. No entanto, essa correlação somente verifica-se em situações nas quais a energia é tratada como um meio para promover o desenvolvimento e não um fim em si mesmo.

Trazendo essa discussão para o contexto amazônico, pode-se ver as cidades interioranas eletrificadas que, no entanto, encontram-se bastante afastadas do conceito de cidades desenvolvidas. A energia cria condições favoráveis para melhoria dos sistemas de comunicação, saúde, educação, lazer, etc, porém ela não é suficiente para sozinha garantir a oferta desses serviços.

Este trabalho está focado nas comunidades isoladas que estão por se desenvolver, sendo representadas por aquelas populações que não têm acesso à eletricidade ou possui pequenos geradores a diesel. Estas comunidades não recebem os estímulos adequados para evoluir e se consolidarem, sendo muitas vezes utilizadas como instrumento de ações políticas que atendem somente a interesses pessoais, fato esse também comum nas comunidades urbanas do interior. Na Ilha de Cotijuba-PA, conforme Fig. 2.1, a comunidade se organizou para confeccionar caixinhas de madeira para um fabricante de perfume e sabonete. Um sistema de iluminação, uma serra elétrica e uma lixadeira elétrica beneficiariam, consideravelmente, a produtividade, os benefícios e o grau de satisfação daquela comunidade.



Figura 2-1 - Ilha de Cotijuba-PA - confecção de caixinha de madeira

2.2. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA O SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS COMUNIDADES ISOLADAS.

Uma das partes do mundo menos conhecida continua sendo a Amazônia. Isso a encerra no jogo dos riscos que o homem enfrenta neste início de milênio. É grande o desafio apresentado para atendimento em termos energéticos através das diversas formas de energia para as comunidades isoladas. Vê-se que as inúmeras soluções apresentadas são produzidas, em geral, por pessoas que têm pouco ou nenhum conhecimento das reais necessidades da região. Essas comunidades isoladas são formadas, principalmente, por populações tradicionais, tais como, pescadores, seringueiros, ribeirinhos, quilombolas, extrativistas, índios ou descendentes destes. Estes grupos apresentam em comum a carência não só de eletricidade, como também de educação, saúde, infra-estrutura para produção, capacitação para produção, transporte e outras demandas específicas, além da carência econômica que os situa, em geral, abaixo da linha de pobreza, e muitas vezes, da linha de miséria.

A vasta extensão territorial do Estado do Pará com sua extensa bacia hidrográfica, a grande quantidade de rios e ilhas com suas dificuldades peculiares de acesso, que em alguns casos é feito apenas por pequenas embarcações com horários limitados por dependência de maré ou de nível de enchente, constituem as principais dificuldades para tornar em realidade o sonho da universalização do uso da energia elétrica. Em levantamento realizado pelo Programa Luz Para Todos nas ilhas do lago do reservatório da Usina Hidroelétrica de Tucuruí viu-se que uma das condições para atendimento pela energia convencional tipo extensão de rede, era que o vão da travessia do rio não excedesse 100 metros (Leal, 2005). Neste lago, há cerca de 1.600 ilhas e, por essa condição, muitas famílias deixarão de receber este benefício.

A Escola Santo Antonio, às margens do lago da Usina Hidroelétrica de Tucuruí, no município de Tucuruí-PA, conforme apresentada na Fig. 2.2 abaixo, é um exemplo desses casos de não atendimento por causa deste critério.



Figura 2-2 - Escola Santo Antonio às margens do lago da U.H.E. Tucuruí no Pará

A Microbacia do Rio Caraipé, localizada no reservatório da barragem de Tucuruí, é formada por mais ou menos 250 ilhas, habitadas por uma população de cerca de 1.677 pessoas, formando 425 famílias provenientes, em sua grande maioria, da própria região do Rio Tocantins, com tradições do setor produtivo em pesca, caça e lavoura (SECTAM, 2000).

À medida que estas comunidades isoladas vão ficando distantes da sede do município, o acesso vai se tornando cada vez mais difícil a ponto de, naquelas que possuem um pequeno grupo gerador a diesel, chegar-se a consumir 2 a 3 litros de diesel no barco para transportar cada litro de diesel que será utilizado no grupo gerador. Em geral, nessas comunidades, há pouquíssima, ou mesmo nenhuma circulação de dinheiro e as transações são feitas na base da troca de mercadorias. As pessoas têm pouquíssimas ou nenhuma renda e quando questionadas sobre a possibilidade de receberem o atendimento pela concessionária, por qualquer que seja a fonte alternativa, indagam prontamente a célebre pergunta: *“como vamos pagar a conta?”*. De imediato, surgem também alguns questionamentos, dos quais destacamos os seguintes: *“como será feita a emissão da conta de luz?”*, *“quem vai entregá-la?”*, *“e o atendimento de manutenção?”*, *“e o horário de atendimento?”*, *“e os índices de eficiência?”*.

2.3. CONCLUSÃO

A região Amazônica e, em especial o Estado do Pará, ainda apresenta o maior crescimento demográfico no País, com altas taxas de fecundidade e movimento migratório positivo. Viu-se uma grande expectativa nas comunidades visitadas só pela presença da equipe de pesquisadores. A idéia de se obter energia elétrica a partir do uso da biomassa, num primeiro momento, pode dar a impressão de se ter um desmatamento irresponsável ocasionando um impacto negativo sobre os ecossistemas com redução elevada da cobertura vegetal. Todavia, a maioria das pessoas dessas comunidades tem consciência da preservação do meio ambiente e a biomassa proposta por este trabalho para ser utilizada na gaseificação já existe na forma de lixo (caroço de açaí, casca de cacau, serragem, casca de castanha do Pará, galhos, gravetos, folhas, etc.) nessas comunidades. Como o foco deste trabalho é o atendimento preferencialmente residencial por potência relativamente pequena, conclui-se que as questões impeditivas podem ser contornadas considerando-se que, nesse atendimento, o usuário será proprietário dos materiais, equipamentos, combustível e ainda será o operador do sistema.

CAPÍTULO 3 - PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS QUE RESPALDAM A UNIVERSALIZAÇÃO DO USO DO SERVIÇO PÚBLICO DE ELETRICIDADE.

3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são apresentados os programas do governo após a reformulação do setor elétrico brasileiro a partir de 1996, lançados pelo Ministério de Minas e Energia, com o propósito do atendimento de energia elétrica de comunidades do meio rural. Os programas são analisados com o intuito de respaldar legalmente nosso foco principal que é recomendar um sistema de geração para suprir com energia elétrica, por gaseificação, uma residência ou pequena empresa com potência de 1KW.

A análise profunda dos programas governamentais que visam a eficiência energética, a diminuição de consumo e o atendimento a comunidades rurais pode vir a auxiliar o estabelecimento de estratégias para a implementação da universalização, uma vez que a maioria desses programas contempla o uso de fontes renováveis de energia em substituição ao diesel.

3.2. LUZ NO CAMPO

O Programa Luz no Campo foi um programa do Ministério de Minas e Energia que teve como objetivo a retomada do crescimento do setor agropecuário.

O programa Luz no Campo é de caráter nacional objetivando eletrificação rural, através do qual o Governo Federal pretende solucionar os grandes problemas socioeconômicos do meio rural, marcando a parceria dos agentes da sociedade (governo, produtores rurais, cooperativas, etc.) no atendimento às necessidades do homem do campo.

Em linhas gerais, o programa teve como objetivo incrementar a eletrificação rural contribuindo, assim, com a redução da migração do campo para os centros urbanos e

estimular a intensificação das atividades rurais, integrando programas e ações que visem o desenvolvimento rural em suas respectivas áreas de atuação.

O Programa contou com o suporte administrativo e técnico da Eletrobrás e teve como agentes executores as empresas concessionárias de energia elétrica, os governos estaduais, os governos municipais e as cooperativas de eletrificação rural.

O Programa Luz no Campo, em sua concepção, previa a interação com outros programas do governo como PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica/ ELETROBRÁS e o PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (MME, 2002).

O Programa Luz no Campo não atendeu as necessidades das comunidades isoladas, pois foi baseado na possibilidade de extensão de rede de distribuição de energia elétrica e extensão de linhas de transmissão, aproveitando a disponibilidade de energia elétrica já existente em uma região ou que tenha passado a existir com a atuação do PROCEL.

O Programa Luz no Campo não estava voltado para o uso exclusivo de fontes renováveis nem priorizava o atendimento a comunidades isoladas. Em sua estruturação, o Programa Luz no Campo contribuiu com a proposta de universalização do suprimento de energia elétrica, visto que objetivou o suprimento de energia elétrica do meio rural, onde não há disponibilidade de energia elétrica convencional, porém possibilidade de extensão de rede, o qual poderá ser atendido pela concessionária desde que haja possibilidade de retorno financeiro.

3.3. PROJETO RIBEIRINHAS

O Projeto Ribeirinhas, regido pelo contrato ELETROBRÁS/CEPEL – ECE-1350/00, assinado em 31/07/2000, foi concebido pelo CEPEL – Centro de Estudos e Pesquisas Elétricas e financiado com recursos da ELETROBRAS (MME, 2005). A UFAM - Universidade Federal do Amazonas foi contratada para fazer a identificação das comunidades e potencialidade energética. As instalações foram iniciadas em 2001. Inicialmente foram instalados 122 microssistemas solares fotovoltaicos em residências e até novembro de 2006

existiam 171. O projeto objetivava especificamente a implantação de um projeto piloto, com uso de sistemas de energia renovável, com a finalidade de demonstração da viabilidade técnico-econômica e sócio-ambiental de sistemas de geração, baseados em fontes alternativas de energia, com aproveitamento de potenciais energéticos locais para suprimento de energia elétrica das populações ribeirinhas isoladas da região amazônica. O Projeto Ribeirinhas foi lançado e executado antes da proposta de universalização do suprimento de energia elétrica do governo, o que se deu somente com a Lei 10.438 / 2002 e auxiliou a promoção do projeto da universalização da utilização da energia elétrica nas comunidades isoladas ribeirinhas da região amazônica, mais especificamente no estado do Amazonas. A Fig. 3.1 mostra uma residência típica ribeirinha no município de Novo Airão-AM beneficiada por um sistema fotovoltaico de 300W.



Figura 3-1 - Residência ribeirinha atendida pelo projeto com Painel Fotovoltaico.

Na constituição do projeto, as comunidades deveriam atender aos seguintes critérios para participação do mesmo:

- a) Apresentar diferentes níveis de demanda;
- b) Poder utilizar diferentes tecnologias;
- c) Possuir entre 15 e 25 famílias.

O levantamento das informações sobre as localidades constituiu um ponto importante a ser considerado pelo projeto antes de sua implantação. Para isto, os participantes do convênio contrataram o NEFEN – Núcleo de Eficiência Energética da Universidade Federal do Amazonas.

O Projeto Ribeirinhas partiu do princípio para atendimento dentro das individualidades de cada comunidade. Para isto, entendeu-se que um profundo conhecimento sobre os hábitos, costumes, tipo de atividade produtiva, energéticos disponíveis, capacidade de desembolso financeiro e outras informações sobre a comunidade seriam de extrema importância para o planejamento energético.

Para cada comunidade foram levantadas as seguintes seqüências de informações:

- a) Perfil sócio-econômico e energético;
- b) Potencialidades energéticas;
- c) Descrição da demanda energética a ser atendida;
- d) Mapa de localização das comunidades;

Sugestão da(s) tecnologia(s) a ser(em) implantada(s).

O Projeto Ribeirinhas partia do princípio do retorno financeiro dos investimentos, ou seja, pagamento pelo uso da energia consumida, o que vai ao encontro do previsto na resolução ANEEL 456/2000 no que tange ao conceito de consumidor.

Outro ponto de destaque do Projeto Ribeirinhas é o seu entrosamento com outros projetos de pesquisa de vários órgãos do governo em várias esferas tais como o CNPq - Centros de pesquisa ambiental e a UFAM - Universidade Federal do Amazonas, provocando um crescimento das áreas energéticas no meio acadêmico e científico, incentivando a pesquisa e dando suporte financeiro ao mesmo.

O projeto teve a sensibilidade de utilizar organizações já estabelecidas em cada região como se pode observar no primeiro relatório do NEFEN, onde os pesquisadores utilizam os líderes comunitários, a CPT – Comissão Pastoral da Terra e outros atores parceiros, o que contribuiu para a credibilidade e envolvimento do projeto(MME, 2005).

O Projeto Ribeirinhas não se prendeu em nenhuma de suas fases a um único tipo de energético, mas, parte do estudo da melhor viabilidade caso a caso, observando as potencialidades da biomassa, energia solar, eólica, PCH e outras fontes de energia.

O projeto previa o atendimento dos consumidores individualmente, com previsão de cobrança de taxa de consumo mensal de R\$15,00. Este valor foi levantado em pesquisa de

campo através de cálculos realizados com base na quantidade que os membros de algumas comunidades desembolsavam em gastos mensais de energéticos, principalmente na forma de pilhas, velas, querosene e lenha. O processamento da cobrança é trimestral, culminado com a visita de acompanhamento do projeto e manutenção dos equipamentos. É procedimento da CEAM – Centrais Elétricas do Amazonas não cobrar do usuário as despesas advindas de defeitos nos equipamentos, desde que o mesmo notifique a agência do projeto situada na sede de seu município.

O projeto programou a instalação de um microssistema à base de biogás pelo aproveitamento da biomassa por meio de gaseificação na comunidade Apóstolo Paulo, localidade do município de Manacapuru. Vale ressaltar que a CEAM tem experiência de sistemas de geração híbrida, utilizando sistemas solares para atender uma ponta de carga de 50 KW em um sistema de geração térmica a diesel, na comunidade Vila Campinas no município de Manacapuru, localidade de perfil residencial.

O governo estudou a revitalização do Projeto em 2004, verificando a possibilidade do mesmo vir a fazer parte do grande Programa de Universalização do Ministério de Minas e Energia, o Luz Para Todos (MME, 2004).

Por ocasião do Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica, realizado no Rio de Janeiro no período de 17 a 20 de Maio de 2005, a Eletrobrás informou que o atendimento por gaseificação, biomassa sólida, “*tem custo e complexidade elevados e possibilidade de impacto ambiental*” enquanto que o atendimento por sistema fotovoltaico “*é uma solução simples com custos elevados*” (Fleury, 2005).

3.4. PROINFA

O PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica foi instituído pela Lei 10.438 de 26 de abril de 2002, com objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de produtores independentes autônomos, concebidos com base em fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no sistema elétrico interligado, cujos contratos deverão ser celebrados pela ELETROBRÁS (MME, 2002).

O PROINFA, embora venha ao encontro das necessidades emergenciais dos grandes pólos produtores do país, no que tange ao *déficit* de energia elétrica, não atende às necessidades do país como um todo, pois em sua descrição e concepção se destina somente aos sistemas interligados, deixando de fora as regiões atendidas pelos sistemas isolados que são servidos por sistemas que utilizam derivados do petróleo como fonte energética para geração de energia elétrica, embora ricas em biomassa e de grande potencial de energia renovável.

A Lei 10.438/2002, em seu Art 13 cria a CDE – Conta de Desenvolvimento Energético, visando o desenvolvimento energético dos Estados e a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, gás natural e carvão mineral nacional nas áreas atendidas pelo sistema interligado e a promoção da universalização do serviço de energia elétrica em todo território nacional.

O PROINFA lançou a figura do Produtor Independente Autônomo. De acordo com a lei 10.438/2002, em seu Artigo 3º, Parágrafo 1º, Produtor Independente Autônomo é aquele cuja sociedade não é controlada ou coligada de concessionária de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, nem de seus controladores ou da sociedade controlada ou coligada com controlador comum.

No primeiro semestre de 2004, o Ministério de Minas e Energia autorizou a Eletrobrás a fazer a Chamada Pública para empreendimentos interessados em participar do PROINFA, dentro das seguintes condições:

- a) o PROINFA só é aplicável a empreendimentos para o Sistema Elétrico Interligado Nacional conforme Lei 10.438/02 de 26.04.02;
- b) os empreendimentos devem ter Licença Ambiental de Instalação – LI conforme Lei 10.438/2002, Art. 3º, Alínea d;
- c) o prazo para assinatura dos contratos com o Ministério de Minas e Energia foi de 29.04.2004;
- d) a capacidade contratada na I Etapa é de 3.300 MW conforme Lei 10.438/2002, Art. 3º, Alínea a, sendo:

- PCH – 1.100 MW
- EÓLICA – 1.100 MW
- BIOMASSA – 1.100 MW

“A Eletrobrás foi autorizada a contratar 3.300 megawatts (MW) ao ano, durante 20 anos, divididos em partes iguais entre as fontes biomassa – da cana-de-açúcar –, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e eólica, a energia do vento. Como a cota de 1.100 MW de biomassa não foi preenchida até a última chamada, em 28 de dezembro, a Eletrobrás contratou a energia restante de PCH e eólica mais caras do que a produzida com bagaço de cana-de-açúcar, cujo custo vai acabar pesando no bolso do consumidor”. (Côrtez, 2005).

Um dos grandes atrativos do programa foi a condição de assinatura dos contratos:

- “os contratos serão celebrados pela Eletrobrás, com prazo de duração de 15 (quinze) anos e preço equivalente ao valor econômico correspondente à geração de energia competitiva, definida como o custo médio ponderado de geração de novos aproveitamentos hidráulicos com potência superior a 30.000 kW e centrais termelétricas a gás natural, calculado pelo Poder Executivo. Lei 10.438. Art. 3º. Inciso II alínea b”.
- Financiamento pelo BNDES de até 70% do valor dos investimentos,
- Taxa de juros: TJLP + 3,5% a.a.,
- Amortização: em 10 anos,
- Carência: 6 meses de carência após entrada em operação.

O PROINFA já se encontra na segunda fase de sua chamada complementando o valor previsto de incremento de geração com energia renovável. (MME, 2005)

3.5. PRODEEM

O PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios foi instituído em 27 de dezembro de 1994 por decreto presidencial para ser coordenado pelo

Ministério de Minas e Energia – MME. Inicialmente integrava o Programa Avança Brasil como programa 0273: *energia das Pequenas Comunidades*.

Assim como os 388 programas que integravam o Avança Brasil, o PRODEEM teve acompanhamento especial do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão – MPOG, estando isento de constrangimento de orçamento e tinha o controle do fluxo de recursos financeiros para cumprimento dos resultados esperados.

O PRODEEM era também um dos 12 projetos que compunha o Projeto Alvorada, sendo responsável pelos serviços de energia elétrica para execução dos programas sociais nas comunidades remotas, com o propósito de auxiliar o esforço de erradicação da pobreza e melhorar o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH das comunidades mais pobres do Brasil. (MME, 2002).

O programa tem o objetivo de atender as comunidades carentes isoladas, não supridas de energia elétrica pela rede convencional, utilizando fontes renováveis locais em base auto-sustentável, de modo a promover o desenvolvimento social e econômico dessas localidades. A atuação é direcionada para a eletrificação de escolas, postos de saúde, centros comunitários e bombeamento d'água. A Escola Manoel Patrício, localizada no município de Igarapé Miri-PA, conforme mostra a Fig. 3.2 abaixo, é um referencial dentre as instalações que foram atendidas pelo PRODEEM.



Figura 3-2 - Escola Manoel Patrício atendida pelo PRODEEM em Igarapé Miri-PA.

O PRODEEM tem a expectativa de vir a atender 20 milhões de brasileiros, em sua grande maioria, na área rural que não estão conectados à rede de distribuição de energia

elétrica. A população não assistida está distribuída em, aproximadamente, 100 mil comunidades, 3 milhões de estabelecimentos rurais, 58 mil escolas públicas, 3 mil comunidades indígenas.

Para alcançar seus objetivos, o PRODEEM utiliza-se de estratégias de sensibilização e apoio da comunidade, autoridades, e órgãos de apoio estimulando a parceria. O Programa utiliza a estratégia de Aculturação Estrutural, processo de convencer autoridades e populações sobre a validade das opções ofertadas pelo Programa para o desenvolvimento da universalização do suprimento de energia elétrica. Ele parte do princípio de que os agentes envolvidos não estão dispostos a assumir qualquer tipo de ônus financeiro, que são céticos sobre o assunto e que, pelo desinteresse por argumentos teóricos, cada microssistema instalado deve atingir seu objetivo de suprimento, sendo assim utilizados como exemplo para envolvimento e convencimento de utilização de outros microssistemas.

O Programa utiliza a estratégia de adotar a estrutura mais eficaz de gestão que possibilite a descentralização de suas atividades e já passou por duas etapas, a primeira em que a responsabilidade do desenvolvimento do PRODEEM em cada estado era do Governo Estadual, e a segunda fase em que as concessionárias do grupo Eletrobrás, a CHESF e ELETRONORTE passaram a gerenciar o processo, embora legalmente ainda fosse de responsabilidade do Governo Estadual (MME, 2005).

Na primeira etapa, pouco evoluiu o programa em seus objetivos devido às dificuldades que as Concessionárias estaduais apresentavam. Porém, na segunda etapa, o programa ganhou velocidade e prestígio junto aos agentes financiadores nacionais e internacionais, dando credibilidade ao Programa. Este fato levou o Ministério de Minas e Energia a propor o repasse de responsabilidade para as Concessionárias da Eletrobrás, ficando a ELETRONORTE com a responsabilidade de implantação do PRODEEM na região Amazônica.

Na estratégia de viabilização do PRODEEM está previsto o desenvolvimento de estudos para medir o potencial de mercado das microrregiões para definir o tipo de produção de energia mais adaptável às características locais e às necessidades dos consumidores. A promoção de programas de treinamento e a capacitação para todos os participantes no mercado também está prevista na concepção do PRODEEM.

O PRODEEM prevê reuniões programadas para a divulgação das informações precisas sobre o assunto, as quais são denominadas Encontro para o Desenvolvimento Energético de Localidades Subdesenvolvidas – ENDENERGE.

Ao exporem sua intenção de participar do PRODEEM, os municípios são cadastrados e classificados para escolha do microssistema (tipo de sistema de geração) a ser implantado. Procede-se a viabilização econômica financeira do mesmo e aguarda-se o momento de sua implantação.

Não obstante a concepção do PRODEEM, tem-se visto a utilização de somente uma forma de geração, a fotovoltaica, independentemente do local a ser contemplado pelo Programa.

Em entrevista realizada em algumas comunidades, pode-se observar certa frustração, pois se convive com um sistema que serve a interesses comunitários, como escola, posto de saúde e centro comunitário que, na maior parte do tempo, fica ociosa, enquanto do outro lado a comunidade apresenta grande necessidade de energia elétrica para sua produção econômica, lazer, informação e entretenimento, além de alimentar uma expectativa de adquirir um desses Kit's de energia em sua residência.

Por iniciativa da ELETRONORTE, em algumas comunidades foi promovido treinamento teórico e prático sobre eletricidade, os equipamentos e tecnologias instaladas na comunidade, visto que o PRODEEM não prevê a manutenção e fiscalização dos sistemas instalados.

A partir de 2005, o PRODEEM começou seu Programa de Revitalização e Capacitação e foi direcionado a integrar-se na universalização com parte integrante do Programa Luz para Todos. A Tabela 3.1 mostra os resultados do PRC-PRODEEM até junho de 2006.

Tabela 3-1 - Resultados do PRC-PRODEEM - junho de 2006 (Eletronorte, 2006)

PRODEEM - PARÁ						
Painel Solar	Revitalizados	Pendentes	Furto	Remanejados	Recolhidos	Total
1) Kit Energia	323	443	77	128	7	978
2) Bombeamento	23	44	4	0	1	72
Total	346	487	81	128	8	1050

Está prevista para o programa uma fase chamada de produtiva, onde haverá o atendimento residencial com um sistema de energia alternativa.

O PRODEEM é baseado principalmente nos sistemas fotovoltaicos, e se implantou utilizando seis Fases: I, II, III, IV, V e bombeamento (Galdino, 2002).

O objetivo maior é a obtenção da sustentabilidade ao longo do tempo dos sistemas fotovoltaicos através do repasse da responsabilidade para a concessionária local, de recursos municipais ou mesmo de recursos das próprias comunidades.

Outro tipo de experiência com sistemas fotovoltaicos fora do programa PRODEEM foi desenvolvido pela COPEL- Companhia Paranaense de Energia, que idealizou um programa com um ponto central de geração fotovoltaica, como uma usina de geração de corrente contínua, dessa forma facilitando e diminuindo o gasto com deslocamento da equipe de manutenção. Este programa funcionaria com o princípio de recarga de baterias para consumidores que possuíssem sistemas elétricos com fonte de corrente contínua (baterias). Assim, pagando uma taxa, cada consumidor leva sua bateria para recarga ao local onde a concessionária instalou os sistemas fotovoltaicos, eliminando assim a inadimplência de pagamento do serviço prestado. Um dos problemas que ocorre neste programa é o tempo de cerca de um dia para recarga, tendo em vista que o usuário só dispõe de uma bateria. (Santos, 2002).

3.6. LUZ PARA TODOS

O LPT é um programa governamental que foi instituído em 2003 com objetivo de dar celeridade à universalização com o grande desafio de acabar com a exclusão do uso da

energia elétrica no país. O programa LUZ PARA TODOS tem o objetivo de levar energia elétrica para mais de 12 milhões de pessoas até 2008. Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com participação da Eletrobrás e de suas empresas controladas, atenderá a uma população equivalente aos estados do Piauí, Mato Grosso do Sul, Amazonas e do Distrito Federal. A instalação da energia elétrica até os domicílios será gratuita para as famílias de baixa renda e para os consumidores residenciais com ligação monofásica e consumo mensal inferior a 80kWh/mês. As tarifas serão reduzidas, como previsto na legislação.

O programa está orçado em R\$ 7 bilhões e está sendo feito em parceria com as distribuidoras de energia e os governos Estaduais. O governo Federal participa com 5,3 bilhões ao programa. O restante é partilhado entre governos Estaduais e agentes do setor. Os recursos Federais virão de fundos setoriais de energia - a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e a Reserva Geral de Reversão (RGR).

O mapa da exclusão elétrica no país revela que as famílias sem acesso à energia estão majoritariamente nas localidades de menor Índice de Desenvolvimento Humano e nas famílias de baixa renda. Conforme mostra a Fig. 3.3 abaixo, cerca de 90% destas famílias têm renda inferior a três salários-mínimos e, 80% estão no meio rural. Na Região Nordeste está a maior concentração de domicílios não atendidos, cerca de 58%, seguido pela Região Norte com 23%, Região Sudeste com 12%, Sul com 7% e Centro-Oeste com 6%.

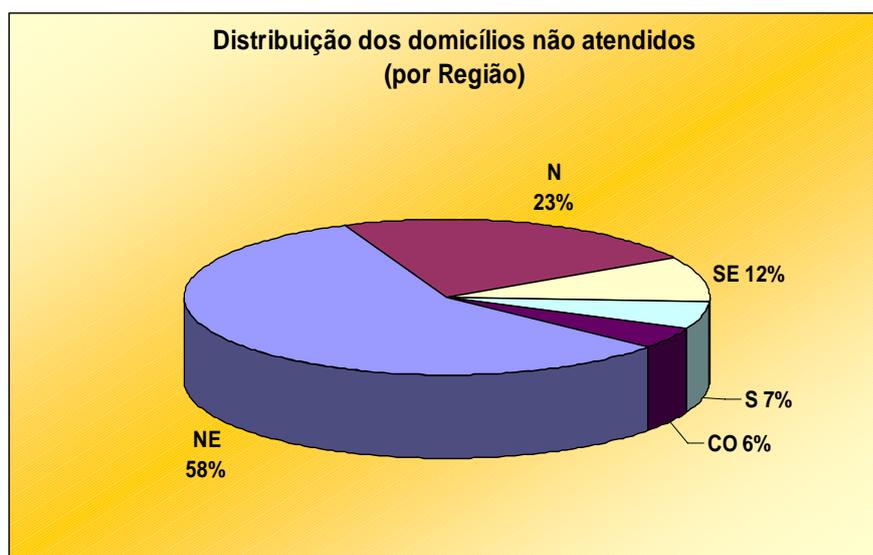


Figura 3-3 - Índices percentuais da exclusão elétrica, por Região. (Censo 2000)

A Fig. 3.4 abaixo, conforme o Censo 2000, mostra que o Pará aparece em 3º lugar no mapa da exclusão elétrica rural entre os estados do Brasil com quase 250.000 domicílios sem acesso.

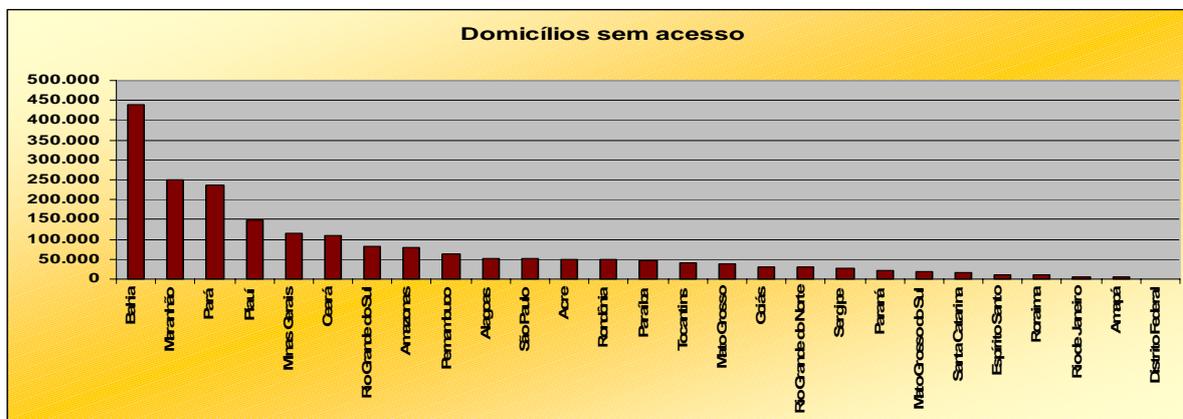


Figura 3-4 - Números absolutos da exclusão elétrica rural por Estado da Federação. (Censo 2000)

Em termos de índice de exclusão elétrica, o Pará apresenta o 5º maior índice percentual de não atendimento rural do Brasil chegando a mais de 60% conforme mostra a Fig. 3.5 abaixo.

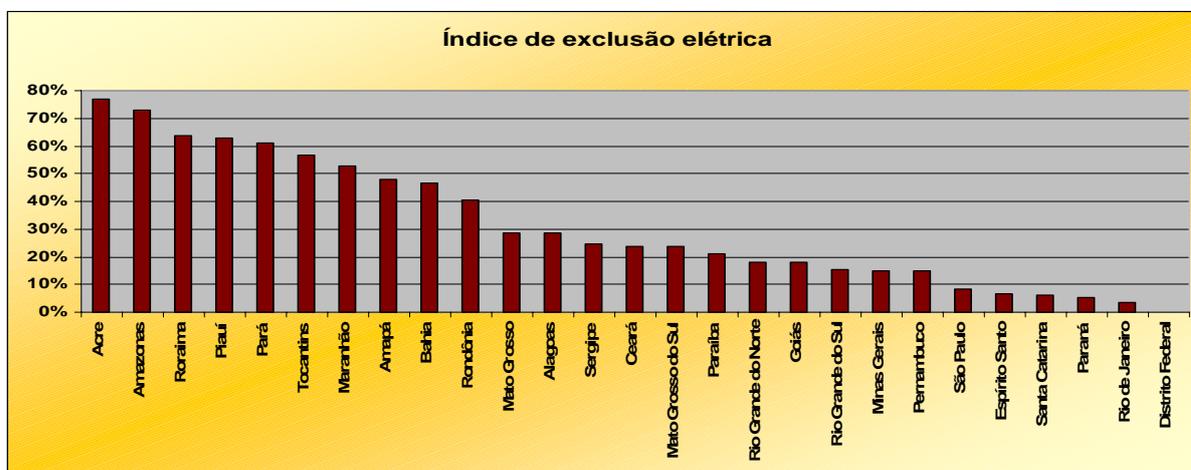


Figura 3-5 - Índices percentuais de não atendimento rural, por Estado da Federação. (Censo 2000)

Por isso, o objetivo do governo é utilizar a energia como vetor de desenvolvimento social e econômico destas comunidades, contribuindo para a redução da pobreza e aumento da renda familiar. A chegada da energia elétrica facilitará a integração dos programas sociais do governo Federal, além do acesso a serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento.

Com o LUZ PARA TODOS, o governo antecipará, em sete anos, a universalização da energia elétrica no país, seguindo as metas do cronograma de atendimento. Pela legislação atual, as concessionárias de energia teriam prazo até dezembro de 2015 para eletrificar todos os domicílios sem acesso à energia no Brasil.

O programa foi iniciado em todos os Estados brasileiros com a instalação dos Comitês Gestores Estaduais (CGEs). A comunidade de Nazaré foi a primeira atendida pelo LUZ PARA TODOS. Nazaré está localizada no município de Novo Santo Antônio (Piauí), cidade do país com o menor índice de acesso à energia elétrica, onde apenas 8% dos domicílios são atendidos.

A gestão do Programa LUZ PARA TODOS será partilhada com todos os órgãos interessados: governos Estaduais, distribuidoras de energia, ministérios, agentes do setor e comunidades. Com os governos Estaduais foram assinados protocolos de adesão ao programa. Além de participarem da gestão do programa, os governos Estaduais também entrarão com recursos para a eletrificação das comunidades.

O Programa contará com uma Comissão Nacional de Universalização (CNU), coordenada pelo Ministério de Minas e Energia e integrado pela Casa Civil e pelos Ministérios de Desenvolvimento Agrário, Agricultura, Pecuária e Abastecimento Extraordinário da Segurança Alimentar, Integração Nacional, Educação, Saúde, Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia, Indústria e Desenvolvimento, Comércio Exterior e também pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e o Fórum de Secretários de Energia. O CNU estabelece ações interministeriais para o desenvolvimento das comunidades rurais de acordo com as políticas do Governo Federal.

A estrutura executiva do Programa é composta pelo Comitê Gestor Nacional (CGN) e pelos Comitês Gestores Estaduais (CGEs).

O CGN é formado pelo Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e suas empresas controladas (Furnas, Chesf, Eletronorte, Eletrosul e CGTEE), Aneel, Abradee (Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica), OCB (Organização das Cooperativas Brasileiras), Fórum dos Secretários Estaduais de Energia e pelos Coordenadores Regionais do

Programa. Sua função é coordenar, fiscalizar e acompanhar as ações do Programa em todo o país.

O CGE é integrado pelo Ministério de Minas e Energia, agências reguladoras estaduais, distribuidoras de energia elétrica, governos Estaduais, prefeituras e representantes da sociedade civil. Este comitê acompanhará de perto o andamento do programa e o cumprimento das metas estaduais de universalização.

O programa contará também com a figura de agentes comunitários, que terão a responsabilidade de ajudar a identificar as demandas e as vocações produtivas da região, informar sobre o programa, prestar assistência e orientar sobre o uso da energia e também auxiliar na fiscalização.

O Programa observará, sempre que possível, as seguintes prioridades:

- Projetos de eletrificação rural que atendam as comunidades atingidas por barragens de usinas hidrelétricas;
- Projetos de eletrificação em assentamentos rurais;
- Projetos de eletrificação rural em municípios com baixo índice de atendimento em energia elétrica;
- Projetos de eletrificação rural em municípios com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH);
- Projetos de eletrificação rural em escolas públicas, postos de saúde e poços de abastecimento d'água;
- Projetos de eletrificação rural que enfoquem o uso produtivo da energia elétrica e que fomentem o desenvolvimento local integrado;
- Projetos de eletrificação rural das populações do entorno de unidades de conservação ambiental;
- Projetos de eletrificação rural oriundo de demandas coletivas.

3.7. CONCLUSÃO

Todos os programas citados têm como objetivo atender àqueles brasileiros que, infelizmente, até o presente momento não foram atendidos pelo suprimento de energia elétrica ou estão atendidos de maneira precária.

Considerando que é o objetivo deste trabalho apresentar uma proposta de atendimento de energia elétrica por um Gaseificador de 1 KW, o Programa Luz no Campo não o respalda, tendo em vista que sua concepção não está voltada para o uso exclusivo de fontes renováveis nem prioriza o atendimento a comunidades isoladas. O Projeto Ribeirinhas respalda esta proposta e pode ser extremamente enriquecido com a opção de atendimento de energia elétrica utilizando-se de um Gaseificador de 1 KW (1 Kg/h). No momento, como projeto piloto, sua atuação é no estado do Amazonas, podendo ser estendida a outro estado e enriquecido com a opção de uma fonte geradora de 1 KW por gaseificação, pode vir a tornar-se uma solução de referência para toda região Amazônica. A magnitude do PROINFA inibe a opção de atendimento por apenas 1KW. Em sua descrição e concepção, se destina somente ao sistema interligado, deixando de fora as regiões atendidas pelos sistemas isolados que utilizam derivados do petróleo como fonte energética para geração de energia elétrica, embora ricas em biomassa e de grande potencial de energia renovável. Através do PRODEEM, o atendimento por sistemas fotovoltaicos obteve maior expressão com a necessidade de se atender a uma fatia da população que não participava do atendimento do serviço de eletricidade. A eletrificação por meio de sistemas fotovoltaicos, embora simples, é bastante onerosa. As experiências registradas no Brasil mostram que este atendimento necessita de diversas intervenções de manutenção, devido a limitação de uso não obedecida pela maior parte dos usuários e os diversos casos de defeitos das unidades inversoras. Como os contratos assumidos pelas empresas do convênio do Ministério de Minas e Energia do programa PRODEEM não previam a manutenção dos sistemas, aos poucos as unidades instaladas foram perdendo a sua função. Os programas em que as empresas assumiam a responsabilidade de manter os sistemas funcionando, não conseguiram cumprir o acordo, visto que, os casos de manutenção foram crescentes, sobrecarregando as equipes de manutenção. Ao tentar transpor esta dificuldade, as empresas começaram a desenvolver programas para o repasse de conhecimento para a comunidade local com a finalidade de que a mesma assumisse a manutenção corretiva dos equipamentos. Mesmo assim, o programa continuou prejudicado porque a equipe local identificava o problema, mas ficava impossibilitada de resolver, porque não encontrava as peças de reposição no mercado local. Outro ponto a ser destacado no programa de eletrificação com uso de sistemas solares é a sustentabilidade do mesmo, visto que não existe um valor de tarifa definido a ser cobrado do consumidor, que seja compatível com o poder econômico da população e rentável para a concessionária. Além disso, esses programas não prevêm a inserção de atividades produtivas no próprio dimensionamento do

sistema, o que inviabiliza a sua inclusão posterior e, portanto, inviabiliza a adoção de programas de geração de renda que melhore as condições de vida dessas populações.

No PRODEEM, há uma fase chamada produtiva, o que permite o atendimento residencial com um sistema de energia alternativa. Assim sendo, este programa também tem os subsídios necessários para respaldar esta proposta.

No que tange à universalização do acesso e uso da energia elétrica, o programa Luz Para Todos tem conseguido bons resultados, todavia não se podem ignorar as dificuldades inerentes à decisão. A escolha da tecnologia adequada é, sem dúvida, uma dos maiores desafios a ser vencido, pois é certo que não se tem um único tipo de tecnologia que atenda às diferentes particularidades de cada localidade. O programa Luz Para Todos possui, em sua concepção, subsídios necessários e suficientes para respaldar esta proposta. Com o programa PRODEEM inserido no programa Luz Para Todos fica mais evidente que ambos podem respaldar esta proposta em todas as suas características. A opção de gaseificação por 1Kg/h pode não ser a melhor e única, mas, ao se considerar a tecnologia aplicada, o custo do equipamento, a manutenção e a operação, certamente ela apresenta vantagens significantes sobre várias experiências testadas e conhecidas do meio acadêmico. Na Tabela 3.2 abaixo, são apresentados dados comparativos do custo em R\$/W do atendimento por energia elétrica pelos programas pesquisados.

Tabela 3-2 - Comparativo do custo em R\$/W dos programas pesquisados.

PROGRAMA	custo da UC		
	P.nominal-W	Custo em R\$	R\$/w
Projeto Ribeirinhas	300	2.500,00	8,3
Projeto Ribeirinhas(1)	1000	35.810,00	35,81
Prodeem	1000	38.690,00	38,69
Luz Para Todos (2)	150 (3)	4.392,00	29,28
Gaseificador de 1 kW	1000	12.220,00	12,22

(1) simulação do Projeto Ribeirinhas para 1KW

(2) atendimento por extensão de rede

(3) Potência média para um consumo de 80KW h/mês a 137 KW h/mês

CAPÍTULO 4 - A ENERGIA SOLAR

4.1. O SOL COMO FONTE DE ENERGIA

O Sol é uma estrela formada por diversos elementos em estado gasoso (principalmente hidrogênio), com um diâmetro de 1,4 milhões de Km. Em seu interior existem elevadas pressões com temperaturas altíssimas que produzem, de forma espontânea e ininterrupta, um processo de fusão nuclear, sendo este a origem da energia solar, que se dissipa com uma potência de $3,7 \times 10^{14}$ TW.

Esta energia vem sendo proporcionada pelo Sol por cerca de 6.000 milhões de anos e ainda existe quantidade de hidrogênio suficiente em seu núcleo para manter o ritmo atual de dissipação de energia durante, no mínimo, mais outros 8.000 milhões de anos, sem mudanças significativas em seu aspecto ou comportamento, pelo que se pode considerá-lo como uma fonte inesgotável de energia.

Nem toda a energia emitida pelo Sol chega na Terra, visto que esta constitui somente uma superfície captadora insignificante, situada a 150 milhões de Km. A potência interceptada pela Terra, 173.000 TW, representa uma parte muito pequena daquilo que é emitido pelo Sol. Mesmo assim, essa potência é aproximadamente 10.000 vezes maior que a que proporcionam todas as formas de energia que os seres humanos empregam na terra. (JARABO FRIEDRICH, 2000).

Define-se como *constante solar* a quantidade de energia solar recebida por unidade de superfície e unidade de tempo sobre uma superfície perpendicular ao Sol situada no limite da atmosfera, a uma distância média anual Terra-Sol. Seu valor é de 1.353 W/m^2 e representa a energia média que chega na camada mais externa da atmosfera terrestre.

Por outro lado, esta energia corresponde à uma radiação eletromagnética formada por um conjunto de comprimento de onda (λ), cuja velocidade de propagação é de 300.000 Km/s . A decomposição desta radiação origina o chamado *espectro solar*, o qual está formado por três bandas de comprimento de onda, compreendidas entre os seguintes valores:

- Ultravioleta (UV): $\lambda < 0,35 \mu\text{m}$
- Visível: $0,35 < \lambda < 0,75 \mu\text{m}$
- Infravermelho (IV): $\lambda > 0,75 \mu\text{m}$

Cada comprimento de onda transporta uma quantidade de energia, sendo o valor máximo de $0,47 \mu\text{m}$, ou seja, dentro da zona Visível do espectro solar. Em conjunto, a radiação Visível transporta cerca de 47% da energia solar, a radiação Infravermelha, cerca de 46% e a radiação Ultravioleta transporta os 7% restante.

4.2. A RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA

Nem toda a energia expressada pela constante solar chega à superfície da Terra. A radiação solar, ao atravessar a atmosfera terrestre, perde intensidade, uma vez que a distribuição espectral se modifica. Tudo isso é devido a complexos fenômenos de absorção, reflexão e difusão que ocorre nas camadas da atmosfera por ação dos gases que a constituem, o vapor d'água e as partículas em suspensão. Com efeito, o nitrogênio e o oxigênio do ar têm um poder de absorção muito fraco, o ozônio absorve a maior parte da radiação Ultravioleta e tanto o vapor d'água como o dióxido de carbono absorve uma fração da radiação Infravermelha.

Além desses fatores, a diminuição da intensidade da radiação depende da espessura da camada de ar, da situação geográfica do lugar, da época do ano, etc. Isto dá uma idéia da grande complexidade dos elementos que influenciam na intensidade da radiação solar em um determinado lugar.

Tudo isto faz com que a energia que a terra recebe do Sol, a *radiação global*, tenha dois componentes bem definidos: a *radiação direta*, que é a que atravessa a atmosfera sem sofrer mudança alguma (radiação enfocada por um sistema óptico) e a *radiação dispersa*, (também denominada *radiação difusa*), devido à dispersão por parte dos componentes da atmosfera. O *albedo* representa a fração de radiação solar dispersada pelo solo. A radiação dispersa não é enfocada por nenhum sistema óptico.

Com tudo isto, a radiação que chega ao solo é cerca de 900 W/m², valor que equivale a cerca de 2.000 vezes o consumo energético mundial.

A distribuição de energia solar que chega a Terra não é uniforme e os fatores da qual ela depende são, por um lado, a hora do dia, a latitude do lugar e a orientação da superfície receptora e, por outro lado, as condições climatológicas. Os primeiros fatores são perfeitamente calculáveis, porém as condições climáticas só são percebíveis em dados estatísticos.

Por tudo isso, se faz necessário determinar experimentalmente a radiação solar que chega em cada momento a um determinado lugar mediante diferentes tipos de instrumentos. Assim, os **piranômetros** medem a radiação global, os **piroheliômetros** medem a radiação direta e os **heliógrafos** medem a duração da insolação (horas reais de incidência solar).

4.3. BREVE HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

A idéia de utilizar o calor solar é muito antiga. As civilizações orientais, egípcia e grega não se desaperceberam que o Sol era uma fonte inesgotável de energia, porém o baixo nível técnico de que dispunham na época lhes impossibilitaram de utilizá-la em larga escala.

O exemplo mais insólito do uso da energia solar se atribui a Arquimedes que, segundo o historiador Galeno (século II a.C.), utilizou espelhos solares para incendiar a frota romana que atacara Siracusa no ano 212 a.C. Este episódio se considera, no obstante, uma lenda, já que outros historiadores da época não fazem nenhuma menção deste fato em seus escritos.

Não se registra nem se tem conhecimento da utilização da energia solar em toda a Idade Média. Pelo que parece, a energia calorífica solar não teve nessa época outra aplicação e utilização que não fosse para secar produtos agrícolas e a evaporação natural da água do mar para obtenção de sal.

No século XVII, Kircher fez algumas experiências para fazer fogo numa pilha de madeira a 50 m de distância. Um século mais tarde, o cientista francês Buffon, não só voltou a repetir o experimento a uns 60 m utilizando 168 espelhos de 40 cm² de superfície como também chegou a fundir prata e chumbo a distâncias de até 35m. Também no século XVII, o

fundador da Química moderna Lavoisier fez experimentos com fornos solares, porque proporcionavam a fonte de calor mais pura possível, conseguindo inclusive fundir platina a 1.760 °C.

No século XIX, as intenções iniciais para converter a energia solar em outras formas de energia giraram em redor da geração de vapor à baixa pressão para fazer funcionar máquinas de vapor. Mouchot foi o primeiro nesta área, construindo e fazendo funcionar várias máquinas de vapor, alimentadas com energia solar, isto entre 1864 e 1878. As máquinas solares construídas por Mouchot, junto ao crescente interesse popular pelas ciências durante as duas últimas décadas do século XIX, conduziram a um grande desenvolvimento da atividade neste sentido, que também se comprovou pela solicitação de patentes.

Ao final do século XIX, ocorreu, também, certo interesse pela destilação de água, e já em 1874, Harding projetou um sistema que foi construído em Las Salinas (deserto de Atacama, Chile). O destilador ocupava 4.700 m² e produzia até 23 m³/dia de água potável em um dia claro e a uma altitude de 1300 m. Este destilador esteve funcionando durante 40 anos e só foi abandonado quando se construiu uma rede de água potável desde os Andes até Antofagasta.

No início do século XX, se produziram muitos projetos significativos em todo os E.U.A., projetos que pararam nos anos vinte, década de pouca evidência para a energia solar, talvez porque todo o mundo tenha concentrado sua atenção em outros aspectos por alguns anos tão expansivos e prósperos. Por outro lado, na década de trinta veio um notável aumento no interesse pela energia solar em suas diferentes linhas de aplicação. O Japão foi um país com atividade notável nesta área, donde se obteve 39 patentes para aquecedores solares de água do tipo *telhado*, que permitiam ter-se de 100 a 200 litros de água muito quente nas horas vespertinas. Na década de 40 apareceram mais 20 patentes deste tipo. O Japão foi um país que acreditou em seus aquecedores solares de água; já em 1960 se estimava a existência de 250.000 unidades em funcionamento.

Em meados dos anos trinta apareceu uma segunda linha de notável interesse que alcançou seu auge na segunda metade dos anos quarenta: o aquecimento doméstico. Esta nova linha de investigação foi o resultado natural de um intenso interesse no aquecimento por água quente, visto que o provimento da mesma por energia solar podia alimentar o sistema de

radiadores do tipo que já se utiliza em milhões de lares que consumiam outro tipo de combustível. Infelizmente, as previsões acerca dos aquecedores domésticos não chegaram a realizar-se; a dura realidade da economia o fez fracassar.

A energia solar adquiriu um destaque considerável imediatamente após a Segunda Guerra Mundial, alcançando seu apogeu nos E.U.A. entre 1950 e 1960, donde se desenvolveu desde cozinhas solares até máquinas de vapor e alguns dispositivos elétricos que utilizavam a então novidade das células solares. Este interesse diminuiu, bruscamente, na década de sessenta e início da década de setenta, justamente quando ocorreu a crise energética, em 1973, momento no qual todos os países do mundo se propuseram a trabalhar novamente nas diferentes opções de tecnologia solar, tanto em grande escala como as de aplicações domésticas, tentando amenizar, de alguma maneira, os grandes gastos que começavam a gerar as faturas do petróleo e seus derivados.

4.4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - CONVERSÃO ELÉTRICA

Existem dois efeitos que permitem a conversão direta da radiação solar em energia elétrica: O *termoelétrico* e o *fotoelétrico*. No primeiro, a corrente elétrica se produz a partir do calor da radiação luminosa, enquanto que no segundo, é a energia dos corpúsculos constituintes da luz (fótons) que se aproveita para produzir eletricidade.

O efeito termoelétrico apresenta certas variantes, geração termiônica, geração termoelétrica e as que não se mencionará aqui por ser sua aplicação atual quase nula, enquanto que a respeito do efeito fotoelétrico se pode contemplar a geração fotoemissiva, a fotogalvânica e a fotovoltaica. As duas primeiras variantes fotoelétricas não têm muita aplicação, mas a geração fotovoltaica é de grande importância e a conversão direta de energia solar em energia elétrica está baseada quase que completamente no denominado *efeito fotovoltaico*.

O *efeito fotovoltaico* é a produção de uma força eletromotriz em um material semicondutor como conseqüência da absorção de radiação luminosa. Os semicondutores são substâncias de condutividade elétrica intermediária entre um isolante e um condutor. Uma de suas características mais importantes do ponto de vista tecnológico é a existência neles de

dois tipos de portadores de corrente: uns dotados de carga elétrica negativa, constituída de elétrons livres, e outros dotados de carga elétrica igual em módulo, porém de sinal positivo o qual denominamos de buracos. Certos semicondutores apresentam predominantemente condução por buracos e são chamados de **semicondutores tipo p** e outros apresentam predominantemente condução por elétrons e são chamados **semicondutores tipo n**.

Uma qualidade extremamente importante é a resistividade de um semicondutor, independentemente de sua natureza (silício, germânio, etc.), que pode ser baixada adicionando-se pequenas quantidades de impurezas apropriadas, ou inclusive pode-se fazer que um semicondutor tipo p passe a ser tipo n ou vice-versa. Ao processo de adição controlada de impurezas que afetam as propriedades elétricas do semicondutor denomina-se *dopagem*. No silício, o semicondutor mais amplamente usado hoje em dia com fins eletrônicos, as impurezas de fósforo ou arsênio o fazem tipo n, enquanto que as impurezas de bório ou gálio o fazem tipo p. O alto grau de pureza necessário para a obtenção de semicondutores é o motivo fundamental de seu elevado custo.

Quando se constrói um diodo semicondutor (dispositivo eletrônico de propriedades assimétricas de condução, ou seja, conduz em um só sentido) com um semicondutor tipo p e outro tipo n, no plano de separação entre ambos semicondutores (união p-n) existe um elevado gradiente de ambos os tipos de portadores que fazem que estes tendam a abandonar por difusão a região em que são abundantes e viajam para a região em que são minoritários: os elétrons fazem a zona p e os buracos fazem a zona n.

Ao ocorrer isto, deixam na zona próxima da união as cargas fixas, positivas na zona n e negativas na zona p, sem a neutralização que lhe davam as cargas móveis, elétrons e buracos, respectivamente. Tudo isto induz um campo elétrico em ambos os lados da união p-n, dirigido da zona n para a p e que tende a compensar o efeito anterior para manter o sistema em equilíbrio.

Quando sobre um semicondutor incide uma radiação luminosa com energia suficiente para romper os enlaces dos elétrons de valência e gerar pares elétron-buraco, a existência de uma união p-n separa destes pares, enviando os portadores minoritários para a região onde são majoritários devido a seu alto campo elétrico. Um aporte de cargas deste modo afluindo a ambas regiões (elétrons afluindo da zona n e buracos afluindo da zona p) é, em resumo, uma

corrente elétrica que atravessa a união p-n desde a zona n até a zona p e que pode ser entregue a um circuito exterior, saindo pela região p e entrando pela região n.

Assim, uma célula solar fotovoltaica está constituída por um disco monocristalino de silício, dopado em sua superfície superior (a que fica exposta ao Sol), até fazê-la do tipo n em uma espessura de 0,6 μm , enquanto que sua parte inferior deixa-se de tipo p, com espessura de até 0,4mm. Assim se produz uma união p-n paralelo à superfície iluminada da célula.

Para fazer contato elétrico ao semiconductor se colocam duas capas metálicas sobre ambas as faces da célula, porém a da superfície superior em forma de ralo, já que do contrário não seria possível que a luz chegasse ao semiconductor. A corrente fotovoltaica gerada sai pelo contato p, atravessa uma carga externa e volta a entrar pelo contato n.

Em condições de radiação solar de 1 KW/m^2 , uma célula solar em condições ótimas de trabalho proporciona uma potência de $14\text{mW}/\text{cm}^2$ ($28\text{mA}/\text{cm}^2$ a uma tensão de 0,5 V), o que supõe um rendimento de 14%. Se houver variação na iluminação, a corrente da célula varia proporcionalmente e, no entanto, a tensão se comporta de maneira quase invariável. Naturalmente, estes níveis de tensão não são úteis para a maioria das aplicações, porém para se obter um maior nível de tensão, basta conectar um certo número de células em série. Assim, ao conectar-se 36 delas (dimensões normais de 7,6 cm de diâmetro) obtém-se 18 V, tensão suficiente para fazer funcionar equipamentos de 12 V, inclusive com iluminação muito menores que 1 KW/m^2 . Estas 36 células interconectadas e montadas entre duas lâminas de vidro que as protegem das intempéries, constituem o que se denomina **módulo fotovoltaico**.

Uma série de módulos montada sobre um suporte mecânico constitui um **painel fotovoltaico**. Pode-se conectar os módulos de um painel em série ou em paralelo de tal maneira que se obtém quase qualquer valor de tensão e de corrente.

A corrente fornecida por um painel fotovoltaico é corrente contínua, válida para uma série de aplicações, porém não para aquelas aplicações que usam corrente alternada. Neste caso, será necessário dispor de um equipamento eletrônico que converte a corrente gerada pelo painel em corrente alternada ou, inclusive, em corrente contínua de diferentes características da original. Esta fase do processo de aproveitamento da energia solar fotovoltaica se denomina acondicionamento de potência.

Na maioria das aplicações fotovoltaicas de baixa potência, o painel se conecta em paralelo a um acumulador eletroquímico, a bateria, para dispor da energia elétrica armazenada. Entre o painel e a bateria é necessário inserir um diodo em série, denominado diodo de bloqueio, conectado de maneira que permita a saída de corrente do painel, porém que impeça que a bateria se descarregue através do painel na ausência ou deficiência da incidência solar. Enquanto a bateria vai alcançando sua carga máxima, a corrente que vai admitindo é menor, porque o painel tende a aumentar a tensão de saída. Como a tensão da bateria não deve ultrapassar seu valor máximo de carga, temos que introduzir um regulador de tensão que limite a tensão máxima do painel e assim evite danificar a bateria.

CAPÍTULO 5 - A ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA

5.1. A FORMAÇÃO DA BIOMASSA

A maioria dos sistemas desenvolvidos pelo homem para captar a energia solar, apesar de todo esforço investigador dispensado, esbarra na falta de perspectiva economicamente rentável para que se possa aproveitar a energia solar de uma forma maciça. Isto tem feito voltar a atenção para o modelo básico de captação e acumulação de energia solar para as espécies vegetais verdes, selecionados pela natureza ao longo de um processo evolutivo de mais de 3.000 milhões de anos e que tem mantido a vida na Terra até os nossos dias.

Esta forma de captação de energia é a única fonte renovável que permite a si mesmo um armazenamento, o que a diferencia da energia solar direta, da eólica e de outras que tem de concentrar-se e armazenar-se artificialmente o que, sem dúvida, é uma dificuldade. Assim, a matéria orgânica constitui a energia solar armazenada a qual é denominada de **energia da biomassa**.

A formação da matéria viva ou biomassa a partir da luz solar se deve ao processo denominado fotossíntese, graças ao qual se produzem grandes moléculas de alto conteúdo energético cujo custo de armazenamento é nulo e, em princípio, sem perdas.

Mediante a fotossíntese, os vegetais transformam produtos minerais sem valor energético, dióxido de carbono e água, em matérias orgânicas de alta energia, processo que só tem espaço nas plantas verdes, que contêm clorofila, já que este composto é o que possibilita toda a série de reações químicas que ocorrem. Os elementos que as plantas fabricam para si (açúcar, proteínas, gorduras, etc.) e o oxigênio que simultaneamente eliminam, servem, por sua vez, direta e indiretamente, de alimentos constituintes ou energéticos a todos os demais seres que habitam no planeta.

Um importante fator a considerar em todo o processo de conversão energética é o rendimento, ou seja, a fração do total de energia incidente (energia solar) que será convertida na forma de energia de interesse (energia da biomassa). Tendo em conta as reações que governam a fotossíntese, se pode obter o valor teórico do rendimento fotossintético, que

resulta ser de aproximadamente 30 %. Do total de radiação solar que chega a Terra, somente algo em torno de 40% é fotossinteticamente ativa, e deste somente 70% é absorvida pelas folhas, já que o restante é refletido. Assim, a eficácia máxima teórica do processo será algo em torno de 8%. Há também as perdas de energia devido a respiração das plantas (estimadas em torno de 40%) que implicará em um rendimento máximo teórico de transformação de energia solar em biomassa que não chega a 5%.

A realidade é que os valores mais altos que se encontram em condições ótimas de campo são de 3%, enquanto que a medida para o caso de plantas de colheita anual não ultrapassa a 1%.

Embora o rendimento do processo de conversão biológica da energia solar possa parecer baixo, temos a considerar que os sistemas vivos que captam e convertem a energia solar se encontram amplamente distribuídos sobre terras e águas do planeta. Isto cobre uma enorme superfície, o que determina que a quantidade de energia armazenada por fotossíntese seja imensa, algo em torno de 8,5 milhões de TW/h.ano. Esta cifra, apesar de obedecer às estimativas realistas, não deve conduzir-nos a um exagerado otimismo, posto que, existem várias limitações para o uso desta quantidade enorme de biomassa como fonte energética.

Com efeito, cerca de 40% da biomassa que se produz no mundo é do tipo aquático, localizada nos oceanos e, portanto, de difícil reposição. Por outro lado, da biomassa terrestre, boa parte se encontra muito dispersa, o que faz com que custos energéticos de reposição e transporte restrinjam o possível aproveitamento da biomassa produzida em lugares relativamente afastados dos centros de utilização. Finalmente, a existência de vastos campos férteis, a extensão limitada das zonas cultiváveis e o tipo de matérias-primas energéticas em que a civilização atual baseia seu funcionamento impõe certas condicionantes, tanto à produção de biomassa aproveitável como ao estado em que esta pode ser utilizada (JARABO FRIEDRICH, 2000).

Apesar de tudo, mediante o desenvolvimento de uma adequada tecnologia, parece evidente que se pode utilizar o potencial energético da biomassa para atender uma considerável porcentagem da demanda energética atual.

5.2. OS RESÍDUOS COMO FONTE DE BIOMASSA

O desenvolvimento da civilização atual leva consigo uma geração contínua de grandes quantidades de resíduos que estão criando um grande problema dado sua magnitude e suas conseqüências. Tendo em conta que a maior parte desses resíduos é de caráter orgânico, constituindo a chamada biomassa residual, se pode supor que estes apresentam um enorme potencial para a produção de energia.

O potencial energético dos resíduos pode ser lembrado tendo em conta que se produzem cerca de 2 toneladas de resíduos de todo tipo por habitante em um ano com um poder energético de cerca de 9.000 KW/h.ano. Este poder energético permite prever um aproveitamento amplo desta biomassa que, mesmo sem a pretensão de vir a constituir uma matéria-prima, apresenta a vantagem de produzir-se de forma contínua e crescente como conseqüência da atividade humana (JARABO FRIEDRICH, 2000).

O tratamento dos resíduos é, em geral, uma atividade custosa, que até recentemente não foi levado a cabo com eficácia, seja por falta de uma legislação adequada ou por carência de meios econômicos. Não obstante, um estudo focado do possível aproveitamento dos resíduos com fins energéticos nos lugares em que são produzidos mostra que estes têm bastantes vantagens das quais se destacam as seguintes:

- a) Os resíduos já existem como tal, inclusive com um valor econômico negativo como matéria-prima;
- b) A biomassa residual normalmente é concentrada em lugares determinados, o que pode permitir uma economia no custo do transporte;
- c) Com fins energéticos, a utilização de resíduos é um sistema de eliminação com vantagens ambientais;
- d) Alguns métodos de aproveitamento da biomassa residual geram subprodutos valiosos.

Tudo isto faz com que o tratamento da biomassa residual não somente seja necessário, mas que poderia transformar-se em uma atividade de interesse econômico e, fundamentalmente, social devido aos benefícios que seu aproveitamento geraria.

Em geral, pode-se definir os resíduos como aqueles materiais gerados nas atividades de produção, transformação e consumo que não tem alcançado, no ambiente em que são produzidos, um valor econômico que justifique seu uso no mesmo ambiente produtivo.

Existem vários critérios para classificar os diferentes tipos de resíduos, entre os quais destaca-se os de *natureza de sua origem* (agrários, industriais, urbanos), ou de *tipos de materiais que os constituem* (orgânicos, plásticos, metálicos, etc.). Consideram-se em Primário, Secundário e Urbano os setores das atividades humanas que produzem biomassa conforme demonstrado na Tabela 5.1 a seguir:

Tabela 5-1 - Tipos de resíduos

SETOR	ATIVIDADE	RESÍDUOS
Primário	Agrária	Agrícolas, Florestais, da Pecuária.
Secundário	Transformação	Industriais (Indústrias agrárias)
Consumo	Urbana	Resíduos sólidos urbanos (fração orgânica) Águas residuais (Lama de depuradoras)

5.2.1. RESÍDUOS DO SETOR PRIMÁRIO – AGRÁRIA

Os resíduos agrários, consequência do setor primário da atividade humana, subdividem-se em três grandes grupos: agrícolas, florestais e pecuária.

Denominam-se **resíduos agrícolas** a planta cultivada ou porção dela que é preciso separar para se obter o fruto ou para facilitar o cultivo próprio posterior.

Uma grande quantidade dos resíduos agrícolas cresce no solo na forma de raízes, folhas ou frutos não aproveitáveis, e não são utilizados como fonte energética, já que se incorporam no terreno e contribuem para melhorar, consideravelmente, as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Outra fração destes resíduos integra as partes superiores que é necessário separar para facilitar o ajuntamento ou os trabalhos agrícolas. Uma quantidade importante deles é consumida pelo gado, como é o caso das palhas de leguminosas ou alguns resíduos verdes, como os da beterraba açucarada.

Por ultimo, existe uma grande quantidade de resíduos com potencial de interesse industrial e energético, que localmente podem vir a ter alguma utilidade, porém cuja eliminação constitui um problema nos trabalhos de exploração agrícola. Esta última categoria de resíduos, que são os que interessam do ponto de vista energético, se produz, principalmente, nos seguintes cultivos:

- Cereais, originando palhas;
- Frutas e vinhedo, cuja poda anual é uma fonte considerável de material combustível;
- Alguns cultivos industriais como os têxteis e oleaginosas, que deixam como resíduos os talos.

Os **resíduos florestais** estão formados de ramos, cascas, fatias, serragem, folhas, galhos e raízes havendo constituído durante séculos a fonte energética mais importante da humanidade. Os resíduos produzidos nos bosques podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Resíduos de exploração florestal e industrialização da madeira;
- Resíduos de tratamento silvícolas.

Com respeito ao primeiro grupo, pode-se destacar o material residual (galhadas, árvores quebradas ou tombadas) que fica na floresta durante a exploração florestal, conforme mostra a Fig.5.1. Ainda neste grupo, a outra fonte de biomassa, refere-se aos resíduos de processamento mecânico nas indústrias madeireiras (serragem, cascas, maravalhas, aparas, costaneiras, etc.) conforme mostra a Fig. 5.2.



Figura 5-1 - Resíduos da exploração florestal.



Figura 5-2 - Resíduos da industrialização da madeira.

Para cada 1 m³ de madeira retirada de floresta dispõe-se em média de 1,5 a 2,0 m³ de resíduos em forma de galhadas e copas. (NUMAZAWA, 2006).

Com respeito ao segundo, consideram-se os resíduos que se produzem nos tratamentos silvícolas: limpeza dos bosques naturais que são realizadas para melhorar sua aparência e evitar a propagação de incêndios, e clareiras que se efetuam nos lugares que serão povoados. Considera-se a eliminação destes resíduos um problema que, na maioria dos casos, só pode ser resolvido enterrando-o na terra, com a conseqüente perda energética.

Tradicionalmente, os **resíduos da pecuária** constituem a única fonte de nutrientes para os solos agrícolas. Com o surgimento dos fertilizantes sintéticos, lamentavelmente tem-se deixado de utilizar os esterco em grande número de explorações, começando a haver uma separação entre agricultura e pecuária. Por isto, nas explorações intensivas que não dispõe de terreno suficiente, tende-se a recolher os dejetos em diferentes tipos de depósitos e mediante tratamento diversos, eliminá-las ou levá-las a lugares em que se pode ter alguma utilidade. Aqui é onde se pode contemplar a inclusão da tecnologia energética para atender as necessidades locais da exploração pecuária.

5.2.2. RESÍDUOS DO SETOR SECUNDÁRIO – DE TRANSFORMAÇÃO

É muito amplo o número de setores industriais que geram resíduos orgânicos; em muitos desses, a produção real é muito escassa já que, de um modo geral, utilizam-se esses resíduos como subprodutos ou aporte energético e, quando não têm utilidade e procedem de pequenas indústrias, freqüentemente se incorporam aos resíduos sólidos urbanos.

5.2.3. RESÍDUOS DO SETOR DE CONSUMO – URBANO

Os centros populacionais produzem, diariamente, grande quantidade de resíduos que se consideram incluídos em dois grandes grupos: os resíduos sólidos urbanos e as águas residuais urbanas.

O tratamento e a eliminação destes resíduos constituem um problema cada vez maior devido a seu incessante crescimento à medida que aumenta a população e seu nível de vida. Por isso, se tem estudado uma ampla gama de possíveis soluções, destacando-se aqueles métodos de tratamento que permitam a obtenção de energia e a reciclagem desses produtos. Os resíduos urbanos se caracterizam por sua localização, pois parece evidente que sejam os mais aptos para um tratamento em grande escala devido a menor incidência do fator transporte nos custos dos processos de transformação.

Denominam-se **resíduos sólidos urbanos** àqueles materiais gerados em processos de fabricação, transformação, utilização, consumo ou limpeza nos núcleos urbanos, que são finalmente destinados ao abandono. Sua composição é muito variável, o conteúdo de matéria orgânica é algo em torno de 50% e sua produção média não alcança 1 kg/hab.dia, variando a distribuição destes valores em função do tamanho dos núcleos urbanos e do nível de vida da população (JARABO FRIEDRICH, 2000).

E, por fim, denominam-se **águas residuais** aos líquidos procedentes da atividade humana que levam em sua composição grande parte de água e que geralmente são vertidos nos rios e no mar. Sua composição é tanto inorgânica (sais, areias, etc.) como orgânica (materiais biodegradáveis) e sua fração sólida contém uma apreciável quantidade de biomassa residual. Nos últimos anos se tem visto a necessidade de depurar essas águas residuais, processo que consiste, essencialmente, em um tratamento primário de separação da matéria em suspensão seguido de um tratamento biológico com oxigênio, obtendo-se, no final, uma água depurada. Estes procedimentos geram fungos (primários e biológicos) que contém a maior parte da matéria orgânica que estava presente na água residual, que, por conseguinte, possuem uma alta carga contaminante. Sua concentração média em matéria orgânica oscila em redor de 5% e se produzem na razão de 2 l/hab.dia, o que supõe uma geração de biomassa residual de 36,5 kg/hab.ano (JARABO FRIEDRICH, 2000).

5.3. HISTÓRICO DOS GASEIFICADORES

Principais eventos relacionados à gaseificação em ordem cronológica estão descritos na Apostila de Gaseificação do IPT, (IPT, 2000):

- No ano 1.000, o carvão mineral começava a ser substituído pela madeira e pelo carvão vegetal;
- Em 1609, Jean Baptiste Van Helmont utilizou, pela primeira vez, o termo “gás”, associando-o ao carvão vegetal;
- Em 1675, o alcatrão foi produzido por decomposição térmica do carvão (pirólise);
- No século XVIII foram realizadas muitas tentativas para produzir e utilizar o gás de carvão;
- Em 1803, a rua principal de Richmond, Virgínia, USA, foi iluminada por uma lâmpada de gás, instalada numa torre de 12 metros;
- Em 1805, William Murdock utilizou gás para iluminar uma fábrica de algodão em Manchester, Inglaterra;
- Em 1834, Ibbetson produziu “gás de água”, fazendo o vapor atravessar o coque incandescente;
- O gás de água passou a ser usado para iluminação. Somente mais tarde a eletricidade assumiu esta função;
- Acredita-se que o primeiro gaseificador foi construído em 1839, na Alemanha, por Bischof, utilizando na construção o tijolo comum e operando em depressão;
- Ebelman, em 1840, na França, construiu um gaseificador de cinza fundida usando coque e/ou carvão vegetal com cal. Ao ensaiar este gaseificador com vapor de água adicionado ao ar, o fundido se tornou muito pegajoso (aglomerante), o que o obrigou a operar o gaseificador com temperaturas mais elevadas para assegurar a saída de cinza no estado líquido;
- Em 1861, na Alemanha, os irmãos Siemens desenvolveram o primeiro gaseificador de porte industrial, cuja concepção do projeto já apresentava um aperfeiçoamento, principalmente com relação à sua operação. Pode-se observar um alimentador que permite uma operação contínua de gaseificação e o nível de leito é mantido pelo carregamento no

plano inclinado. É possível introduzir agitadores manuais (barras) tanto na horizontal, através de grelha, como na vertical para fragmentar aglomerados e a retirada da cinza é facilitada pelo resfriamento do local abaixo da grelha com injeção de água pelo tubo. O carvão utilizado foi o não coqueificável, como por exemplo, o antracito;

- Os primeiros motores de combustão interna que tiveram aplicação prática queimavam gás de iluminação (mistura de gás de água com gás de pirólise do óleo) tal como a máquina de Lenoir, no ano de 1860;
- Em 1861, Beau de Rochas idealizou o motor de quatro tempos que operou pela primeira vez em 1877;
- No período de 1879 a 1881, na Inglaterra, Dawson desenvolveu projetos para resfriamento e limpeza do gás, desta forma tornou-se possível a aplicação do gás de gaseificador em motores de combustão interna, pequenos fornos e também para uso doméstico. O gerador de gás de Dawson, denominado gasogênio, operando com antracito ou coque, produziu gás com custo menor que o gás de iluminação.
- Em 1883, Young e G.Beilby, usando carvão betuminoso, conseguiram obter 60% a 70% do nitrogênio contido no carvão na forma de amônia e separá-lo do gás combustível.
- Em 1889, Ludwing Mond construiu uma unidade completa com recuperação de amônia, e projetou para esta unidade uma bateria de oito gaseificadores, com capacidade de 200 toneladas de carvão betuminoso por dia. Este tipo de gaseificador ficou conhecido pelo seu nome Mond e com algumas modificações realizadas em 1893, pré-aquecia o ar, trocando calor com os gases produzidos.
- As pesquisas para aperfeiçoar o gaseificador continuaram, e Haber, em 1905, conseguiu sintetizar amônia a partir da mistura de H_2 e N_2 .
- O processo de gaseificação adaptou-se também para a turfa e lignita, suprindo as necessidades de aquecimento nos processos industriais na Europa e nos Estados Unidos.
- Em 1919, Tuly apresentou a gaseificação em dois estágios: no primeiro realizava a carbonização do carvão, obtendo coque incandescente; no segundo, este coque era gaseificado com vapor d'água, obtendo-se um gás com 11 MJ/m^3 . Apesar disto eram realizadas pesquisas para obter gás de carvão com poder calorífico na faixa de 18 MJ/m^3 a 20 MJ/m^3 .
- Neste mesmo período, como opção de combustível industrial, surge o petróleo.

- Em 1923, na Alemanha, a firma Badische Anilin Soda Fabrik (BASF) consegue produzir metanol a partir do gás de síntese (CO e H₂).
- Ainda em 1923, Fischer e Tropsch conseguem produzir produtos liquefeitos tal como “Synthol (mistura de álcoois, aldeídos e cetonas) e petróleo sintético (hidrocarbonetos de cadeia longa sem oxigênio)” a partir de gás de síntese.
- Surgem então os gaseificadores modernos tais como:
 - Winkler na década de 1920;
 - Lurgi em 1936;
 - Koppers – Totzek em 1938, todos utilizando oxigênio puro com objetivo de produzir gás de síntese;
- No processamento do petróleo, obtém-se também gases combustíveis, como o GLP, e com técnicas sofisticadas, empregando catalisadores, os derivados de petróleo são gaseificados em instalações compactas, tal como as usinas de gaseificação de nafta.
- Na década de 1940, com a exceção da Inglaterra, toda a Europa e os Estados Unidos começam a descobrir reservas de gás natural que, devido à sua limpeza e qualidade superior, tornam obsoleto o processo de gaseificação do carvão com ar e/ou vapor de água. Finalmente, em 1960, a Inglaterra também muda sua política com relação ao gás e começa a utilizar com maior intensidade o óleo como combustível. Mais tarde, ela encontra a reserva de gás do Mar do Norte.
- Durante o período da 2ª Guerra Mundial, os países importadores de petróleo recorrem ao gasogênio; mais de um milhão de unidades são construídas na Europa.
- Com a mudança da política comercial do petróleo pelos produtores, no período de 1974 a 1984, é sentida a crise de seu abastecimento e custo, fazendo com que fossem retomadas as pesquisas na área de gaseificação.
- No final da década de 80 e início de 90, com a queda do preço do petróleo, provocada pela percepção que a crise era artificial e política, e pela adoção em larga escala de medidas de conservação por parte dos grandes consumidores e pela descoberta de novas reservas de petróleo, as pesquisas na área de gaseificação sofrem novo refluxo.
- No final da década de 90 e começo do século XXI, problemas relacionados com a questão ambiental, mais especificamente o aquecimento global agravado pela combustão de

combustíveis fósseis, incentiva a retomada de pesquisa em processos de gaseificação e combustão de combustíveis sólidos renováveis, biomassa.

5.4. GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA SÓLIDA

Por biomassa sólida, vamos nos referir aqui à madeira ou a resíduos agrários, tais como ramos, cascas e bagaços de diversas origens. A biomassa sólida pode ser empregada na geração de eletricidade através de sistemas de gaseificação ou queima direta da seguinte forma:

a) Gaseificação:

- Utilização do gás para acionamento de motores de combustão interna;
- Utilização do gás para acionamento de turbinas a gás;
- Utilização do gás em células combustíveis.

b) Queima direta:

- Gerando vapor e acionando máquinas ou turbinas a vapor;
- Acionando motores de combustão externa Stirling.

Das tecnologias acima, as únicas que podem ser consideradas convencionais são aquelas associadas à geração de vapor e à gaseificação para acionamento de motores de combustão interna.

5.5. GASEIFICAÇÃO

O acionamento de motores de combustão interna veiculares com gás de gaseificador é uma aplicação que foi bastante disseminada durante a 2ª Guerra, mas praticamente abandonada assim que foi normalizado o suprimento de derivados de petróleo. Na década de 70, foram instituídos vários programas em países do Terceiro Mundo para incentivar o uso de gaseificação de biomassa em pequena escala, visando o suprimento de eletricidade em localidades remotas. A maior parte destes programas, no entanto, fracassou por dificuldades

operacionais e o alto custo dos gaseificadores, não se justificando seu emprego face aos preços vigentes dos derivados de petróleo.

A gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão).

Usando o gás proveniente da gaseificação é possível operar um motor Diesel, trabalhando-se em modo dual (gás+Diesel). A substituição do Diesel pode chegar à ordem de 80 a 85 % operando a cargas nominais. (MUKUNDA et al.,1993)

A Fig. 5.3 abaixo mostra um sistema de gaseificação de 20 kg/h (20KW) instalado na vila de Hosahalli, Índia.



Figura 5-3 - Sistema de 20 KW(20kg/h) instalado em Hosahalli, Índia (Rocha, 2002)

As Características da comunidade onde o sistema está instalado são:

- 130 km de Bangalore;
- Vila não eletrificada, 43 famílias;
- 4 hectares de plantação de madeira.

Os benefícios oferecidos pelo sistema à comunidade foram:

- Iluminação – Ajuda na educação;
- Fornecimento de água – Menos esforço para as mulheres da região, higiene;
- Fabricação de farinha – Atividade econômica;
- Suprimento de água para irrigação;

- Treinamento para a população operar o sistema; substituição do diesel em 65% em dois anos em média.

Foram idealizados e desenvolvidos, até hoje, diversos tipos de gaseificadores, a fim de atender as peculiaridades das características da matéria prima e as necessidades de gás. A grande maioria dos gaseificadores em comercialização ou em fase de desenvolvimento, atualmente pode ser enquadrada, segundo o tipo de leito utilizado, em uma das duas concepções de gaseificadores: leito fixo (contracorrente, co-corrente e fluxo cruzado) e leito fluidizado (conforme Fig. 5.4 abaixo).

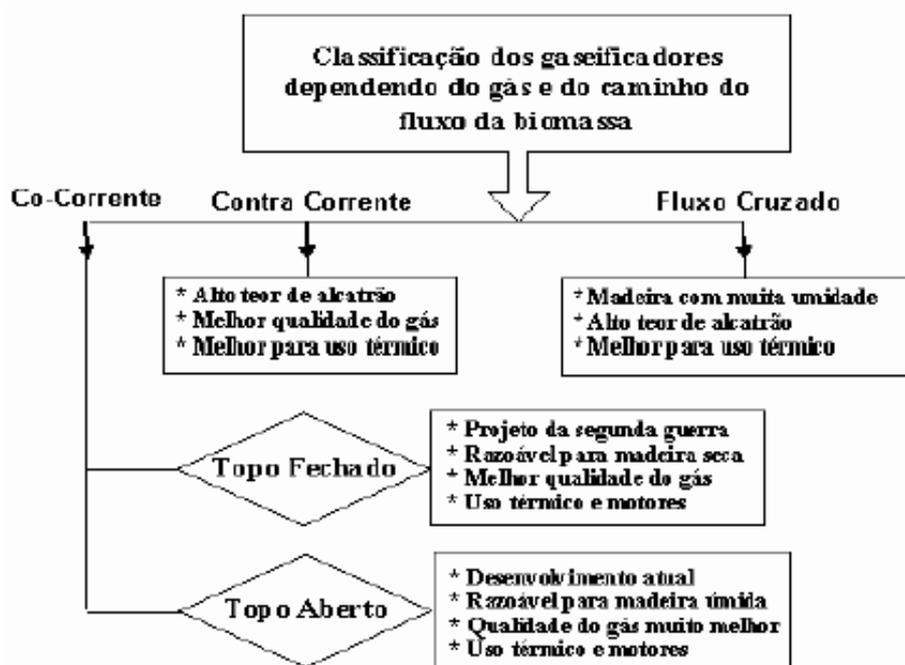


Figura 5-4 - Classificação dos tipos de gaseificadores pelo caminho do fluxo de gás e da biomassa.

5.5.1. GASEIFICADORES DE LEITO FIXO CONTRACORRENTE

É o tipo de gaseificador mais simples existente. Contracorrente se refere ao fato do combustível ser alimentado pelo topo (através de uma válvula rotativa ou porta de alimentação) e desce em contracorrente ao ar ou oxigênio (também misturado com vapor d'água ou CO₂), introduzido pela grelha, localizada na base do gaseificador. A biomassa move-se contra o fluxo de gás e passa sucessivamente pelas zonas de secagem, destilação ou pirólise, redução e oxidação. As primeiras camadas de carvão vegetal ou coque apoiado sobre a grelha entram em combustão intensa, produzindo CO₂ e H₂O a temperaturas elevadas, que

posteriormente são reduzidas a CO e H₂ conforme eles passam pela camada descendente de coque ou carvão, resfriando a temperaturas da ordem de 750 °C. Abaixo desta temperatura as taxas de reações de gaseificação caem significativamente, praticamente cessando. Os gases, porém, ao subirem, continuam trocando calor com a corrente de sólidos, promovendo a sua pirólise, com liberação e incorporação à corrente gasosa da matéria volátil do combustível, e, em seqüência, aquecimento e secagem. Os gases, já frios e com a incorporação da matéria volátil e umidade do combustível alimentado, saem pelo topo do gaseificador. As cinzas do combustível, ainda com uma certa fração de carbono do combustível não convertido a gás, saem pela base do gaseificador, conforme Fig. 5.5 abaixo.

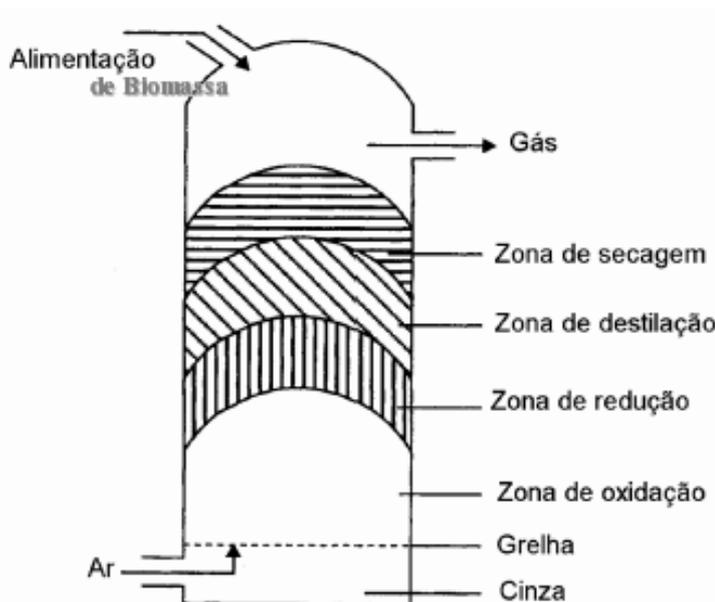


Figura 5-5 - Gaseificador de Leito Fixo Contracorrente.

As maiores vantagens deste tipo de gaseificador são a simplicidade operacional, habilidade de gaseificar materiais com elevado teor de água (até 60% base úmida) e material inorgânico, como resíduo municipal. Além disso, este tipo de gaseificador pode processar partículas relativamente pequenas de combustível e aceitar alguma variação de tamanho no alimentador. As maiores desvantagens são as grandes quantidades de cinzas e o alcatrão gerado na pirólise, que ocorre devido o gás de pirólise não passar para a zona de oxidação e, portanto, não ser consumido. Isto não é muito importante se o gás gerado for usado para a produção direta de calor, onde as cinzas são simplesmente queimadas. Porém, no caso de aplicação em motores de combustão interna, turbinas ou para geração de gás de síntese, deve ser feita uma limpeza rigorosa do gás.

5.5.2. GASEIFICADORES DE LEITO FIXO CO-CORRENTE

O gaseificador co-corrente (queima de alcatrão) se assemelha, construtivamente, ao gaseificador contracorrente, exceto que o ar e o gás fluem para baixo, na mesma direção que o combustível alimentado pelo topo. Esta mudança de sentido faz toda a diferença para um combustível com teor elevado de matéria volátil como a biomassa. Neste tipo de gaseificador, o ar injetado no gaseificador pode queimar até 99,9 % do alcatrão liberado pelo combustível (daí a denominação queima de alcatrão). As zonas são similares às do contracorrente, mas a ordem é um pouco diferente conforme mostra a Fig. 5.6 abaixo.

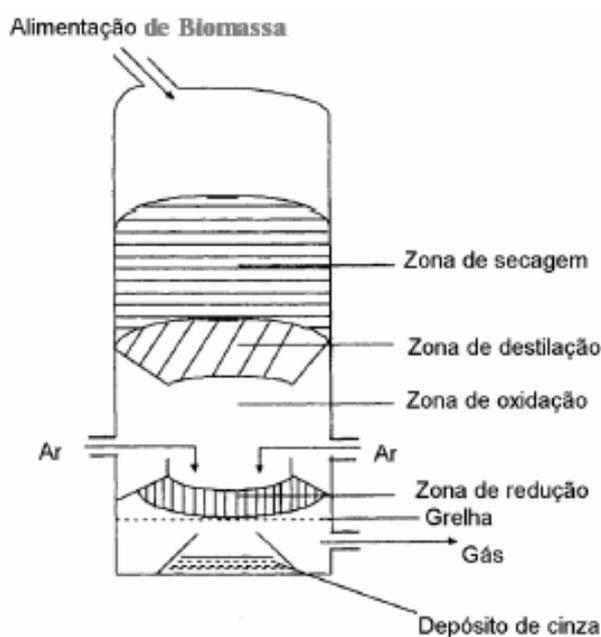


Figura 5-6 - Gaseificador de Leito Fixo Co-corrente.

Como o ar introduzido no gaseificador encontra primeiro a biomassa não queimada, a temperatura máxima ocorre na fase gasosa (não mais na fase sólida), na região de pirólise flamejante. O material sólido localizado logo acima desta região sofre um pré-aquecimento e secagem, principalmente por troca de calor por radiação (em parte por convecção) com a região de pirólise flamejante. Materiais com umidade elevada (acima de 20%) apresentam dificuldades de aquecimento e secagem, devido à evaporação da água contida no interior das partículas, que retarda ou até impede a formação da região de pirólise flamejante, que leva à formação de gases com alto teor de alcatrão.

Conforme a biomassa atinge uma determinada temperatura (acima de 200°C) ela começa a liberar voláteis combustíveis que, ao entrar em ignição com o ar descendente, forma uma chama em volta das partículas, que passam a queimar mais intensamente devido às trocas de calor com a própria chama, até o esgotamento de toda a matéria volátil, restando de 5% a 15 % de carvão vegetal.

Os gases ricos e aquecidos desta região reagem com o carvão vegetal a 800- 1200 °C, gerando mais CO e H₂. Como as principais reações que ocorrem nesta região são endotérmicas, a temperatura do gás cai abaixo de 800 °C, abaixo do qual as reações de gaseificação praticamente ficam congeladas. Uma cinza com algum carbono ainda não reagido (4 a 8 % da massa alimentada) passa através da grelha para disposição. Por isso, a principal vantagem deste tipo de gaseificador é a produção de gás com baixo teor de cinzas adequado para o uso em motores. Na prática, entretanto, um gás livre de cinzas é raramente produzido durante o tempo de vida do equipamento. A principal razão disso parece ser que todos os gases não passam através das zonas mais quentes e, também, o tempo de residência na zona de combustão ser curto. Este tipo de gaseificador é utilizado em aplicações de geração de potência na faixa de 80 a 500 KW ou mais.

As desvantagens do gaseificador co-corrente podem ser resumidas como segue:

- Combustível tem de apresentar baixa umidade (<25% em base úmida) e granulometria uniforme;
- Grandes quantidades de cinzas e particulados permanecem no gás devido sua passagem pela zona de oxidação, onde ele coleta pequenas partículas de cinza;
- A alta temperatura relativa do gás na saída resulta na baixa eficiência da gaseificação. Desta forma, a energia é perdida, a menos que haja aproveitamento (para pré-aquecimento do ar, secagem do combustível, etc.).

5.5.3. GASEIFICADORES DE LEITO CRUZADO

Esses tipos de gaseificadores mostrados na Fig. 5.7 a seguir são adaptados para o uso de carvão vegetal. A gaseificação de carvão resulta em temperaturas extremamente altas (1500°C em diante) na zona de oxidação, que podem levar a problemas com os materiais utilizados na estrutura do gaseificador. A vantagem do sistema reside na pequena escala na

qual ele pode ser operado. É utilizado em países em desenvolvimento, em instalações dentro da faixa de potência de 10KWe. Isto é possível devido a um sistema de limpeza de gás (um ciclone e um filtro). Uma desvantagem é a mínima capacidade de conversão do alcatrão, resultante da necessidade de produção de carvão de alta qualidade.

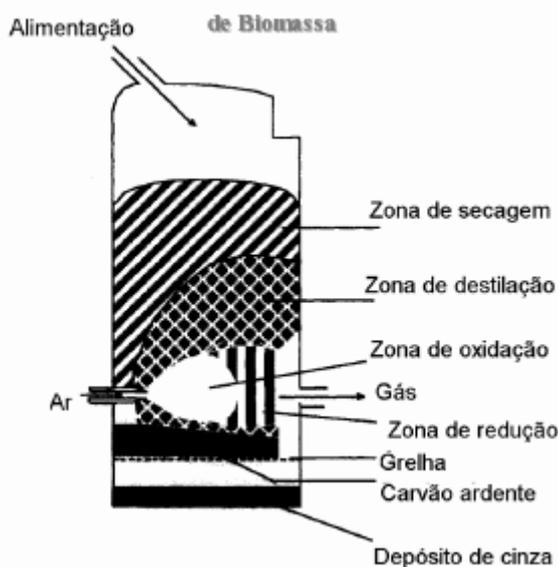


Figura 5-7 - Gaseificador de Leito Fixo Cruzado.

5.5.4. GASEIFICADORES DE LEITO FLUIDIZADO

Nos gaseificadores de leito fluidizado, as partículas do combustível são mantidas suspensas em um leito de partículas inertes (areia, cinzas ou alumina) fluidizadas pelo fluxo de ar, criando melhores condições de transferência de calor e homogeneidade da temperatura na câmara de reação. Nessas condições, a maioria dos voláteis estará em contato com as partículas do leito aquecido, contribuindo para uma queima completa e limpa.

A gaseificação em leito fluidizado foi originalmente desenvolvida para superar os problemas operacionais da gaseificação em leito fixo dos combustíveis com alto teor de cinzas, mas é adequado, em geral, para capacidades maiores de produção de calor (>10 MWth). Comparado com os gaseificadores de leito fixo, a temperatura de gaseificação fica numa faixa relativamente baixa – aproximadamente 750° a 900°C. O combustível é alimentado em um leito quente circulante (leito fluidizado circulante). O leito comporta-se como um fluido e é caracterizado pela alta turbulência. As partículas de combustível

misturam-se rapidamente com o material do leito, resultando em uma pirólise rápida e uma quantidade relativamente grande de gases de pirólise.

As vantagens dos reatores de leito fluidizado em comparação aos de leito fixo são as seguintes:

- Construção compacta por causa da alta troca de calor e das taxas de reações devido à intensa mistura no leito;
- Flexibilidade nas mudanças das características do combustível, como umidade e teor de cinza;
- Níveis de produção de cinzas relativamente baixos.

As desvantagens são as seguintes:

- Alto teor de alcatrão e particulados do gás produzido;
- Altas temperaturas do gás produzido;
- Queima incompleta de carbono;
- Operação complexa por causa da necessidade de controle no suprimento do ar e do combustível sólido;
- Necessidade de consumo de energia para a compressão da corrente de gás;
- Custo mais elevado.

Um esquema do gaseificador de leito fluidizado é mostrado na Fig. 5.8. No esboço, vapor ou oxigênio puro, ao invés do ar são tidos como agentes gaseificantes e fluidizantes. Se a gaseificação for feita somente com oxigênio puro, o poder calorífico do gás produzido será maior por causa da ausência do nitrogênio (presente no ar). Entretanto, a produção de oxigênio puro é cara e, portanto, viável somente em operações de larga escala.

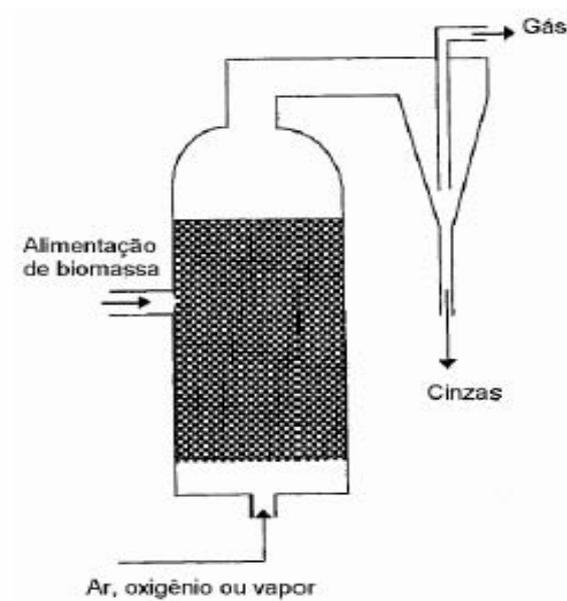


Figura 5-8 - Gaseificador de Leito Fluidizado.

Na escolha do motor para funcionar com gás de gaseificador abrem-se duas alternativas: usar motores ciclo Otto, com ignição por centelhamento, ou motores diesel adaptados. Esta segunda opção é mais empregada nas instalações existentes de pequenos sistemas de geração com gaseificadores porque os motores diesel são mais duráveis e mais comumente disponíveis do que os motores a gás. Por outro lado, os motores diesel adaptados não podem funcionar apenas com o gás do gaseificador. O gás substitui, no máximo, 85% do diesel. Na prática, deve-se contar com um percentual típico de substituição por volta de 70%. O consumo de madeira seca, nestas condições, é aproximadamente 1,2Kg/kWh. O consumo médio de diesel é estimado em 0,1 litros/KWh.

CAPÍTULO 6 - O GASEIFICADOR DE 1 Kg/h (1 KW)

6.1. INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo ocorrida na década de 70 e 80, viu-se ressurgir o interesse em recuperar e aperfeiçoar algumas das tecnologias de gaseificação desenvolvidas até a Segunda Guerra. No National Renewable Energy Laboratory - NREL, U.S.A., em 1982, foi desenvolvido um protótipo de um gaseificador co-corrente que eles denominam de gaseificador co-corrente estratificado, com capacidade de 1 tonelada/dia. O princípio de operação deste gaseificador é mais simples. Neste modelo, o ar ou oxigênio é alimentado pelo topo do leito, deixando de existir uma região de estrangulamento, característico em alguns gaseificadores. Esta unidade operou com ar e oxigênio, gerando um gás com baixo teor de alcatrão e elevado poder calorífico.

Variantes da unidade de gaseificação co-corrente estratificado têm sido construídos e testados desde então, sendo que o modelo desenvolvido por Mukunda et al., do Instituto de Ciência Indiano, IIS, vem apresentando bons resultados em testes de avaliação em laboratórios e em campo na Índia, razão pela qual uma unidade de 20KW (20kg/h) e outra de 1KW (1 Kg/h), este, como sendo o personagem principal deste trabalho, foram trazidos para o Brasil, especificamente para a UFPA para testes de avaliação de desempenho com biomassas locais.

Estes gaseificadores trabalham em depressão e são abertos à atmosfera no topo, por onde entra cerca de 2/3 do ar de gaseificação, razão pela qual também são conhecidos como gaseificadores de topo aberto. Nos modelos preliminares, o corpo do gaseificador era totalmente metálico. Porém, devido ao desgaste acentuado de partes do equipamento, principalmente aquelas localizadas em regiões com temperaturas elevadas correspondentes às regiões de pirólise flamejante e de redução, os períodos de operação, sem manutenção, eram curtos, cerca de 1.000 h. Para aumentar a resistência do equipamento, as partes do gaseificador onde as temperaturas são mais elevadas, foram construídas de material refratário.

6.2. GASEIFICADOR INDIANO

O gaseificador de 1KW foi importado da Índia e entrou no Brasil pelo porto de Santos-SP. Em meados de Julho de 2002 chegou em Belém-PA, via rodoviária e foi descarregado nas instalações da ELETRONORTE, na Avenida Perimetral, onde foi feita a primeira montagem e as avaliações preliminares. Posteriormente foi transferido para o Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA, conforme mostra as Fig. 6.1 e Fig. 6.2 abaixo.



Figura 6-1 - Descarregamento na UFPA



Figura 6-2 - Armazenamento na UFPA

Conforme mostra as Fig 6.3 e Fig. 6.4 abaixo, o serviço auxiliar original deste gaseificador estava composto de uma Bomba D'água de 230W/230Vca-bifásico para fazer a lavagem dos gases, um Exaustor/Ventilador de 180W/220Vca-trifásico para dar velocidade aos gases e um Transformador 1KVA/220Vca-127Vca.



Figura 6-3 - Serviço Auxiliar original



Figura 6-4 - Serviço Auxiliar original

A potência total deste serviço auxiliar representa cerca de 40% da potência nominal do gaseificador. O sistema de serviço auxiliar deve ser ligado antes do gaseificador ser aceso.

O gás gerado leva cerca de 15 a 25 minutos para se tornar apropriado para consumo e combustível no Grupo Gerador HONDA à gasolina de 2KVA/110Vca nele acoplado.

O público alvo deste trabalho é o consumidor residencial ou o pequeno empreendedor da própria comunidade isolada que não possui atendimento de energia elétrica, não tem perspectiva de vir a ser atendido pelo sistema convencional de extensão de rede e possui pouca ou nenhuma renda. Sendo assim, havia dois desafios e um desconforto a ser solucionado:

- Primeiro desafio: *“como alimentar o serviço auxiliar deste gaseificador com uma fonte de energia elétrica que fosse independente deste sistema, pelo menos nos primeiros 20 minutos?”*.
- Segundo desafio: *“como reduzir a potência deste serviço auxiliar de maneira a tornar o sistema mais eficiente?”*.
- Desconforto: *“quando se quisesse usar apenas a gás ter-se-ia que ligar o gerador”*.

6.3. ADEQUAÇÃO DO SERVIÇO AUXILIAR

6.3.1. 1ª OPÇÃO DE ADEQUAÇÃO/ADAPTAÇÃO DO SERVIÇO AUXILIAR

Foi projetado como fonte de geração para esta opção um sistema fotovoltaico composto de uma Bateria de 150Ah, um Módulo Fotovoltaico de 75W, um Inversor CC/CA-800W-12Vdc/127Vca e um Controlador de Carga de 30A para alimentar o Serviço Auxiliar. Este Serviço Auxiliar estava composto de uma Bomba D'água de 246W/127Vca e um Exaustor de 37W/127Vca conforme mostra a Fig. 6.5 e Fig. 6.6 a seguir.



Figura 6-5 - 1ª opção de Adequação/Adaptação do AS



Figura 6-6 - Detalhe Quadro do SA-1ª Opção

A operação desta opção é acender o gaseificador assistido por este Serviço Auxiliar modificado, alimentado em CA via Inversor pela Bateria de 150Ah até que o próprio gás gerado se torne apropriado para consumo no Grupo Gerador de 2KVA acoplado no sistema. Através de manobras manuais em duas chaves reversoras (uma da Bomba D'água e outra do Exaustor/Ventilador), faz-se a reversão da alimentação da Bateria de 150 Ah para o Grupo Gerador de 2KVA que, neste momento, já está alimentado pelo gás gerado pelo próprio gaseificador. Esta configuração está mostrada no diagrama da Fig. 6.7 abaixo.

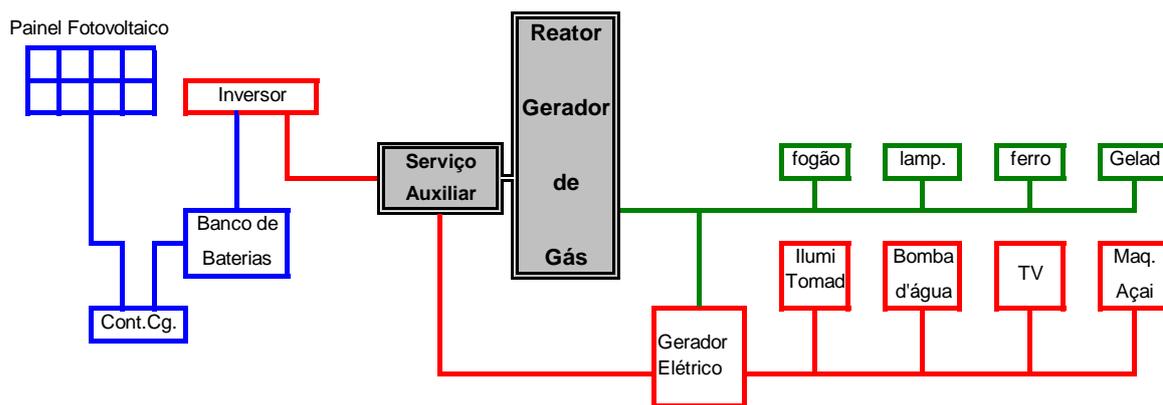


Figura 6-7 - Diagrama da 1ª opção de Adequação/Adaptação do SA

O tempo gasto da partida do sistema até a reversão é, em média, 20 minutos. Esta bateria que seria utilizada apenas neste pequeno intervalo, a cada partida do sistema, teria sua recarga administrada pelo Controlador de Carga e o Módulo Solar de 75W.

Este sistema de Serviço Auxiliar possui 283W de potência nominal, o que representa quase 30 % da potência nominal do gaseificador. Considera-se este percentual alto para os padrões que se pretende alcançar. A inserção do Sistema Fotovoltaico composto pelo conjunto Módulo Fotovoltaico, Inversor, Bateria e Controlador de Carga, aumentou o custo desta opção (cerca de R\$-5.200,00) afastando-se dos objetivos deste trabalho que são TECNOLOGIA SIMPLES, BAIXO CUSTO, FÁCIL MANUTENÇÃO, FÁCIL OPERAÇÃO e SUSTENTÁVEL. O funcionamento e rendimento desta opção foram satisfatórios, porém descartou-se esta opção pela complexidade e custo.

6.3.2. 2ª OPÇÃO DE ADEQUAÇÃO/ADAPTAÇÃO DO SERVIÇO AUXILIAR

Para reduzir a potência nominal do Serviço Auxiliar, projetou-se um sistema com uma Bomba D'água de 36W/12Vdc(usada para esgotar o excesso de água em embarcações de médio porte), um sistema de Exaustão/Ventilação com motor de 80W/12Vdc (ventilador interno de automóvel) adaptado numa caixa de madeira calafetada com silicone conforme mostra as Fig. 6.8 e Fig. 6.9 abaixo.



Figura 6-8 - Bomba D'água e Exaustor

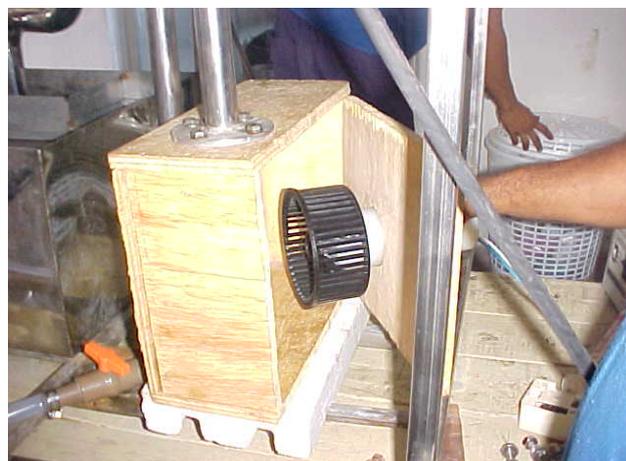


Figura 6-9 - Detalhe do Exaustor Ventilador – 2ª opção

Nesta opção, a operação consiste em acender o gaseificador assistido por este Serviço Auxiliar modificado, alimentado pelo Banco de Bateria composto de seis Baterias de 150Ah cada. O sistema de carga/descarga deste Banco será administrado por um Controlador de Carga/Descarga associado a um Painel Fotovoltaico formado por seis Módulos de 75Wp cada. A alimentação do Serviço Auxiliar está em corrente contínua e independe do Grupo Gerador.

Com a inserção do Retificador/Carregador nesta opção, conforme mostra o diagrama da Fig. 6.10 abaixo, o Grupo Gerador também se torna uma alternativa de alimentação do Serviço Auxiliar.

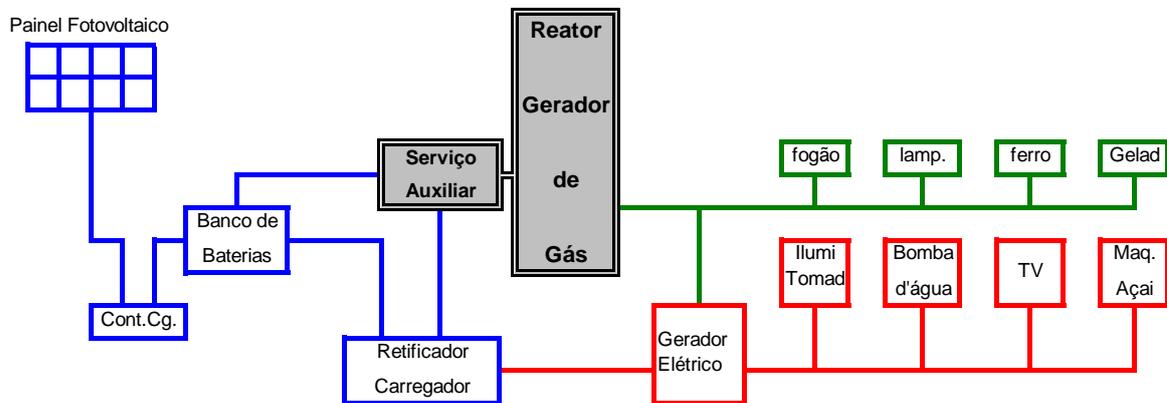


Figura 6-10 - Diagrama da 2ª opção de Adequação/Adaptação do SA

A potência nominal do Serviço Auxiliar passou para 116W, um pouco mais de 10% da potência nominal do gaseificador. Este percentual considera-se aceitável dentro dos padrões que se quer alcançar. Sem recarga, a autonomia do Banco de Baterias em utilização racional seria de 2 dias. Embora houvesse a eliminação do Inversor DC/CA, sem dúvida um ponto extremamente vulnerável do sistema, a inserção do Sistema Fotovoltaico composto pelo Painel Fotovoltaico, Banco de Baterias, Controlador de Carga e mais o Retificador/Carregador, aumentou consideravelmente o custo desta opção (cerca de R\$-14.900,00) distanciando-se dos objetivos deste trabalho, que são TECNOLOGIA SIMPLES, BAIXO CUSTO, FÁCIL MANUTENÇÃO, FÁCIL OPERAÇÃO e SUSTENTÁVEL. O funcionamento e rendimento desta opção não foram satisfatórios. O sistema de Exaustão/Ventilação projetado não deu a necessária velocidade aos gases conforme ocorria a tomada de carga. Esta opção também foi descartada pela não eficiência, complexidade e custo.

6.3.3. 3ª OPÇÃO DE ADEQUAÇÃO/ADAPTAÇÃO DO SERVIÇO AUXILIAR

Para esta opção, projetou-se um sistema com uma Bomba d'água de 36W/12Vcc (a mesma da opção anterior), um sistema de Exaustão/Ventilação com motor automotivo de

96W/12Vcc adaptando seu eixo nas partes mecânicas do sistema de Exaustão/Ventilação original conforme mostra a Fig. 6.11.

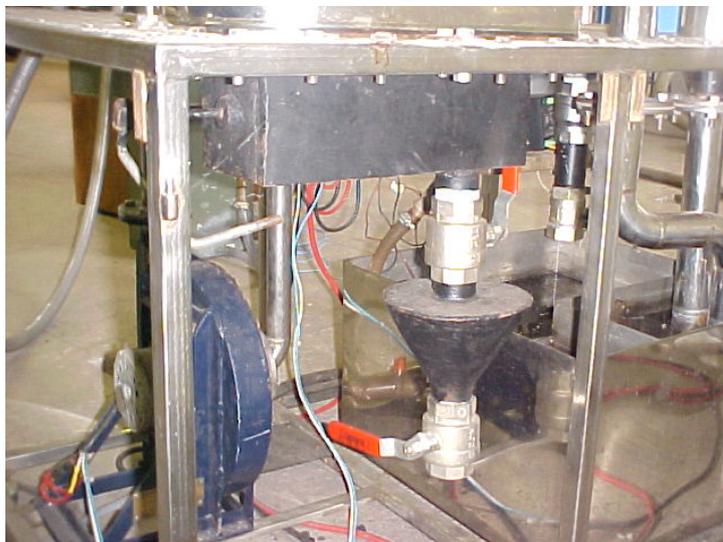


Figura 6-11 - Motor automotivo adaptado no eixo do sistema de exaustão original

A operação consiste em acender o gaseificador alimentado por um Banco de Baterias composto de duas unidades de 150 Ah cada. A recarga deste Banco de Baterias é feita pelo Grupo Gerador através do Retificador/Carregador. A alimentação do SA ficou em corrente contínua. Caso se queira utilizar o gás gerado sem ligar o Grupo Gerador, este Banco de Baterias tem autonomia para até 5 horas. A Fig. 6.12 abaixo mostra o diagrama desta configuração final.

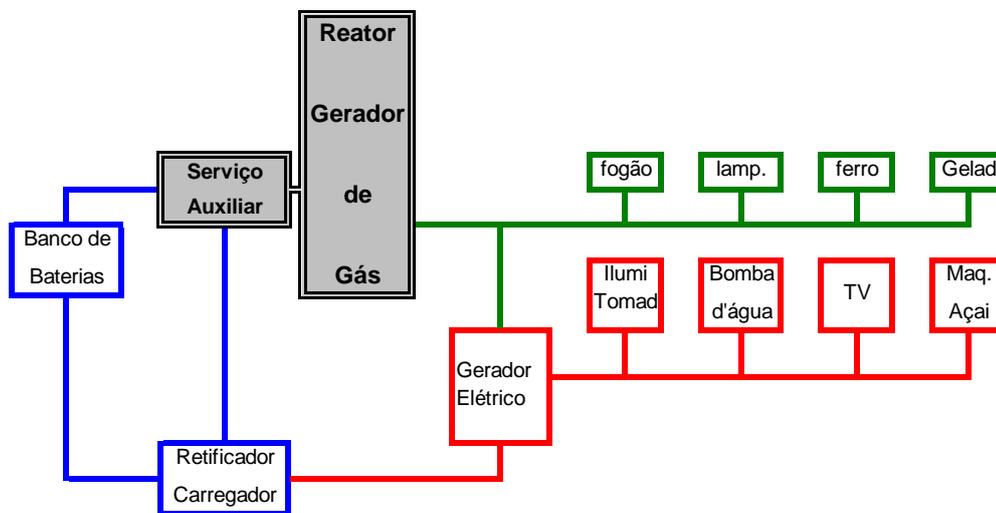


Figura 6-12 - Diagrama da 3ª opção de Adequação/Adaptação do SA

A Potência total necessária para o Serviço Auxiliar nestas condições é de 132W, cerca de 13% da Potência Nominal do gaseificador, percentual aceitável dentro dos objetivos deste trabalho. No caso de falha do Banco de Baterias, tem-se a opção de alimentação via Retificador/Carregador através do Grupo Gerador de 2 KVA alimentado pelo seu próprio combustível até que o gás se torne propício para queima. Esta foi a configuração final deste trabalho considerando um acréscimo no custo de em torno de R\$-1.300,00. A Tecnologia não ficou complexa, com as adequações e adaptações. O aumento no custo foi relativamente baixo; a manutenção de rotina está simplificada, a operação também está simplificada e no seu conjunto geral é sustentável.

6.4. UTILIZAÇÃO DO GASEIFICADOR

6.4.1. APROVEITAMENTO DO GÁS COM O G.G. DESLIGADO

Conforme mostra a Fig 6.13, viu-se que é possível a utilização do gás com o Grupo Gerador desligado. Foram testados a utilização do fogão, “lâmpião” e ferro de passar roupa.



Figura 6-13 - Utilização do fogão a gás



Figura 6-14 - utilização do fogão a gás e do “lâmpião”

6.4.2. TOMADA DE CARGA

Passados vinte minutos de o gaseificador ter sido aceso, deu-se a partida no Grupo Gerador de 2KVA/127Vca e acrescentou-se as cargas disponíveis, ver Fig. 6.15 e Fig. 6.16.

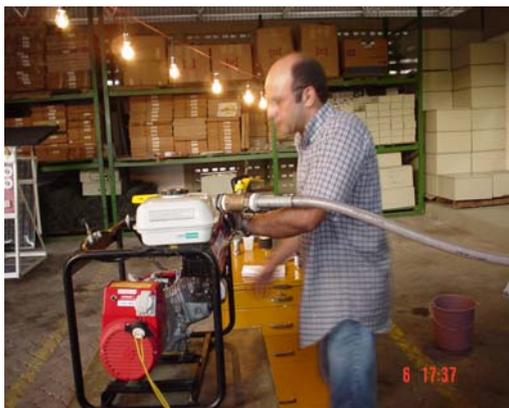


Figura 6-15 - Acionamento do GG



Figura 6-16 - GG alimentado por gás

As cargas disponíveis foram inseridas no circuito gradativamente conforme se alimentava o gaseificador pelo topo com a biomassa caroço de açaí. Estas cargas estão apresentadas nas Tabelas 6.1 e 6.2.

Tabela 6-1 - Cargas assumidas pelo GG

Descrição da Carga	Quantidade	Tensão(V)	Potência(w)
Lâmpada PL	20	127	20
Lâmpada Incandescente	5	127	60
Bebedouro	1	127	100
Ventilador grande	2	127	210
Furadeira de Impacto	1	127	500

Tabela 6-2 - Potência, Tensão, Corrente e Energia observados no GG

Potencia Nominal Total da Carga(W)	1.720
Tensão da Carga(V)	112
Corrente da Carga-medida(A)	16,7
Tempo de funcionamento	1h e 40 min.
Energia(W.h)	2.700

6.4.3. AUTONOMIA

Feitos os ensaios, experimentações, testes, ajustes e implementação de melhorais, chegou-se a autonomia de 120 minutos. Para a primeira partida do sistema, recomenda-se o carvão vegetal e, a partir, passa-se a utilizar a biomassa caroço de açaí passada por uma pré-secagem ao tempo até que sua umidade esteja em torno de 20%. Após 40 minutos de

funcionamento já era perceptível a presença de umidade e particulados no circuito de tubulação transparente do sistema de gás e no filtro de manta, conforme Fig. 6.17 e 6.18.



Figura 6-17 - presença de umidade no filtro



Figura 6-18 - Presença de umidade no filtro

Esta umidade e particulado, com o passar do tempo, provocava falha no grupo gerador até sua parada total por contaminação no gás. Para contornar este problema, foi projetado um coletor de gotas, ver Fig. 6.17, e inserido no circuito do gás antes do filtro principal. Houve ganho, porém não foi significativo. O GG continuava parando por contaminação no gás.

O Dr.Ph.D. Sridhar, do Instituto Indiano de Ciências e um dos projetistas deste Gaseificador de 1 Kg/h quando, de sua visita no Brasil, foi solicitado a fazer uma intervenção técnica com a finalidade de melhorar a qualidade do gás. Ressalta-se que, este sistema, não fora projetado para queimar o caroço de açaí e ser acoplado em um Grupo Gerador a gasolina. O Dr. Sridhar projetou um filtro de areia e carvão vegetal, o qual foi inserido na linha de gás após filtro principal conforme mostrado na Fig. 6.20.



Figura 6-19 - Coletor de gotas



Figura 6-20 - Filtro de areia e carvão

O sistema funciona sem problemas de autonomia desde que a biomassa caroço de açaí esteja com seu nível de umidade inferior a 20%.

6.5. CONCLUSÃO

O maior problema vinha sendo a contaminação do combustível por umidade e particulado. Fez-se o teste acoplando o GG de 2 KVA no Gaseificador de 20Kg/h instalado no Laboratório de Mecânica da UFPA, cujo processamento de lavagem e resfriamento dos gases é mais eficiente, e foi utilizada a biomassa caroço de açaí. O GG de 2 KVA assumiu, gradativamente, uma carga de aproximadamente 1.300 W. O sistema permaneceu inalterado por cerca de 4 horas quando foi desligado manualmente. Portanto, conclui-se que a melhoria desejada na autonomia do Gaseificador de 1 KW pode ser adquirida melhorando-se a qualidade do gás inserindo melhorias na linha do gás (coletor de gotas e filtro de areia e carvão) ou utilizando-se a biomassa caroço de açaí com nível de umidade em torno de 20%.

CAPÍTULO 7 -COMUNIDADES ONDE PODEM SER IMPLEMENTADAS O USO DO GASEIFICADOR DE 1 KW(1kg/h)

7.1. INTRODUÇÃO

Nas visitas realizadas nas comunidades do interior do Estado do Pará, destacam-se aquelas residências isoladas que não possuem vizinhos num raio mínimo de 200 metros. Estas residências estão no “*interior do interior*” e não há perspectiva de virem receber atendimento por energia elétrica pelo processo mais convencional via rede de distribuição. Nas atividades de rotina destas famílias já existe a presença da biomassa tratada como lixo. A utilização da energia elétrica não é novidade para a maioria destas famílias. Todos possuem noção da existência e do uso da energia elétrica e conhecem os benefícios e confortos que teriam se, no seu dia-a-dia, convivessem com equipamentos eletroeletrônicos.

Muitos desses brasileiros têm televisão, em preto e branco, alimentada por uma bateria de 12 volts ou um gerador de pequena potência a diesel de uso estritamente residencial com limitações de horas de funcionamento, visto que o abastecimento do diesel torna-se uma tarefa complicada e onerosa devido às condições de acesso.

7.2. COMUNIDADES NO INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ

Na Escola Margarida de Freitas, em Barcarena-PA, mostrada na Fig. 7.1, uma pessoa da comunidade fica encarregada de encher a caixa d'água de 250 litros utilizando um balde de 15 litros com a água do rio, que passa a 20 metros na frente da Escola. Esta caixa d'água atende a cozinha e os banheiros da Escola. Um sistema de gerador de gás, como o proposto neste trabalho, atenderia a todas as necessidades básicas da Escola – cozinhar, ferver água, TV, Vídeo Cassete, DVD, iluminação, etc. E ainda se poderia instalar uma bomba d'água de 200W, vazão de 1500 litros/hora que faria o enchimento da caixa em cerca de 10 minutos.



Figura 7-1 - Escola Margarida de Freitas, Barcarena-PA

No município do Acará-PA, na comunidade Quilombola de São Benedito, cerca de 40 minutos de travessia de barco, saindo de Belém, na maioria das residências, há a extração do Açaí. Servindo-se de um Gerador de 4KVA, a pelo menos 13 anos, o Sr. João Amaral, ver Fig. 7.2, vem arrastando sua sobrevivência reclamando do esquecimento por parte das autoridades e contou sua “maratona” para, quando é possível, reabastecer seu gerador com óleo diesel. Pela manhã, bem cedo, servindo-se de um depósito de 20 litros, ele toma sua bicicleta e percorre cerca de 2,5 Km até à margem do rio, onde deixa a bicicleta e embarca num barco de linha. Gasta cerca de 40 minutos de travessia de barco, compra o óleo diesel e faz o mesmo percurso de volta. Levando-se em consideração o horário dos barcos, as condições da maré e as condições do tempo, em média, são gastos 12 horas para se ter a reposição de diesel.



Figura 7-2 - Sr. João Amaral - Comunidade Quilombola S. Benedito – Acará-PA

Cada morador processa de 8 a 10 litros de Açaí por dia para consumo próprio ou trocar por outro bem ou serviço. Dificilmente circula dinheiro nas transações. O caroço do Açaí representa 90% da fruta e esta produção diária de biomassa, está sendo tratada como lixo, conforme mostra a Fig. 7.3 abaixo.



Figura 7-3 - Biomassa tratada como lixo

Para aqueles moradores desta comunidade que, não possuem um gerador, e necessitam da mesma quantidade de açaí diariamente, o trabalho é manual, conforme mostra a Fig. 7.4.



Figura 7-4 - Máquina manual de processar o açaí

Na Ilha de Cotijuba-Pa, 50 minutos de travessia de barco saindo de Belém, a comunidade reúne-se numa maloca, ver Fig. 7.5 e Fig. 7.6, que funciona como um centro

comunitário para confeccionar, manualmente, caixas de madeira encomendadas por uma grande empresa de cosmético que paga R\$-3,50 por caixinha produzida.



Figura 7-5 - Confeção de caixas de madeira



Figura 7-6 - caixa de madeira

A comunidade é consciente de suas limitações nesta atividade. Segundo eles mesmos *“não compensa investirmos para melhorar nossa produção adquirindo uma serra e uma lixadeira elétrica, bem como a iluminação no barracão, por causa do alto custo para se ter diesel em nossa ilha”*.

Um dos moradores desta Ilha mantém, com muita dificuldade, uma serraria “caseira”, como mostra a na Fig. 7.7, de onde tira seu sustento com trabalhos de preparo da madeira para construção de residências, pontes, móveis e outros. Ela funciona com um pequeno gerador de 1KVA. A serragem é indesejável, não há serventia na Ilha e é tratado como lixo. Esta biomassa poderia ser usada como combustível no gaseificador proposto neste trabalho. A produção de farinha, de maneira artesanal para consumo próprio, é a atividade que faz parte do perfil das famílias desta Ilha, como mostra a Fig. 7.8. A farinha é o principal parceiro do Açai nas refeições diárias. O Gaseificador de 1 KW, proposto neste trabalho, pode substituir a queima descontrolada de madeira que alimenta o forno na produção de farinha, sem gerar a nociva e incômoda fumaça no interior das residências.



Figura 7-7 - Serraria “caseira”



Figura 7-8 - Produção de Farinha-artesanal

Por ocasião da reunião do Movimento de Luta em Defesa e Desenvolvimento da Região Tocantina – MODERT, em Outubro de 2003, no Município de Igarapé Miri-PA, o Gaseificador de 1KW foi exposto na praça central conforme mostra as Fig. 7.9 e 7.10 para ser testado a aceitação desta tecnologia por parte das comunidades. A primeira impressão era de espanto. As pessoas tinham dificuldade de acreditar que poderiam utilizar o próprio caroço de açaí como combustível. A semelhança deste gerador de gás com uma máquina de “bater Açaí” foi motivo de muitos risos.



Figura 7-9 - Chegando em Igarapé Miri



Figura 7-10 - Exposição em Praça Pública

7.3. PERFIL SOCIOECONÔMICO E DISPONIBILIDADE DE BIOMASSA

Nas residências visitadas se fazia necessário saber se era rotina daquela família a atividade de processar o Açaí que eles denominam de “*bater Açaí*”. Essa condição era relevante. O número de moradores por residência é em média de seis pessoas. A área residencial encontra-se normalmente numa faixa de terreno de 15m x 20m. De maneira geral, as residências possuem de 3 a 5 cômodos mais o banheiro externo conforme mostra a Fig. 7.11.

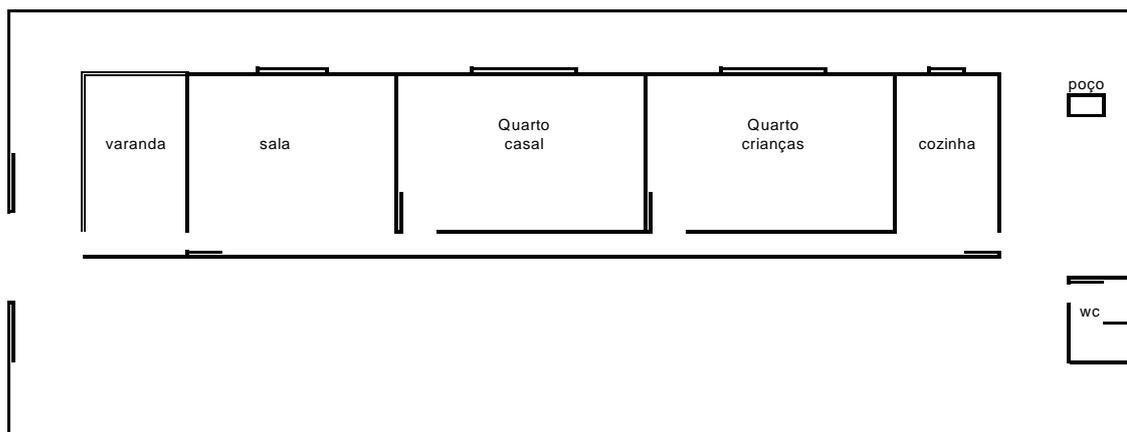


Figura 7-11 - Planta baixa de uma residência referencial

Definida a residência referencial e, baseado no desejo dos entrevistados, projetou-se um quadro de carga conforme mostra Tab. 7.1 abaixo:

Tabela 7-1 - Quadro de Carga para a residência referencial

1 - Iluminação	Potência-Watt	Quantidade	Utiliz.hora/dia	Energia diária-W.h
1.1 - Varanda-Lâmpada PL-11	11	1	10	110
1.2 - Sala - Lâmpada PL-11	11	1	5	55
1.3 - Quarto casal - Lâmpada PL-11	11	1	2	22
1.4 - Quarto crianças - Lâmpada PL-11	11	1	2	22
1.5 - Corredor - Lâmpada PL-11	11	1	5	55
1.6 - Cozinha - Lâmpada PL-11	11	1	2	22
1.7 - Área coberta fundos-Lampada PL-11	11	1	2	22
1.8 - Área lateral externa-Lampada PL-11	11	2	10	220
1.9 - Banheiro externo	11	2	1	22
2 - Equipamentos	Potência-Watt	Quantidade	Utiliz.hora/dia	Energia diária-W.h
2.1 - TV/Videocassete	80	1	3	240
2.2 - TV/Parabólica	80	1	3	240
2.3 - Geladeira	70	1	24	1680
2.3 - Carregador Celular	4	1	0,5	2
2.4 - Máquina Açai	260	1	3	780
2.5 - Bomba d'água	300	1	1	300
TOTAL POTÊNCIA INSTALADA em Watt				915
ENERGIA DIÁRIA em Watt.hora				3.792
ENERGIA MENSAL em KW.hora				114
TOTAL DEMANDA (70%) em KW.hora				80

Restava saber se com o aumento da produção diária de Açai, as famílias teriam como escoar a produção. Para uns, mesmo com o aumento da produção, o consumo seria na própria comunidade uma vez que para eles “...quanto agente bater agente vende....agente só não bate mais porque tem que economizar diesel para dar o mês todo...”. Para outros, mais audaciosos, se houver energia suficiente, vão congelar a polpa da fruta e fazer uma única viagem até

Belém e adjacências eliminando o atravessador e ainda vão poder estocar a polpa congelada para sua manutenção nos períodos de entressafras. Fato é que, em todas as famílias visitadas que convivem com a atividade de “bater Açai”, existe, nas adjacências de suas casas, muita quantidade de caroço de Açai tratada como lixo. Até o presente não encontraram solução de “como se livrar deste lixo”.

Vê-se, também nos campos e terrenos, uma quantidade muito grande de galhos, gravetos e folhas conforme mostrado nas Fig. 7.13 e 7.14, resultado da limpeza de rotina que, quando não são queimados a céu aberto, ficam entulhados atraindo roedores e animais peçonhentos. Essa biomassa é combustível, em potencial, para ser gaseificada, mas, infelizmente, é tratada como lixo. O destino mais eficaz para essa biomassa depende de conhecimento, melhor orientação e condições.



Figura 7-12 - galhos, gravetos e folhas – LIXO



Figura 7-13 - galhos, gravetos e folhas - LIXO

7.4. COMPARATIVO SISTEMA FOTOVOLTAICO x GASEIFICADOR

O atendimento de energia elétrica por Painel Fotovoltaico é uma opção bastante conhecida do governo, tendo em vista os diversos programas que se utilizam deste sistema para atender comunidades isoladas. O atendimento, por gaseificação individualizada, proposta deste trabalho, é uma opção em análise que precisa de um projeto piloto para testar sua eficácia. Por ilustração, nas Tabelas 7.2 e 7.3, apresenta-se um detalhamento do custo para um mesmo atendimento de 1 KW por sistema fotovoltaico e por sistema de gaseificação que demonstra a larga desvantagem do Painel Fotovoltaico, cujo custo é mais de três vezes o custo do gaseificador.

Tabela 7-2 - Atendimento por Pannel Fotovoltaico

Módulo Fotovoltaico 75 Wp/12 Vdc	Unidade	16	1.800,00	28.800,00
Bateria Estacionária 150A.h	Unidade	6	980,00	5.880,00
Inversor 1.000W/24Vdc/127Vca	Unidade	1	2.100,00	2.100,00
Controlador de Carga-30A	Unidade	1	800,00	800,00
Abrigo de Madeira p/Inv./Contr./Banc.Bat.	Unidade	1	480,00	480,00
Estrutura Metálica p/ armação das Placas	Conjunto	1	120,00	120,00
Madeiramento p/ suporte das Placas	Conjunto	1	150,00	150,00
Cerca de arame c/ 7 níveis	Conjunto	1	150,00	150,00
Cabo elétrico p/ montagem do sistema	Conjunto	1	90,00	90,00
Sistema de Aterramento	Conjunto	1	120,00	120,00
T O T A L				38.690,00

Tabela 7-3 - Atendimento por Gaseificador de 1 KW

Biogás (Reator, Tubulações, Sist. Lavagem, Dep. Água, Ext.Cinzas)	conjunto	1	1	7.000,00
Serviço Auxiliar				
Bomba d'água 12Vdc/48W	unidade	1	220,00	220,00
Ventilador 12Vdc/132W	unidade	1	200,00	200,00
Bateria Estacionária 150Ah	unidade	2	500,00	1.000,00
Carregador de Bateria	unidade	1	300,00	300,00
Grupo Gerador 2KVA/127Vca	unidade	1	2.500,00	2.500,00
Área coberta c/piso p/GG e Biogás	unidade	1	1.000,00	1.000,00
T O T A L				12.220,00

7.5. CONCLUSÃO

Em algumas das residências visitadas viu-se um pequeno gerador a diesel utilizado, basicamente, para iluminação e processamento do Açaí. O conhecimento e manuseio da energia elétrica não são de total desconhecimento das pessoas dessas comunidades. Mesmo com a presença de outras atividades na comunidade, como é o caso da serraria “caseira”, da confecção de caixinhas e da produção de farinha, nota-se que, em quase todas as famílias, pelo menos um dos membros se envolve com a atividade de “bater açaí”. É um fato a presença da biomassa nesses locais, seja caroço de açaí, a serragem, os galhos, gravetos e folhas, e é fato, também, que não se tem nenhum planejamento nem perspectiva de utilização desta biomassa. Portanto, tem-se o perfil ideal de usuário para receber o Gaseificador de 1 KW proposto neste trabalho. Especificamente, para este tipo de comunidade, recomenda-se a aplicação do Gaseificador de 1 KW em disparada e absoluta vantagem de custo quando comparado ao atendimento por Pannel Fotovoltaico.

CAPÍTULO 8 - CONCLUSÃO GERAL

O Objetivo de se apresentar um gaseificador melhorado, adaptado e adequado às necessidades locais foi alcançado. Sabe-se da disposição do governo em suprir de energia elétrica a todos os brasileiros. A escolha do sistema é de vital importância, uma vez que todos os tipos de sistemas têm a sua particular importância. Fica, portanto, a questão da escolha condicionada às especificidades de cada caso.

O público alvo deste trabalho é a comunidade isolada. Isolada fisicamente por causa de uma extensa e diversificada bacia hidrográfica que, por fim, a isola também de ter prioridade nos diversos programas governamentais. Foi identificado várias comunidades no interior do Estado do Pará que possuem o perfil mínimo que a torna propícia para receber um Gaseificador de 1 KW. Esta proposta encontra respaldo para ser uma das várias opções para atendimento por fonte alternativa, tanto no Projeto Ribeirinhas como no PRODEEM e no Luz Para Todos. Recomenda-se a utilização na modalidade comodato com supervisão e interagindo com os outros programas do governo.

Apresenta-se, portanto, a proposta de um Gaseificador de 1 KW que atende as especificidades de várias comunidades isoladas no interior do Estado do Pará, sendo este de baixo custo, tecnologia simples, fácil manutenção e operação e que estimula um desenvolvimento sustentável, com as seguintes recomendações:

1. A biomassa caroço de açaí deve ser exposta para secagem ao sol até que sua umidade atinja, no mínimo, 20%;
2. Quando necessário, deve-se triturar o caroço de açaí para melhorar a eliminação da umidade;
3. A biomassa deve ser estocada em estrado de madeira a 30cm do solo ou em piso de concreto. Nunca direto no chão de terra;
4. Manter o coletor de gotas no circuito do gás;
5. Manter o filtro de Areia e Carvão no circuito do gás;

6. Acoplar, no Gaseificador de 1 KW, um grupo gerador de 2 KVA, preferencialmente a diesel, pelos seguintes motivos:
 - 6.1 - Muitas das residências beneficiadas já possuem este tipo de Grupo Gerador;
 - 6.2 - Sua tecnologia é mais robusta e conhecida;
 - 6.3 - Facilidade para se encontrar peças de reposição;
 - 6.4 - Facilidade na manutenção e operação;
 - 6.5 - Economia de até 85% no consumo de diesel;
 - 6.6 - Possibilidade de resgate dos créditos de carbono.

O Grupo Gerador acoplado no gaseificador pode também vir a ser aqueles cujo combustível básico é a gasolina. Neste caso, o gás pode substituir totalmente seu combustível básico, todavia, este tipo de grupo gerador, não tem a preferência dos usuários porque tem manutenção mais complexa e é pouco tolerável na sua eficiência quando há níveis mínimos de contaminação do gás por umidade ou particulados.

BIBLIOGRAFIA

- ALVIM, C. Augusto Jucá. **PNUD: Energia para reduzir pobreza**. São Paulo. Canal Energia, 06 de agosto de 2004.
- ELETRONORTE. **Cenários Socioenergéticos da Amazônia 2000-2020**. Versão Executiva - 2000.
- JARABO FRIEDRICH, F., ELERTEGUI ESCARTÍN, N. **Energías Renovables**. S.A.P.T. PUBLICACIONES TÉCNICAS. S.L., Madrid, Espanha. 2000.
- CÔRTEZ, C. **Festival de Erros**. Revista Isto É. Num. 1858. Maio 2005.
- GUSMÃO NASCIMENTO, Marcus Vinicius. **Estudo comparativo de microssistemas de geração baseados em combustíveis**. Relatório CEPEL DPP/PER-1 165/01. 2002.
- LEAL, Milton dos Santos. **Comunicação verbal dos critérios adotados pelas equipes do LPT-PA nas ilhas do lago da UHE-Tucuruí**. 2005.
- FLEURY, Guilherme. **Comunicação verbal durante apresentação pela Eletrobrás no Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica**. Rio de Janeiro, 2005.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas - SP, **Apostila de Gaseificação**. 2000.
- SOUZA, P. A. P. ; VALENCIO, N. F. L. S. **Contexto Político- Institucional da Reestruturação do Setor Elétrico Nacional e os Novos Atores Envolvidos**. In: II Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2004, Indaiatuba. II Encontro da ANPPAS. 2004.
- CAVALIERO, C. K. N. ; SILVA, Ennio Peres da . **Geração de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis Alternativas: Algumas Experiências na Região Amazônica**. In: IX Congresso Brasileiro de Energia, 2002, Rio de Janeiro. Fontes Renováveis e Alternativas Energéticas, v. IV. p. 1553-1560. 2002.

PAZZINI, L. H. A. ; RIBEIRO, Fernando Selles ; KURAHASSI, Luiz Fernando ; GALVÃO, Luiz Cláudio Ribeiro ; PELEGRIN, Marcelo Aparecido ; AFFONSO, Octávio Ferreira .
Luz para todos no campo: a universalização do atendimento de energia elétrica na zona rural brasileira. In: 4o Encontro de Energia no Meio Rural 2002. Campinas, 2002.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000.** Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

SECTAM - Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Pará. **Relatório.** 2000.

ROCHA, B. R. P. **Levantamento do Potencial de Biomassa do entorno do Lago da UHE-Tucuruí.** Relatório do Programa de P&D Ciclo 2003-2004 – ELETRONORTE, 2005.

MME - **Ministério das Minas e Energia.** Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006.

GALDINO, M. A., LIMA, J. H. G. **PRODEEM – O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica.** In: IX Congresso Brasileiro de Energia, 2002, Rio de Janeiro. Anais do IX CBE, 2002.

SANTOS, R.R. **Procedimentos para a eletrificação rural fotovoltaica domiciliar no Brasil: Uma contribuição a partir de observações de campo.** 2002. 221p. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

MME - Ministério das Minas e Energia. **Relatório de Operacionalização do Programa Nacional de Acesso e Uso de Energia Elétrica.** 2003.

ELETRONORTE, **Relatório do PRC-PRODEEM.** 2006.

ELETRONORTE, **Informativo Luz Para Todos-PA,** Ano I, Edição 004, Dezembro de 2006.

NUMAZAWA, Seuo. **Tecnologias para Produção de Carvão Vegetal, Seminário Regional sobre a Produção de Carvão Vegetal no Estado do Pará.** SECTAM, Junho de 2006.