

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O ACESSO UNIVERSAL  
À ENERGIA ELÉTRICA NA AMAZÔNIA

RAFAEL NINNO MUNIZ

DM 05/2015

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém – Pará – Brasil  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL NINNO MUNIZ

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O ACESSO UNIVERSAL  
À ENERGIA ELÉTRICA NA AMAZÔNIA

DM 05/2015

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém – Pará – Brasil  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL NINNO MUNIZ

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O ACESSO UNIVERSAL  
À ENERGIA ELÉTRICA NA AMAZÔNIA

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica, área de Sistemas de Energia.

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém – Pará – Brasil  
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

Muniz, Rafael Ninno , 1974-

Desafios e oportunidades para o acesso universal à energia elétrica na amazônia / Rafael Ninno Muniz. - 2015.

Orientadora: Brigida Ramati Pereira da Rocha.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2015.

1. Política energética - Amazônia. 2. Energia - fontes alternativas. 3. Sistemas de energia elétrica - planejamento. 4. Recursos naturais renováveis. I. Título.

CDD 22. ed. 333.7909811

---

## “DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO A ENERGIA ELÉTRICA NA AMAZÔNIA”

AUTOR: RAFAEL NINNO MUNIZ

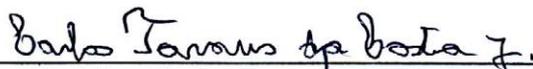
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO  
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO  
JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

APROVADA EM: 20/02/2015

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.ª Dr.ª Brígida Ramati Pereira da Rocha**

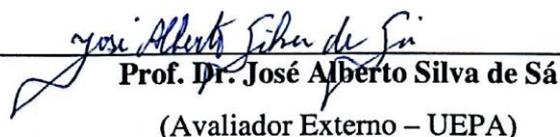
(Orientadora – PPGEE/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Junior**

(Avaliador Interno – PPGEE/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Francisco de Assis Costa**

(Avaliador Externo ao Programa – NAEA/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. José Alberto Silva de Sá**

(Avaliador Externo – UEPA)

VISTO:

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes**  
(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

*Dedicado ao amazônida, que do fruto da sua  
luta cotidiana, garante os recursos energéticos e  
bem-estar climático para os demais brasileiros e  
latino-americanos.*

# AGRADECIMENTOS

À **Krishna e Radharani**, o casal transcendental, guardiões e mantenedores da vida.

À minha **Família Espiritual**, Gurumaharaj B.A. Paramadvait Swami, esposa Natalia Lalita Kumari e filhas Radharani Mainó e Juliana Vishaka. Paciência e tolerância é um eterno aprendizado, não fosse o apoio familiar, nada disso teria sentido. Sou grato de coração, mente e espírito por todas as conquistas coletivas.

À minha estimada **Família Nativa**, mãe Regina, irmã Patrícia, irmão Gabriel, tio Ayrton, Marco, Ana Beatriz, Vítor e em memória do meu pai Osmy, sem vocês esse trabalho não aconteceria da forma como foi. Sou eternamente grato por acreditarem no meu potencial e nunca se oporem a nenhum dos meus sonhos “mirabolantes”, oferecendo sempre um apoio incondicional para todas as minhas atividades.

À **Família Intelectual**, meus Mestres e Educadores, Professora Brigida e Inventor Olavo, responsáveis por me resgatarem do “limbo acadêmico” que estava vivendo e me trazerem para Amazônia. Minha formação só ficou completa com o apoio de vocês. Exemplos de vida dedicada ao ensino, pesquisa e inovação, espero sempre dar retorno à altura do que recebo. Ao Professor Alberto, fundamental na reta final desse trabalho, um agradecimento especial. Em memória ao mentor do Pró-alcool, Professor Bautista Vidal, deixou um legado de luta pela libertação da dependência energética brasileira ao capital estrangeiro e que abriu os caminhos para meu início na Revolução da Biomassa!

À minha **Família Escolhida**, formada pelos amigos-irmãos de batalha cotidiana, composta de integrantes de Norte a Sul do país, um agradecimento gigante que não caberia todo no volume de páginas desse trabalho. Aos amigos de infância em Londrina, Dennis e Wlad, muitas aventuras e expedições vividas em conjunto. Dizem que os verdadeiros amigos jamais se separam, apenas trilham caminhos diferentes. Acredito nisso! Aos amigos de Belém, Marcelo, Andreos, Mancha, Mayaras, também os amigos-devotos Flavio Pará, Karla, Pahlada&Tunga, Prabhu Shridara, Davileza, Kathamrta, Solano Suddha, Mano&Ju, um grande Haribol sempre! Paraenses que muito me ensinam sobre a rica cultura local.

Em especial minha turma **Elétrica 92.1&Agregados** de Floripa: Maguila, Danilo, Murilo, Kornão, Erlão, Lavoura, Sandro&Melissa, Maurélio, Xulé, Zé Galinha, Manetião, Camelo, Samuka, Xexéu, Dinon, Golin, Julivs, Bampi, Ovelha, Tio Cris, Tio Muras, Goura Hari (Maringas), Dimitri, os “alemão” Richard e Dionei, corintimano Geraldinho, Morova, Nelão, Moritz, Mato Grosso, Negão e Odair, enfim, uma turma revolucionária que abalou as

bases estruturantes da Engenharia Elétrica da UFSC. O Centro Tecnológico nunca mais foi o mesmo depois de nós, nem nunca será!

Ao pessoal de luta do DCE e do CETEC, responsáveis por me propiciarem uma formação política crítica e criativa, onde levamos da teoria à prática de maneira exemplar, reorganizando uma entidade retalhada pelo aparelhamento partidário e criando o embrião da Semana Inte(g)rativa, que mesmo apropriada de forma indevida, hoje perdura oficialmente como principal evento de união da instituição UFSC: Maria Estrázulas, poeta Cesinha, Fernandonha, Giseli, Fê, Chris goiano, Zeca, Renatonha, Tiagão, Montanha, Bené, Fabiano, Carioca, Dan, Guerrero, Dudu, Luis Pereira, Evandro e toda a Chapa 1, Faça Você Também!

Aos loucos/visionários do Acampus Mentus, espaço de luta libertário sem rótulos partidários, incompreendidos pela maioria absoluta da academia, afinal como diria Nelson Rodrigues, toda unanimidade é burra, meus profundos agradecimentos pelo impulso inicial necessário para minha primeira expedição à Amazônia. Aprendi nesse momento da minha vida o que Nietzsche bem colocou de forma poética: “Quem combate monstros, deve cuidar para não se tornar uma monstruosidade”.

Em especial a todo aprendizado que tive com o irmão Caverna, da capoeira angola à bioenergética, a jovialidade está na atitude combativa cotidiana.

Aos demais que porventura tenha esquecido sintam-se agradecidos com essa singela homenagem! Um pensamento quântico que aprendi na minha trajetória acadêmica, parafraseando Chico Science, é que basta um passo e você não está mais no mesmo lugar, em outras palavras: Querer alguma coisa, modifica a coisa que se quer!

*anilo 'pi vikurvāṇo  
nabhasoru-balānvitah  
sasarja rūpa-tanmātram  
jyotir lokasya locanam*

*“Depois disso, o ar extremamente  
poderoso, interagindo com o céu, gerou a forma da  
percepção dos sentidos, e a percepção da forma  
transformou-se em eletricidade, a luz para ver o mundo”.*

*(A.C. Bhaktivedanta Swami Prabhupāda)  
Śrīmad-Bhāgavatam, Canto 3, Capítulo 5-verso 34*

# RESUMO

O planejamento energético brasileiro vem progressivamente dando ênfase à utilização de fontes renováveis de energia, entretanto para algumas iniciativas como o Programa Luz Para Todos, constata-se que essas alternativas energéticas vêm sendo tratadas como uma atividade secundária e de difícil implementação. Este trabalho tem por objetivo analisar como o governo brasileiro vem adaptando a sua estrutura institucional, tecnológica e de financiamento para fornecer acesso universal à eletricidade em áreas remotas. De acordo com informações oficiais, esta iniciativa provou ser eficaz em sua primeira fase, que foi desenvolvida pela extensão de rede convencional. Entretanto o estudo conclui que o programa atualmente não converge para o atendimento pleno do acesso à eletricidade em áreas remotas na Amazônia e três principais desafios foram identificados. Há uma necessidade de adaptação das estruturas institucionais existentes, harmonizar tecnologias para o contexto regional e utilizar os fundos governamentais de forma mais eficaz. A pesquisa aponta caminhos e alternativas para o que está sendo realizado nos sistemas isolados, e apresenta dois estudos de caso onde foram aplicados a geração descentralizada de energia com fontes renováveis de biomassa residual em comunidade isoladas e para o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos em município pertencente ao sistema isolado. Esses exemplos práticos têm como proposta contribuir com os resultados do estudo para o desenvolvimento de políticas públicas, projetos de pesquisa, atender fornecedores de tecnologia e promover soluções energéticas e residuária para municípios e comunidades do sistema isolado nacional, visando atingir o acesso universal à energia elétrica em áreas remotas na Amazônia.

**Palavras-chave:** Planejamento energético, fontes renováveis de energia, Amazônia, sistemas isolados, biomassa, resíduos sólidos urbanos.

# ABSTRACT

The Brazilian energy planning has been progressively emphasizing the use of renewable energy sources, however for some initiatives such as the Light for All Program, these energy alternatives are being treated as a secondary activity and difficult to implement. This work aims to analyze how the Brazilian government has been adapting its institutional structure, technology and funding to provide universal access to electricity in remote areas. According to official information, this initiative has proven effective in its first phase, which was developed by the extension of conventional network. However, the study concludes that the program is currently not converges to full compliance with the access to electricity in remote areas in the Amazon and three main challenges were identified. There is a need for adjustment of current institutional structures, harmonize technologies to the regional context and use government funds more effectively. The research points out ways and alternatives to what is being done in isolated systems, and presents two case studies which have been applied to decentralized power generation with renewable sources of biomass in isolated community, and the energy utilization of municipal solid waste in the municipality belonging to the isolated system. These practical examples are proposed to contribute to the results of the study for the development of public policies, research projects, meet technology providers and promote energy and residuary solutions for municipalities and communities belonging to national isolated system, aiming to achieve universal access to energy electricity in remote areas in the Amazon.

**Keywords:** Energy planning, renewable energy sources, Amazon, Brazilian isolated systems, biomass, municipal solid waste.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aproveitamento energético da biomassa.....	38
Figura 2 - Configuração de sistema híbrido isolado.....	49
Figura 3 - Configuração de sistema híbrido interligado.....	50
Figura 4 - Sistemas híbridos na Amazônia.....	54
Figura 5 - Consumo de eletricidade e PIB.....	60
Figura 6 - Intensidade elétrica e PIB.....	61
Figura 7 - Definição do novo IDH.....	62
Figura 8 - IDH e o consumo de eletricidade em 60 países.....	63
Figura 9 - Mapa exclusão elétrica e IDH do Brasil em 2000.....	64
Figura 10 - Mapa de cobertura elétrica na Região Norte 2000-2010.....	65
Figura 11 - Geração de energia elétrica por fonte no Brasil.....	68
Figura 12 - Mapa representativo do SIN, horizonte 2015.....	70
Figura 13 - Centrais elétricas que compõem os sistemas isolados.....	71
Figura 14 - Recorte do Mapa Eletrogeográfico Brasileiro.....	72
Figura 15 - Estrutura institucional do setor elétrico.....	73
Figura 16 - Quadro institucional de apoio ao LPT.....	79
Figura 17 - Fluxo de recursos através do LPT.....	83
Figura 18 - Quadro de suporte do LPT adaptado.....	88
Figura 19 - Fluxo de recursos através do LPT adaptado.....	92
Figura 20 - Localização geográfica do Município de Abaetetuba.....	96
Figura 21 - Radiação solar anual média.....	100
Figura 22 - Radiação solar global anual.....	100
Figura 23 - Potencial eólico anual.....	101
Figura 24 - Velocidade média anual dos ventos.....	101
Figura 25 - Potencial de resíduos florestais.....	102
Figura 26 - Potencial de castanha de caju.....	102
Figura 27 - Potencial de óleo de palma (dendê).....	102
Figura 28 - Potencial de casca do coco.....	102
Figura 29 - Quantidade total de biomassa por município.....	102
Figura 30 - Projeto arquitetônico do prédio da usina de Jenipauába.....	104

Figura 31 - Configuração do gaseificador de Jenipaúba. ....	104
Figura 32 - Prédio do gaseificador. ....	104
Figura 33 - Detalhe do reator.....	106
Figura 34 - Vista superior do gaseificador. ....	106
Figura 35 - Grupo gerador. ....	106
Figura 36 - Detalhe do grupo gerador. ....	106
Figura 37 - Detalhe do sistema de resfriamento. ....	106
Figura 38 - Detalhe do primeiro estágio da filtragem do gás de síntese. ....	106
Figura 39 - Recorte do projeto da rede de distribuição. ....	107
Figura 40 - Agroindústria de açaí e prédio da usina de gaseificação. ....	108
Figura 41 - Mapa do Arquipélago do Marajó.....	114
Figura 42 - Imagem de satélite da Ilha Boa Vista. ....	122
Figura 43 - Foto aérea do município de São Sebastião da Boa Vista.....	122
Figura 44 - Corte esquemático do reator de pirólise lenta.....	124
Figura 45 - Biocarvão sem NPK comparado com solo simples.....	126
Figura 46 - Biocarvão com NPK comparado com solo simples.....	126
Figura 47 - Biocarvão com NPK comparado com NPK simples. ....	126
Figura 48 - Biocarvão sem NPK comparado com NPK simples.....	126
Figura 49 - Unidade de demonstração de 10 ton/dia e 200 kW. ....	130
Figura 50 - Fluxo de caixa para o sistema fotovoltaico.....	142
Figura 51 - Fluxo de caixa para o sistema biomassa. ....	146
Figura 52 - Fluxo de caixa para o sistema pirólise. ....	154

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro comparativo relação custo x benefício. ....	47
Tabela 2 - Quadro comparativo impactos ambientais. ....	47
Tabela 3 - Sistemas híbridos no mundo. ....	51
Tabela 4 - Sistemas híbridos na Amazônia. ....	54
Tabela 5 - Principais atores no quadro institucional brasileiro. ....	75
Tabela 6 - Principais competências das instituições ligadas ao LPT. ....	80
Tabela 7 - Tarifa social para baixa renda. ....	82
Tabela 8 - Potencial de biomassa na comunidade de Jenipaúba. ....	99
Tabela 9 - Recursos energéticos estimados da comunidade. ....	109
Tabela 10 - Composição gravimétrica do material reciclado e dos rejeitos. ....	118
Tabela 11 - Composição gravimétrica do material reciclado. ....	118
Tabela 12 - Dados técnicos da usina. ....	127
Tabela 13 - Componentes principais da usina. ....	128
Tabela 14 - Composição do gás de síntese. ....	131
Tabela 15 - Concentração de poluentes nos gases de combustão do aquecimento do reator. ....	132
Tabela 16 - Concentração de poluentes nos gases de combustão dos grupos geradores. ....	133
Tabela 17 - Fatores de conversão para indicadores socioeconômicos. ....	140
Tabela 18 - Custo aquisição e instalação do sistema fotovoltaico. ....	141
Tabela 19 - Análise financeira e socioeconômica do sistema fotovoltaico. ....	143
Tabela 20 - Custo do investimento para o sistema biomassa. ....	144
Tabela 21 - Custo de operação e consumo de combustível. ....	145
Tabela 22 - Custo de manutenção do sistema biomassa. ....	145
Tabela 23 - Custo de investimento de geração para o sistema biomassa. ....	145
Tabela 24 - Análise financeira e socioeconômica para o sistema biomassa. ....	147
Tabela 25 - Custo de investimento para o sistema diesel. ....	148
Tabela 26 - Custo de geração de energia. ....	149
Tabela 27 - Comparativo financeiro e socioeconômico dos sistemas. ....	150
Tabela 28 - Custo operação e manutenção variável anual. ....	152
Tabela 29 - Custos fixo e variável de O&M anual. ....	152
Tabela 30 - Custo de implantação do empreendimento. ....	153

Tabela 31 - Análise financeira para o sistema pirólise.....	155
Tabela 32 - Custo de geração de energia para o sistema pirólise.....	156

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional para o Desenvolvimento Social e Econômico
CCC	Conta de Consumo de Combustível
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CELPA	Centrais Elétricas do Pará
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
CIG	Centro Integrado de Governo
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CNR	Centro Nacional de Pesquisas da Itália
CNU	Comissão Nacional para Universalização
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CRAS	Centro de Referência em Assistência Social
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEQ	Faculdade de Engenharia Química
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GTON	Grupo Técnico Operacional para Região Norte.
IDESP	Instituto para o Desenvolvimento Econômico e Social do Pará
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IFPA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
IISc	Instituto Indiano de Ciências
INESC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto
KTH	Instituto Real de Tecnologia da Suécia
LPT	Programa Luz Para Todos

MEAPA	Metodologias para o Mapeamento de Energias Alternativas no Pará
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NPK	Nitrogênio – Fósforo – Potássio
ONG	Organização Não Governamental
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONU	Organização das Nações Unidas
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PEML	Peso Específico Médio do Lixo
PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
PNB	Produto Nacional Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético
RGR	Reserva Global de Regressão
R <sub>b/c</sub>	Relação Benefício-Custo
RSS	Resíduos de Serviço de Saúde
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIN	Sistema Interligado Nacional
SSBV	São Sebastião da Boa Vista
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TIR	Taxa Interna de Retorno
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
UAB	Universidade Aberta do Brasil
UAER	Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos
UEPA	Universidade do Estado do Pará
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UTE	Usina Termelétrica
VPL	Valor Presente Líquido

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
1.1 Contexto .....	23
1.2 Motivação e Objetivos.....	25
1.3 Metodologia de Desenvolvimento do Trabalho .....	26
1.4 Organização do Trabalho.....	29
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>31</b>
2.1 Considerações Iniciais .....	31
2.2 Meio Ambiente, Energia e Resíduos .....	31
2.3 O Conceito Energia .....	32
2.4 A Formação dos Recursos Naturais .....	34
2.5 As Fontes Alternativas de Energia .....	35
2.6 Energia da Biomassa .....	37
2.7 Tecnologias para Aproveitamento Energético de Resíduos .....	39
2.7.1 Tratamentos Biológicos.....	39
2.7.1.1 Compostagem .....	40
2.7.1.2 Digestão Anaeróbica .....	40
2.7.1.3 Aterros .....	40
2.7.2 Tratamentos Térmicos .....	41
2.7.2.1 Incineração.....	41
2.7.2.2 Gaseificação.....	42
2.7.2.3 Pirólise.....	44
2.7.2.4 Plasma.....	45
2.7.3 Comparativo das Tecnologias .....	46
2.8 Sistemas Híbridos .....	48
2.8.1 Sistemas Híbridos Isolados.....	48
2.8.2 Sistemas Híbridos Interligados .....	49
2.8.3 Sistemas Híbridos no Mundo .....	50
2.8.4 Sistemas Híbridos na Amazônia.....	53
2.9 Considerações Finais .....	55
<b>CAPÍTULO 3 - ENERGIA E EQUIDADE .....</b>	<b>56</b>

3.1 Considerações Iniciais .....	56
3.2 Dimensões Humanas da Energia .....	57
3.3 Consumo Energético e Desenvolvimento Sustentável .....	58
3.3.1 Relação Energia x Produto Interno Bruto.....	59
3.3.2 Relação Energia x Índice de Desenvolvimento Humano .....	61
3.4 Acesso à Eletricidade e Desenvolvimento Humano na Amazônia.....	64
3.5 Considerações Finais .....	65
<b>CAPÍTULO 4 - O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO .....</b>	<b>67</b>
4.1 Considerações Iniciais .....	67
4.2 Panorama Geral .....	67
4.2.1 O Sistema Interligado Nacional.....	69
4.2.2 Os Sistemas Isolados .....	70
4.3 A Dimensão Institucional do Setor Elétrico Brasileiro .....	73
4.4 O Programa Luz Para Todos .....	77
4.4.1 Estrutura Institucional do LPT .....	79
4.4.2 Fundos Estruturais do LPT .....	81
4.5 Considerações Finais .....	84
<b>CAPÍTULO 5 - DESAFIOS ESTRUTURAIS NO ACESSO UNIVERSAL À ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>86</b>
5.1 Considerações Iniciais .....	86
5.2 Desafios na Estrutura Institucional.....	87
5.3 Desafios nas Estruturas Tecnológicas .....	89
5.4 Desafios nas Estruturas de Financiamento .....	92
5.5 Considerações Finais .....	93
<b>CAPÍTULO 6 - USINA DE GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA DE JENIPAÚBA, ABAETETUBA.....</b>	<b>95</b>
6.1 Considerações Iniciais .....	95
6.2 Aspectos Sociais e Econômicos da Comunidade .....	96
6.3 Diagnóstico Energético da Comunidade .....	97
6.3.1 Potencial Solar.....	98
6.3.2 Potencial Eólico.....	98
6.3.3 Potencial de Biomassa.....	98

6.4 Usina de Gaseificação de Jenipaúba: Aspectos Técnicos e Operacionais.....	103
6.4.1 Sistema de Gaseificação .....	103
6.4.2 Limpeza e Filtragem do Gás de Síntese .....	105
6.4.3 Rede de Distribuição de Energia .....	107
6.5 A Agroindústria de Açai.....	108
6.6 Dimensionamento dos Sistemas de Energia.....	108
6.6.1 Sistema Fotovoltaico .....	109
6.6.2 Sistema Eólico .....	109
6.6.3 Sistema Biomassa .....	110
6.7 Situação Atual do Projeto .....	110

**CAPÍTULO 7 - USINA DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE SÃO SEBASTIÃO DA BOA VISTA, MARAJÓ..... 112**

7.1 Considerações Iniciais .....	112
7.2 Aspectos Sociais e Económicos do Município.....	113
7.3 Objetivos e Motivação do Projeto UAER-SSBV .....	114
7.4 Características Gerais do Empreendimento.....	115
7.5 Cenário Atual de Geração de Energia e Perspectivas Futuras.....	116
7.6 Diagnóstico dos Resíduos Municipais.....	117
7.7 A Escolha da Tecnologia.....	119
7.7.1 Características da Tecnologia de Pirólise Lenta a Tambor Rotativo.....	120
7.8 Área Escolhida para Localização do Empreendimento.....	121
7.9 Princípio de Funcionamento da UAER-SSBV .....	123
7.9.1 Resíduos Utilizados .....	124
7.9.2 Compostos Resultantes da Pirólise: Cinzas Inertes e Biocarvão.....	125
7.9.3 Efeitos do Biocarvão na Fertilidade do Solo .....	125
7.10 Especificações Técnicas .....	127
7.10.1 Dados Técnicos e Componentes Principais.....	127
7.10.2 Construção e Logística .....	129
7.10.3 Descrição da Subestação e Linha de Transmissão .....	130
7.10.4 Produção e Composição do Gás de Síntese.....	130
7.11 Meio Ambiente e Impactos Ambientais .....	131
7.11.1 Emissões Atmosféricas.....	132
7.12 Operação e Manutenção .....	133

7.13 Situação Atual do Projeto .....	134
7.14 Considerações Finais .....	135
<b>CAPÍTULO 8 - ANÁLISE FINANCEIRA E SOCIOECONÔMICA DOS SISTEMAS DE ENERGIA .....</b>	<b>137</b>
8.1 Considerações Iniciais .....	137
8.2 Aspectos Metodológicos.....	137
8.2.1 Indicadores de Custos de Investimentos e Receitas .....	138
8.2.2 Modelo de Análise Financeira.....	138
8.2.3 Modelo de Análise Socioeconômica .....	140
8.3 Estudo de Caso 1: Gaseificação como Tecnologia Social com Benefícios Ambientais ..	141
8.3.1 Sistema Fotovoltaico .....	141
8.3.1.1 Análise Financeira do Sistema Fotovoltaico .....	142
8.3.1.2 Análise Socioeconômica do Sistema Fotovoltaico.....	143
8.3.2 Sistema Biomassa.....	143
8.3.2.1 Análise Financeira do Sistema Biomassa.....	146
8.3.2.2 Análise Socioeconômica do Sistema Biomassa .....	146
8.3.3 Sistema Diesel .....	147
8.3.4 Custos de Geração de Energia.....	148
8.3.4.1 Custo de Energia do Sistema Fotovoltaico.....	148
8.3.4.2 Custo de Energia do Sistema Biomassa .....	148
8.3.4.3 Custo de Energia do Sistema Diesel.....	148
8.3.5 Comparativo dos Sistemas .....	149
8.4 Estudo de Caso 2: Saneamento Ambiental com Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos.....	151
8.4.1 Custos do Empreendimento.....	151
8.4.1.1 Custo Fixo e Variável de Operação e Manutenção .....	151
8.4.1.2 Custos de Implantação.....	153
8.4.2 Análise Financeira para o Sistema Pirólise .....	153
8.4.3 Análise Socioeconômica para o Sistema Pirólise.....	155
8.4.4 Custo de Geração de Energia.....	155
8.5 Considerações Finais .....	156
<b>CAPÍTULO 9 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>159</b>

9.1 Contribuições.....	159
9.2 Lições aprendidas .....	161
9.3 Trabalhos Futuros .....	163
<b>CAPÍTULO 10 - REFERÊNCIAS .....</b>	<b>164</b>

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 Contexto

O ser humano sempre buscou conhecimentos que ampliassem seu espaço como sujeito. O domínio do fogo marcou o espírito de controle no ser humano. Desde então as hierarquias vêm se expandindo e a sobrepujança na organização industrial moderna se estende por todo globo, justificada pelo crescimento econômico pautado no consumo. Esses fatores podem ser expandidos para a América Latina, pois essa grande nação latino-americana que se estende do Rio Grande no México, à Terra do Fogo na Argentina, possuem características semelhantes em relação às riquezas naturais, aos recursos energéticos, às tradições e cultura de um povo marcado pela predação na expansão do sistema capitalista dos países industrializados, que pertencem ao hemisfério norte do planeta, localização essa que impede de terem um aproveitamento eficaz dos recursos energéticos renováveis, devido à baixa incidência solar e pouca distribuição de biomassa sobre seus territórios (VASCONCELLOS; VIDAL, 1998).

Energia é o elemento fundamental para o desenvolvimento da sociedade humana, da pré-história ao estágio em que ela se encontra hoje (MUNIZ; ESTRÁZULAS, 2004). Uma relação de interdependência sociedade-energia traz grandes preocupações quanto ao futuro da humanidade. O modelo de desenvolvimento atual implica necessariamente no aumento do consumo de energia e existe ainda uma parcela significativa da população ávida por se desenvolver. Neste contexto, o encarecimento das fontes de energia convencionais, os impactos ambientais decorrentes do uso das fontes fósseis e o crescimento vegetativo da população confrontam a segurança energética das nações, criando ou acirrando conflitos geopolíticos globais (CAPRA, 2003).

Algumas opções se apresentam como possíveis soluções para o futuro da energia, que necessariamente devem passar por uma mudança no modelo de desenvolvimento, como

exemplo: um maior uso e incentivo às fontes renováveis; aplicação de eficiência energética nos processos industriais; desenvolvimento tecnológico baseado em tecnologias de ruptura; captura, sequestro e estocagem de carbono; estímulo à criação de políticas públicas voltadas à preservação ambiental e à proteção dos recursos hídricos e naturais (DELÉAGE; HÉMERY; DEBEIR, 1993).

Esta dissertação centra-se sobre o caso particular da Amazônia brasileira, onde foram feitos esforços importantes para fornecer acesso universal à energia elétrica em comunidades isoladas. Apesar deste limite geográfico, os resultados do estudo se aplicam em locais com geografia, clima e condições semelhantes de desenvolvimento dentro e fora do Brasil. O trabalho aborda questões relacionadas com a forma como o acesso universal à eletricidade vem sendo buscado na região amazônica durante a última década, que conquistas foram alcançadas, e que desafios se colocam para as áreas remotas. O estudo visa propor um caminho para alcançar o acesso universal à eletricidade de forma alternativa ao que vem sendo realizado. Propõem um modelo com base em geração descentralizada de energia utilizando fontes renováveis de biomassa residual para comunidades isoladas e uso de resíduos urbanos para os municípios pertencentes ao sistema isolado.

Os temas universalização e geração descentralizada com fontes renováveis são importantes objetos de debates políticos e acadêmicos, por implicar em soluções práticas para auxiliar o planejamento energético. O primeiro porque envolve a prestação de um serviço público de caráter essencial, de obrigação do Estado, cujo acesso deve ser por ele garantido, pois a falta da energia constitui fator importante de exclusão social (GALINDO, 2014). O segundo, porque a geração descentralizada com fontes renováveis representa uma efetiva possibilidade de minimizar os custos da eletrificação em áreas rurais, onde o seu suprimento energético torna-se de baixa atratividade para as concessionárias devido à dispersão geográfica e baixo consumo de energia (MUNIZ, 2013).

Ainda que exista um consenso de que o atendimento elétrico a estas áreas deva ser subsidiado, algo já inserido na formulação do programa de universalização, os subsídios devem restringir-se ao mínimo possível, por isso que alternativas de custo mínimo devem ser avaliadas e consideradas no planejamento energético das concessionárias que atendem as regiões onde estão localizados os sistemas isolados (GOMÉZ; SANCHES-PEREIRA; SILVEIRA, 2013).

A iniciativa de eletrificação rural brasileira tem atraído a atenção internacional devido às suas ambiciosas metas e realizações significativas em um período relativamente curto. Durante a última década, o Brasil reduziu o número de pessoas sem acesso a eletricidade no

país em 67%. Mais de 14 milhões de pessoas foram beneficiadas com o programa de eletrificação rural nacional (MME, 2010). No entanto, a iniciativa não tem sido igualmente bem-sucedida em todo o território nacional. As áreas remotas da região amazônica não se beneficiaram do programa e próximo de um milhão de pessoas ainda estão à espera de acesso aos serviços de energia elétrica. Como resultado, o programa foi recentemente adaptado com o objetivo de atingir as metas de universalização, adaptação essa que é discutida ao longo do trabalho (GALINDO, 2014).

Nem as concessionárias e nem as iniciativas descentralizadas existentes provaram ser eficazes em atingir a universalização da eletricidade em áreas remotas. Há um "vazio institucional" na implementação, operação e monitoramento dos sistemas isolados que tem impedido a obtenção de um acesso universal à eletricidade nessas áreas (GOMÉZ; SILVEIRA, 2010). O governo reconheceu a necessidade de implementação de um novo modelo, a fim de fornecer eletricidade às comunidades rurais dispersas, especialmente para aqueles que vivem na região Amazônia. Apesar de um esforço governamental significativo para adaptar a iniciativa de eletrificação rural, diversas questões permanecem quanto à eficácia real do sistema proposto em fornecer acesso universal à eletricidade, questões essas que a presente pesquisa procura abordar e com propostas de soluções com base em geração descentralizada através de fontes renováveis de biomassa residual e resíduos sólidos urbanos.

## 1.2 Motivação e Objetivos

O objetivo final desta pesquisa é mostrar as vantagens para a região amazônica no uso das fontes renováveis de energia sobre o modelo de extensão de rede convencional, e propor um caminho para facilitar a obtenção do acesso universal à energia elétrica em áreas remotas na Amazônia, com base em geração descentralizada de energia utilizando biomassa residual e resíduos sólidos urbanos.

O ponto de partida para a análise é fornecido pela decisão governamental de erradicar a falta de acesso à eletricidade no território nacional. No Brasil, o governo tem feito esforços significativos para aumentar o acesso à eletricidade e promover o desenvolvimento em áreas rurais e remotas. A política nacional para universalização do acesso à eletricidade levou a obtenção de bons resultados em termos de acesso à energia e desenvolvimento social. Embora estes resultados foram verificados nas áreas que estão próximas à rede elétrica, as áreas remotas da Amazônia continuam sem acesso aos serviços de energia elétrica. Essa é a principal

motivação desse trabalho. A análise realizada considera as dimensões institucionais, tecnológicas e econômicas.

A dissertação está focada nas seguintes questões de investigação:

- Qual a relação existente entre o acesso à energia elétrica e o desenvolvimento humano na Amazônia?
- Como o acesso à eletrificação vem sendo realizado na Amazônia e o que foi alcançado?
- Como as iniciativas atuais para fornecer acesso universal à eletricidade em áreas remotas na Amazônia podem ser melhoradas?
- Quais tecnologias de geração de energia são mais adequadas para a realidade da Amazônia e de maneira elas podem ser integradas ao contexto regional?

A primeira questão explicita a tênue relação existente entre energia e qualidade de vida. Os dados e referenciais necessários para fundamentar a resposta está no capítulo 3. A segunda questão está relacionada com os pontos fortes e fracos da iniciativa nacional de universalizar a energia e refere-se à análise institucional, tecnológica e de financiamento das estruturas que apoiam a iniciativa brasileira de eletrificação rural em áreas remotas. Uma análise detalhada é apresentada no capítulo 4. A terceira questão envolve a identificação dos desafios dentro das estruturas institucionais, tecnológicas e de financiamento de apoio à iniciativa de eletrificação rural em áreas remotas. O capítulo 5 levanta essa problemática e apresenta caminhos para solução. Por fim, a quarta questão aborda de que maneira prática podemos oferecer soluções para contribuir ao acesso universal à eletrificação nas áreas remotas. Sua resposta é discutida nos capítulos 6 e 7 através dos estudos de caso realizados na pesquisa. O capítulo 8 complementa os dois anteriores e mostra as vantagens econômicas em investir nas tecnologias renováveis para promoção do desenvolvimento regional.

### **1.3 Metodologia de Desenvolvimento do Trabalho**

Esta pesquisa é um estudo de caso que se concretiza através de vários métodos: levantamento bibliográfico para coleta de dados secundários; visitas técnicas, reuniões com atores envolvidos com a região, tais como órgãos institucionais, membros da associação local e gestores públicos; audiências públicas para validação de resultados, observações do local e das relações sociais e levantamento de dados através de elaboração e acompanhamento de projetos. Os dados coletados estão descritos ao longo do trabalho, na medida em que se ajustam aos temas estudados, notadamente, na apresentação dos estudos de caso.

O estudo é qualitativo naquilo que tange o conhecimento da comunidade quanto aos aspectos de qualidade de vida, de hábitos energéticos, às relações sociais, ao trabalho e geração de renda. Apresenta alguns dados numéricos que também servem para a análise qualitativa como, por exemplo, informações quanto ao consumo energético e geração de resíduos.

Para formular o problema de pesquisa e determinar as questões a se pesquisar, inicialmente foi realizado uma revisão bibliográfica relacionada aos temas: políticas públicas para eletrificação rural, planejamento energético, estruturação do setor elétrico, fontes renováveis de energia, energia da biomassa, tecnologias para aproveitamento energético de resíduos urbanos e sistemas híbrido de energia.

Com essa base de dados, foram identificados dois estudos de caso para embasar a pesquisa, levando em consideração a aplicabilidade dos resultados no sentido de contribuir para solucionar as fragilidades existentes nas políticas públicas e nos programas de eletrificação rural do setor elétrico brasileiro.

Os estudos de caso foram feitos com base em projetos existentes, um primeiro já executado em comunidade isolada, onde o autor teve participação no processo, com acompanhamento do desenvolvimento do projeto desde o ano de 2006. E um segundo projeto, em vias de captação de recursos para execução, onde o autor trabalhou na elaboração do mesmo desde o ano de 2012.

Para o Estudo de Caso 1 (Capítulo 6), aplicado em uma comunidade quilombola no interior do Pará, foram realizadas visitas à comunidade com os objetivos descritos abaixo:

- Agosto de 2006, onde o autor ficou durante sete dias participando de atividades pedagógicas com as lideranças comunitárias, no sentido de capacitar a população local para o correto uso da energia elétrica coletiva a ser oferecida pelo projeto. Foi elaborado uma cartilha sobre o uso racional da energia para a comunidade e escolas ribeirinhas da região;
- Agosto de 2007, retorno à comunidade para verificação da situação do projeto;
- Julho de 2009, acompanhamento em campo de uma doutoranda da KTH School of Industrial Engineering and Management, Suécia, no levantamento de dados para elaboração de sua Tese de Doutorado, defendida no ano de 2014;
- Junho de 2013, visita técnica, produzindo um relatório com fotografias e levantamento da situação atual do projeto, com a finalidade de retomar o contato com o Governo Estadual, na tentativa de reativar o projeto a pedido das lideranças comunitárias.

- Maio a setembro de 2014, participação de três reuniões dentro da estrutura governamental estadual, com participação de pesquisadores da UFPA, técnicos do Instituto para o Desenvolvimento do Estado do Pará (IDESP) e representantes da comunidade.

Para o Estudo de Caso 2 (Capítulo 7), aplicado em um Município da Ilha do Marajó pertencente ao sistema isolado, foram feitas as ações descritas abaixo:

- Maio a agosto de 2012, três visitas ao município, conduzindo duas audiências públicas para formação de um Comitê de Resíduos Sólidos dentro da estrutura municipal e capacitação de recursos humanos na área de saneamento ambiental na Secretaria Municipal de Meio Ambiente;

- Outubro e novembro de 2012, duas visitas técnicas para coleta e validação de dados para elaboração do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos conforme ordena a Política Nacional de Resíduos Sólidos;

- Fevereiro de 2013, uma visita para aprovação do plano de gestão de resíduos e da Lei Municipal de Resíduos Sólidos em audiência pública;

- Junho de 2013, visita técnica para coleta de dados para a elaboração do Projeto Básico de Engenharia Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos, descrito no estudo de caso 2;

- Julho de 2013 a fevereiro de 2014, participação de reunião na Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), com técnicos da instituição e gestores públicos do município trabalhado. Também nesse período, participação de reunião com representante da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, para apresentação do Projeto UAER-SSBV, objeto desse estudo de caso.

De posse desses dados, foi realizada análise dos resultados obtidos conforme objetivo da presente dissertação, mostrando os custos de implantação das tecnologias propostas e de que forma elas contribuem para mitigação dos problemas levantados no estudo. Ao final da pesquisa, é realizada uma análise de investimentos dos sistemas de energia estudados, com o intuito de chegar num custo final de energia elétrica para fins comparativos.

O trabalho de campo foi uma oportunidade não só para observar as comunidades em seu ambiente natural, mas também para obter percepções de pesquisadores, população local, concessionárias de energia e gestores públicos sobre a evolução e problemática da eletrificação rural na região, bem como para a escolha adequada das soluções tecnológicas propostas no trabalho.

## 1.4 Organização do Trabalho

Essa dissertação considera o caso da iniciativa brasileira de eletrificação rural com enfoque ao acesso universal à energia elétrica em áreas remotas na Amazônia. Apresenta casos de eletrificação em sistemas isolados que utilizam fontes renováveis de biomassa e resíduos sólidos urbanos. O trabalho está dividido em nove capítulos, que são descritos a seguir.

O Capítulo 1 introduz o tema da pesquisa e as motivações para realizá-la, define o objetivo da dissertação, a metodologia de trabalho, suas abrangências e limitações. Também descreve a organização do estudo.

O Capítulo 2 faz uma revisão bibliográfica relacionados aos temas meio ambiente, energia e resíduos. Aborda a formação dos recursos naturais e as fontes alternativas de energia, aprofunda o tema com foco na energia da biomassa e nas tecnologias existentes para aproveitamento energético de resíduos. Finaliza com uma revisão na literatura sobre os sistemas híbridos e suas aplicações existentes na Amazônia.

O Capítulo 3 discute o papel do acesso à eletricidade no desenvolvimento humano e usa o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para ilustrar a conexão entre essas duas variáveis. Apresenta conceitos básicos relativos ao acesso a eletricidade em áreas remotas e mostra como a cobertura de energia elétrica e o IDH evoluíram na região amazônica durante a última década.

O Capítulo 4 descreve o setor elétrico brasileiro e a iniciativa de eletrificação rural nacional desenvolvido nos últimos anos para fornecer acesso universal a eletricidade no país. Discute como a eletrificação rural evoluiu desde o início do programa nacional Luz Para Todos (LPT) e ilustra como sua estrutura institucional com o seu sistema centralizado bem estabelecido, levou à realização de metas mensuráveis em áreas que estão perto da rede convencional. O capítulo destaca o papel essencial das concessionárias e a abordagem em extensão da rede para o sucesso do processo de implementação.

O Capítulo 5 destaca as fragilidades do modelo implementado, principalmente nas áreas remotas, e identifica três grandes desafios que ainda precisam ser abordados para alcançar as metas de universalização. Em primeiro lugar, existe uma necessidade de adaptação das estruturas institucionais existentes. Em segundo lugar, a harmonização das tecnologias com o contexto regional é essencial. Em terceiro lugar, uma utilização mais eficaz dos fundos governamentais no âmbito do regime atual de subsídio será crucial para promover a iniciativa de eletrificação rural na região.

No Capítulo 6, é apresentado um estudo de caso com base em arranjo produtivo local, aplicado em uma comunidade isolada com uso de tecnologia social para suprimento energético de uma agroindústria familiar.

No Capítulo 7 o estudo de caso é aplicado em um município pertencente aos sistemas isolados, onde é proposto uma tecnologia para aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos que contribui para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis na região.

O Capítulo 8 apresenta uma análise econômica e financeira para cada estudo de caso, com uma análise comparativa entre tecnologias. Mostra o custo de geração de energia de cada sistema avaliado. Em ambos os casos é feito uma análise financeira dos resultados, apresentando parâmetros como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo ( $R_{b/c}$ ) e tempo de retorno do investimento (*Payback*).

Por fim, o Capítulo 9 sistematiza os resultados e apresenta as contribuições da pesquisa para o contexto atual de crise energética e oportunidades nos setores de tratamento de resíduos urbanos e geração descentralizada com fontes renováveis. Mostra as limitações do trabalho, discorrendo sobre as lições aprendidas no decorrer da pesquisa, e finaliza propondo trabalhos futuros para contribuir na mitigação das limitações apresentadas, indicando potenciais tópicos para futuras pesquisas.

# Capítulo 2

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 Considerações Iniciais

Para formar uma base de conhecimento visando atender os objetivos do presente trabalho, uma revisão de conceitos relacionados aos temas ambiente, energia e resíduos fez-se necessário. Nesse capítulo é apresentado os resultados dessa revisão bibliográfica realizada, onde os conceitos ambientais se cruzam com os parâmetros energéticos e a problemática resíduária.

Após uma introdução sobre o conceito energia, uma breve explanação sobre a formação dos recursos naturais e sua relação com a origem das fontes de energia é feita, onde é mostrado a versatilidade do uso da energia da biomassa em particular. Segue com uma síntese das principais tecnologias existentes para o aproveitamento energético dos resíduos, com ênfase dada aos sistemas de gaseificação de biomassa resíduária e à tecnologia de pirólise de resíduos urbanos, objetos de estudo desse trabalho. Encerra com uma explanação sobre os sistemas híbridos, traçando um panorama das tecnologias já testadas no mundo e um levantamento dos projetos executados na Amazônia.

### 2.2 Meio Ambiente, Energia e Resíduos

Durante o século XX, a constante substituição da madeira pela energia derivada dos combustíveis fósseis conduziu a humanidade a uma sequência de acontecimentos que aumenta, cada vez mais rapidamente e em proporções cada vez mais consideráveis, o rendimento dos sistemas de produção e a taxa de crescimento econômico do planeta, tornando as tecnologias cada vez mais aperfeiçoadas e produtivas, mas também cada vez mais consumidoras de energia.

Entre 1973 e 1979 passamos por duas crises energéticas devido à escassez do petróleo; em 1974 uma crise econômica; 1986 uma terceira crise do petróleo e junto com isso o acidente nuclear de Chernobyl. Mais recente, em 2012, temos a catástrofe nuclear de Fukushima, com consequências ainda sentidas nos dias de hoje. Esses adventos nos ajudam a perceber que a crise energética e econômica que estamos inseridos vem a ser também uma crise ambiental (DELÉAGE; HÉMERY; DEBEIR, 1993).

Com a problemática ambiental dos combustíveis fósseis e a inconsequência do uso da energia nuclear, verificamos o desmoronamento do sistema energético atual. A partir do século XIX, o desenvolvimento das linhas energéticas fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) e a hidroeletricidade, permitiram temporariamente reverter esta tendência, pois essas duas linhas energéticas baseadas em fontes concentradas de energia, favorecem a expansão industrial, a acumulação materialista e o controle das redes energéticas.

Com isso, as fontes fósseis tornaram-se o instrumento preferencial da expansão tecnológica moderna e as energias renováveis, sobretudo a energia da biomassa, foram progressivamente abandonadas. Esses hábitos de mimetismo cultural, herdados do período colonial e mantidos desde então pela dependência tecnológica, conduziram os países tropicais a excluírem de seus planos de desenvolvimento as fontes renováveis de energia, em especial a biomassa energética. Ela não é apenas uma alternativa energética ou opção tecnológica, mas sim uma escolha política que ameaça a concentração da riqueza e do poder de decisão nas mãos de grupos minoritários que dominam a ordem econômica internacional (VIDAL, 1994).

Expandir esse conceito para as regiões isoladas, que compreendem milhares de comunidades sem acesso à energia elétrica, é mesclar tecnologia com sociedade e meio ambiente. Para isso, são necessários sistemas descentralizados de geração de energia em pequena escala, possuindo um conteúdo tecnológico de fácil aprendizado na operação e manutenção, requisito básico para o sucesso da escolha da tecnologia na implantação de projetos sociais de eletrificação rural na Amazônia.

## **2.3 O Conceito Energia**

Embora se fale muito sobre energia, não se sabe exatamente o que ela é. Cientistas, esotéricos e religiosos, artistas e infindáveis manifestadores do pensamento humano tentam entender o que é a energia em suas especialidades. A ciência tem sua interpretação através da Física, assim como os religiosos realizam a sua por meio da fé. Fazem considerações e nenhuma

visão é anulada, não são antagônicas, são interdependentes. Livre de uma definição específica, a energia apresenta-se em qualidades sujeitas a transformação. A ciência classifica e quantifica os tipos de energia identificados, observando e analisando suas formas e estruturas em diferenciados contextos. A busca é da melhor utilização através da minimização do desperdício, pois dependemos da energia. Seu uso é intrínseco ao ser humano e mesmo que não a estudássemos continuaríamos a usá-la (MUNIZ; ESTRÁZULAS, 2004).

A ingestão de alimentos é aquisição de energia distribuída no organismo através da água, que é o principal fluido condutor nos sistemas vivos. Atividades biológicas como respirar, locomover e reproduzir dependem de nutrição contínua. A possibilidade e a disponibilidade de mantimentos e água aumentam quando existe um abrigo para se proteger. Alimentação e proteção são as duas necessidades básicas que realizam as demais, seja a propagação das espécies, organização em grupos e sociedades ou para comunicação entre indivíduos e coletivos. Na alimentação ocorre uma diferença de temperatura que é ocasionada por uma reação físico-química entre o alimento ingerido e o organismo. É através do metabolismo que se absorve o calor contido nos alimentos. A unidade chamada de caloria nada mais é do que a capacidade que todo alimento possui de causar diferenças de temperaturas ao ser ingerido. É um conceito criado no século 19 pelos cientistas e pesquisadores que estudavam a propagação do calor.

Reconhecer a mudança de temperatura permitiu a primeira noção de energia ao ser humano. O aquecimento de um corpo qualquer acelera o movimento das partículas que o compõem, ocasionando um aumento de temperatura e permitindo que entrem em reação, causando uma variação energética. Observou-se que a combustão libera calor e provoca uma variação de volume, causando um efeito mecânico. Com a necessidade de desvendar em que condições o calor produz esse efeito, nasce a ciência da termodinâmica, frente a uma nova problemática acerca das transformações sofridas nos corpos pela variação de calor. Não importa, a princípio, a natureza do calor ou da sua ação sobre os corpos, mas a sua utilização e capacidade em fazer um motor girar (MUNIZ; ESTRÁZULAS, 2004).

Através de experimentos com máquinas térmicas, de análises realizadas com o movimento de partículas em gases e fluídos e estudos da propagação de calor entre corpos de diferentes temperaturas, desenvolve-se uma nova sociedade, baseada na produção em escala industrial. A gradual substituição da lenha (biomassa vegetal) pelo carvão (biomassa fóssil), aumentou o rendimento das máquinas, pois a combustão do carvão libera mais energia para o sistema que a lenha. A “força” oferecida pela queima do combustível passou a se chamar

trabalho. E a energia passou a ser entendida como a capacidade de realizar trabalho e liberar calor.

Essa definição ficou embasada dentro de princípios considerados pela ciência como “leis naturais”. A primeira lei diz que a energia não se cria nem se perde, se transforma. E essa transformação causa uma mudança qualitativa (tipo, forma, estrutura) sem alterar a quantidade (medida), fazendo com que ela se conserve. Porém, sempre que a usamos, parte dela fica inutilizada. Isso é o que diz a segunda lei. A energia continua existindo, mas não é possível canalizá-la para realizar mais trabalho, pois foi liberada para o meio sob a forma de calor. Essa propagação de calor produz um fluxo de energia que foi denominado entropia (MUNIZ, 2006).

Portanto, na linguagem da termodinâmica, energia é a capacidade de realizar trabalho e irradiar calor e entropia é o fluxo de calor irradiado. Ambas são mensuráveis, calculadas através de formulações matemáticas desenvolvidas no contexto em que vivia a sociedade ocidental no período da chamada revolução industrial: geométrica e progressiva (VASCONCELLOS; VIDAL, 1998).

Toda formação de recursos bióticos surge da transformação da energia radiante em química (a produção de hidratos de carbono, gorduras e proteínas a partir da fotossíntese) e da energia química em mecânica e térmica no metabolismo celular. A origem dos recursos abióticos é produto das reações nucleares e químicas nas diferentes fases de formação da Terra (LEFF, 1994). Portanto, com a noção do que é energia a partir da ideia de trabalho mecânico (século XVIII), com sua extensão ao conceito de calor (início do século XIX), possibilitou criar-se uma imagem de que energia é uma pura realidade física controlável por processos técnicos segundo uma lógica puramente econômica. O estudo desses processos e dessa lógica formou a base da reflexão histórica sobre a energia, que foi pensada como um dado bruto, considerada neutra, ilimitada e inesgotável como a água ou o oxigênio, desprovida de qualquer influência sobre a evolução social (DELÉAGE; HÉMERY; DEBEIR, 1993).

## **2.4 A Formação dos Recursos Naturais**

Toda produção de valores de uso implica num processo social de transformação da matéria e da energia acumuladas no planeta. Esse processo de formação, acumulação, distribuição e utilização dos recursos do subsolo, da biosfera e da cultura evoluem através de etapas das quais, partindo de uma história natural, desembocam em uma história social de

apropriação da natureza. Conforme Leff (1994), dentro de uma perspectiva histórica, cabe distinguir as seguintes fases de formação dos recursos naturais:

1. A distribuição geográfica dos recursos abióticos (minerais, petróleo, carvão, etc.) em épocas anteriores a aparição do homem no mundo. Constituem os recursos não renováveis e sua formação corresponde a processos naturais milenares;

2. A formação de biomassa na biosfera, a partir do processo fotossintético de matéria vegetal, que possibilita a origem da flora e fauna dos ecossistemas do planeta e sua utilização como recursos naturais renováveis;

3. A transformação técnico-cultural de matéria e energia acumulada como recursos naturais (solos, minerais, fontes hidráulicas, hidrocarbonetos, recursos bióticos) em valores de uso;

4. A transformação tecnológica do meio natural para a elaboração dos meios de produção (o conjunto de técnicas, maquinarias, equipamentos, processos tecnológicos) e dos recursos naturais em bens de consumo, mediante processos de trabalho.

Com a crise ambiental dos combustíveis fósseis, a inviabilidade ecológica do carvão e a incoerência do uso da energia nuclear, ocorre o desmoronamento do sistema energético atual. A partir do século XIX, o desenvolvimento das linhas energéticas baseadas nos fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) e na hidroeletricidade permitiu temporariamente reverter esta tendência, pois essas duas linhas energéticas baseadas em fontes concentradas de energia, favorecem a concentração industrial, a acumulação materialista e o controle das redes energéticas (DELÉAGE; HÉMERY; DEBEIR, 1993).

Com isso, essas fontes concentradoras tornaram-se o instrumento preferencial da expansão tecnológica moderna e as energias da biomassa foram progressivamente abandonadas. Esses hábitos de mimetismo cultural, herdados do período colonial e mantidos desde então pela dependência tecnológica, conduziram os países tropicais a excluir de seus planos de desenvolvimento a biomassa energética (VIDAL, 1994).

## **2.5 As Fontes Alternativas de Energia**

Relativamente ao problema da energia e de todos os outros que lhe estão associados, a sociedade humana encontra-se numa encruzilhada com dois caminhos possíveis. O primeiro conduz a uma rápida expansão de altas tecnologias centralizadas (tecnologias de ponta) que

aumentarão o fornecimento de energia, sobretudo na forma de eletricidade; baseia-se na utilização da energia nuclear e dos combustíveis fósseis.

O segundo assenta-se no rápido desenvolvimento da utilização em quantidade e qualidade das fontes de energia renováveis (tecnologias alternativas, descentralizadas); em um curto e médio prazo, estas tecnologias alternativas deverão ser combinadas com tecnologias transitórias, que utilizarão com conhecimento de causa os combustíveis fósseis, cujas reservas ainda são consideráveis.

As principais fontes de energia renováveis são oriundas, sobretudo da energia solar, que podem ser divididas em duas formas:

1. A energia solar direta, que inclui:

- Conversão direta fotovoltaica em eletricidade (células solares);
- Conversão indireta por produção de vapor (centrais térmicas);
- Produção de calor para o aquecimento direto da água;
- Produção de biomassas (conversão biológica) pela fotossíntese das plantas.

2. A energia solar indireta, com:

- Hidroeletricidade (barragens hidráulicas, moinhos de água);
- Energia eólica (força do vento);
- Energia geotérmica (diferenças de temperaturas entre a superfície e a profundidade das terras e dos mares);
- Energia das marés (variações diárias do nível das águas do mar);
- As células combustíveis, que utilizam o princípio de aproveitamento da energia do hidrogênio através de um combustível, que pode ser originado de fontes renováveis, como o biogás.

A fixação física da energia solar apresenta alguns inconvenientes, entre eles o fato da energia solar estar espalhada por superfícies imensas e difusas, sendo necessário concentrá-la. E a problemática do uso de acumuladores químicos (baterias), que são causadores de grande impacto ambiental. Já existe disponível tecnologia de aproveitamento solar sem a necessidade de baterias, que interliga placas fotovoltaicas à rede elétrica pública. Porém essa tecnologia necessita da rede elétrica e ainda não está plenamente competitiva em relação ao custo de energia gerada (VIDAL, 1994).

Esses inconvenientes não existem no caso dos tapetes vegetais, que podem captar a luz na quase totalidade da superfície dos continentes e dos oceanos, elaborando através do funcionamento dos ecossistemas as mais diversas biomassas, e que podem acumular a energia

solar sobre diversas formas, como madeira, produtos agrícolas ou outros materiais biológicos diversos (manta morta, húmus, turfa), sendo possível armazenar durante muito tempo e recuperar quando desejar.

## 2.6 Energia da Biomassa

Entende-se como biomassa qualquer matéria orgânica de origem animal (zoomassa) ou vegetal (fitomassa). Uma ideia inicial do potencial energético da biomassa, nos mostra que uma tonelada de matéria orgânica seca possui em média 5 Gcal ( $5 \times 10^9$  cal), que correspondem a 0,4 tep\*, ou seja, um pouco menos da metade do equivalente em petróleo, porém com a vantagem de ser abundante e distribuído pelo território global (DUVIGNEAUD, 1980).

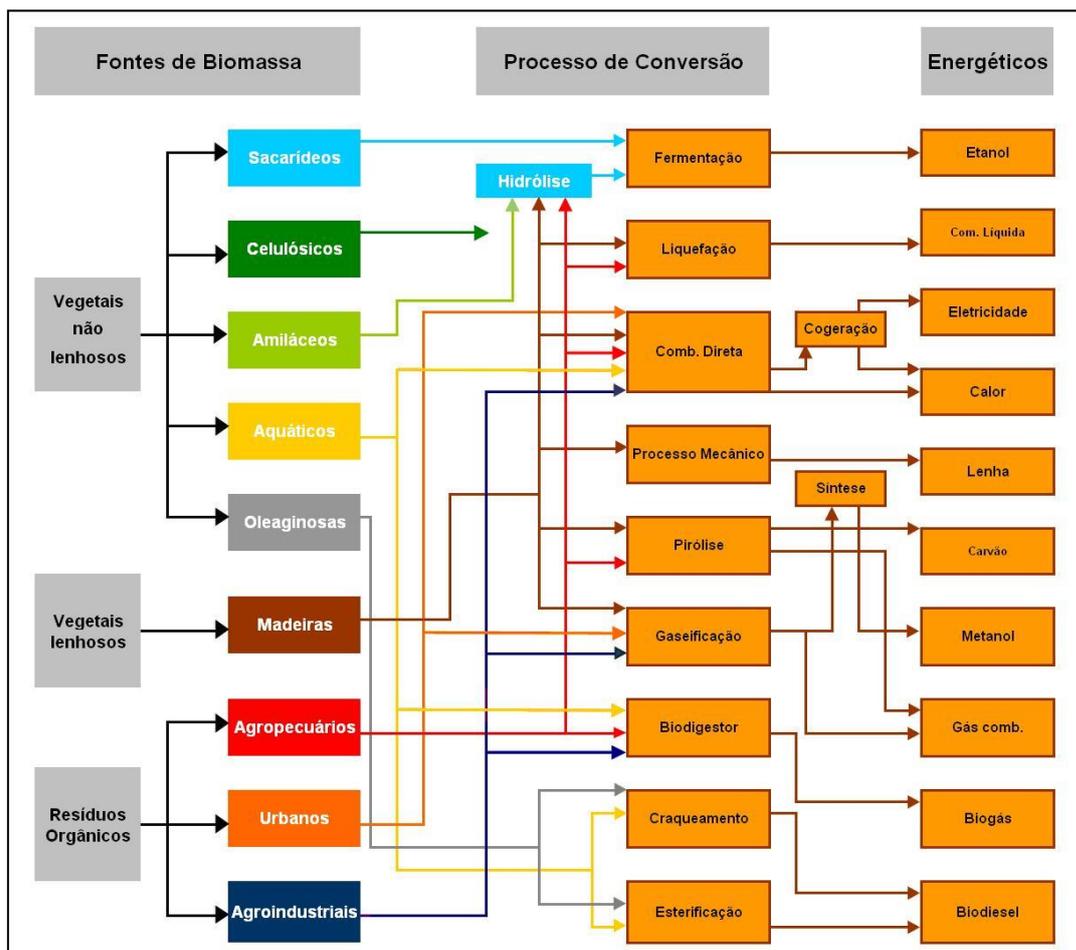
O aproveitamento energético da biomassa pode ser feito de diversas formas, conforme mostra a Figura 1. Desde a combustão ou queima direta, passando por processos de gaseificação, ciclos de geração utilizando vapor ou gás, uso na forma de trabalho mecânico através do álcool combustível ou óleos vegetais, até na forma de aproveitamento bioquímico através da decomposição anaeróbica, a energia da biomassa mostra-se bastante versátil e flexível nas suas aplicações tecnológicas.

A introdução da energia da biomassa confere um novo valor estratégico a recursos que se distribuem de forma bastante dispersa sobre todo o território, principalmente nos países tropicais. Ao contrário dos combustíveis fósseis que estão concentrados em determinadas partes do planeta, a energia da biomassa se distribui por todo o espaço geográfico. Assim, a utilização da biomassa está sempre ligada à ocupação territorial, à valorização estratégica da terra como fator de produção.

---

\* Tonelada Equivalente de Petróleo (tep): unidade de energia definida como o calor liberado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, equivalente em média a 42 giga joules ou 11,630 MWh

Figura 1 - Aproveitamento energético da biomassa.



Fonte: ANEEL (2008).

Na implantação do aproveitamento energético da biomassa, as economias de escala passam a ter importância secundária; os equipamentos tecnológicos são relativamente simples; os custos de capital são minimizados; o conteúdo tecnológico de base pode ser facilmente aprendido e difundido. Assim, fica favorecida a descentralização, as iniciativas locais, a pequena e média indústria, a agricultura familiar, a inovação tecnológica realizada através de pequenos passos. Como resultado, temos uma melhor ocupação territorial, uma distribuição de renda mais justa e uniforme, alterando profundamente as estruturas econômicas, sociais, políticas e culturais desenvolvidas com base nos combustíveis fósseis (MUNIZ, 2006).

A biomassa não é apenas uma alternativa energética ou opção tecnológica, mas sim uma escolha política que ameaça a concentração da riqueza e do poder de decisão nas mãos de grupos minoritários que dominam a ordem econômica internacional (VIDAL, 1994).

Expandir esse conceito para as regiões isoladas, que compreendem milhares de comunidades sem acesso à energia elétrica, é mesclar tecnologia com sociedade e meio ambiente. Para isso, são necessários sistemas descentralizados de geração de energia em

pequena escala, possuindo um conteúdo tecnológico de fácil aprendizado na operação e manutenção, requisito básico para o sucesso da escolha da tecnologia na implantação de projetos sociais de eletrificação rural na Amazônia.

## **2.7 Tecnologias para Aproveitamento Energético de Resíduos**

A destinação inadequada dos resíduos compromete a saúde humana e o meio ambiente, ao contaminar os recursos hídricos com o chorume e ao liberar na atmosfera o gás metano, que é um dos principais causadores do efeito estufa.

Para atingir os objetivos traçados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, é fundamental a utilização de todas as possibilidades para disposição e tratamento, em especial a não produção, a coleta seletiva, a reciclagem e o aproveitamento energético dos resíduos sólidos, de modo a minimizar a solução provisória e não sustentável representada pelos aterros sanitários (MMA, 2010).

Uma das consequências dessa nova política e da regulamentação do setor será a introdução no mercado brasileiro de novas tecnologias para o tratamento e o aproveitamento energético dos resíduos sólidos. As tecnologias para tratamento de resíduos sólidos podem ser divididas basicamente em duas partes: as que utilizam o tratamento biológico e as que utilizam o tratamento térmico (REICHERT, 2012). A seguir é apresentado uma breve descrição das principais tecnologias de tratamento de resíduos sólidos, com suas vantagens e desvantagens.

### **2.7.1 Tratamentos Biológicos**

O tratamento biológico consiste na digestão da matéria orgânica por bactérias, salientando que materiais não orgânicos ou orgânicos de difícil degradação (couro, madeira, etc.) não são completamente processados pelo tratamento biológico.

Quando temos presença de oxigênio no processo biológico, chamamos de digestão aeróbica, como é o caso da compostagem, processo que transforma a matéria orgânica em composto orgânico, gás carbônico e água. Quando temos ausência de oxigênio, chamamos de digestão anaeróbica, caso dos biodigestores e dos aterros, que transformam a matéria orgânica em composto orgânico não estabilizado, metano e gás carbônico.

### **2.7.1.1 Compostagem**

A compostagem proporciona a estabilização dos materiais biodegradáveis, de modo a limitar os riscos ambientais e sanitários (produção de chorume, metano e patógenos). Em contrapartida é necessária uma grande área para sua implantação e frequentemente se observa a produção de odores. Além das dificuldades técnicas existem barreiras comerciais a serem superadas, em relação à colocação do produto no mercado, pois poucos consumidores confiam em utilizar composto proveniente de resíduos em suas atividades agrícolas.

### **2.7.1.2 Digestão Anaeróbica**

O processo de digestão anaeróbica utiliza micro-organismos que se proliferam na ausência de oxigênio e por produzirem metano, também são chamados metanogênicos. Para garantir a ausência de oxigênio normalmente é utilizado um reator fechado com a matéria orgânica difundida em solução aquosa (ANDRADE *et al.*, 2002).

O processo anaeróbico é mais lento e menos completo que o processo aeróbico, além de adicionar complexidades tecnológicas significativas. Algumas poucas vantagens do processo em comparação com a compostagem é a geração de energia elétrica, mesmo que com baixa eficiência e a não produção de odores. O produto final não é totalmente estabilizado e deve ser tratado aerobiamente por compostagem (ANGONESE *et al.*, 2006).

### **2.7.1.3 Aterros**

O aterro sanitário é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar, que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite uma confinamento segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

O aterro controlado se caracteriza basicamente pelo simples enterramento do lixo, não se levando em conta os problemas ambientais resultantes da sua decomposição. Este termo é usado erradamente como sinônimo de aterro sanitário, muito embora o método elimine os aspectos indesejáveis dos depósitos de lixo a céu aberto. Se originam, na maioria das vezes, da desativação de lixões. Além dos inconvenientes de ordem estética, os problemas ambientais decorrentes da disposição do lixo referem-se prioritariamente à poluição e/ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas (CUNHA, 2002).

A constante lixiviação dos resíduos e rejeitos pelas águas de chuva, assim como a sua decomposição resultam na formação de um líquido de cor acentuada e odor desagradável, de elevado potencial poluidor, comumente denominado chorume. A lixiviação contribui de forma significativa para o enriquecimento do chorume com substâncias químicas nocivas. Este líquido é basicamente formado por umidade natural do lixo, água de chuva, água de constituição de determinados componentes do lixo, liberada na sua decomposição, água gerada no processo de decomposição biológica, substâncias orgânicas e inorgânicas solúveis, naturalmente presentes no lixo e substâncias orgânicas solubilizadas pela ação de microrganismos no processo de decomposição (CASTILHOS JUNIOR *et al.*, 2002).

O chorume caracteriza-se desta forma, como um efluente com elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), quando encaminhado para cursos d'água, o que causa o fenômeno conhecido como eutrofização, onde a redução dos teores de oxigênio dissolvido atinge níveis incompatíveis com a sobrevivência de peixes e outros organismos aquáticos. Ainda sob o ponto de vista ambiental, o chorume caracteriza-se como fonte potencial de microrganismos patogênicos, comumente presentes no lixo domiciliar.

## **2.7.2 Tratamentos Térmicos**

Existe uma enorme variedade de processos térmicos em funcionamento e em desenvolvimento no mundo. Desde tecnologias que utilizam a combustão dos mesmos direta ou indiretamente, como a incineração, a gaseificação, a pirólise, o plasma e a carbonização, e tecnologias que não utilizam a combustão, mas apenas aquecem os resíduos com o objetivo de esterilizá-los, como é o caso da tecnologia de autoclave e de micro-ondas utilizadas especialmente com resíduos hospitalares.

### **2.7.2.1 Incineração**

A combustão de resíduos sólidos gera uma série de elementos perigosos, como ácido clorídrico, ácido fluorídrico, dioxinas, furanos, metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, extremamente nocivos e exceto os dois primeiros, cancerígenos.

Dioxinas e furanos não ocorrem naturalmente, são frutos principalmente da era industrial, em especial no século XX, formados como subproduto não intencional de vários processos envolvendo o cloro ou substâncias e/ou materiais que o contenham, como a produção de diversos produtos químicos, em especial os pesticidas, branqueamento de papel e celulose, incineração de resíduos, incêndios, processos de combustão (incineração de resíduos de

serviços de saúde, incineração de lixos urbanos, incineração de resíduos industriais) entre outros (HENRIQUES, 2004; EUROPEAN COMMISSION, 2006).

Para evitar que esses elementos sejam liberados na atmosfera se faz necessário a instalação de uma série de filtros e processos para abater esses poluentes. Embora os sistemas de lavagem de gases modernos sejam extremamente eficientes nessa tarefa, eles ocupam a maior parte da área da usina e representam até 35% do custo total. Essa é uma das razões que inviabilizam incineradores de pequena capacidade, pois somente com o ganho de escala é possível compensar os custos elevados do incinerador e dos filtros (capacidades superiores a 500 ou 1000 ton/dia de resíduos). Outro ponto importante é que ao abater os poluentes dos gases de combustão, os filtros captam as cinzas volantes, onde se concentram dioxinas, furanos, metais pesados, etc., o que pode causar danos graves ao meio ambiente e à saúde pública se não disposto de forma adequada (HENRIQUES, 2004).

### **2.7.2.2 Gaseificação**

O processo de gaseificação de combustíveis sólidos é bastante antigo, tendo como objetivo produzir um combustível gasoso através do sólido, com melhores eficiências de transporte e combustão, utilizando-o como matéria prima para diversos processos. Entre as aplicações dos gases produzidos, podemos destacar o uso como combustíveis para fornos, motores a diesel e a gasolina (ciclo Otto), turbinas a gás, geradores de vapor, até como matéria-prima para produção de gás de síntese para metanol, amônia, entre outras.

A gaseificação é um processo intermediário entre a incineração e a pirólise. Isto significa que ar/oxigênio é inserido no reator, mas a quantidade não é suficiente para permitir que o combustível seja completamente oxidado. É uma tecnologia promissora para a utilização da biomassa e de outros resíduos, devido ao baixo impacto causado ao meio ambiente e contribuir para a redução das emissões atmosféricas do CO<sub>2</sub> (KIRUBAKARAN *et al.*, 2009). Todo gaseificador tem uma etapa de pirólise precedendo a etapa de gaseificação, e as reações envolvidas podem ser analisadas separadamente. O poder calorífico do gás produzido é da ordem de 5.500 kJ/Nm<sup>3</sup>, considerando o nitrogênio presente no ar (SRIDHAR *et al.*, 2005). Diversos fatores podem alterar a composição do gás de síntese, entre eles a temperatura, pressão, umidade do combustível, teor de oxigênio no agente gaseificador e tipo de combustível. A composição típica do gás de síntese produzido na gaseificação é em média 48% Nitrogênio, 21% Monóxido de Carbono, 9% Dióxido de Carbono, 14% Hidrogênio, 5% Vapor d'Água e 2% Metano (KIRUBAKARAN *et al.*, 2009).

A biomassa pré-tratada (teor de umidade baixo) é convertido em gás através das reações de gaseificação, para posterior ser resfriado e purificado. O gás limpo pode ser utilizado em queimadores para produção de calor, ou em motores para obtenção de energia elétrica, numa mistura de 80% gás de síntese + 20% diesel, ou 100% gás para motores ciclo Otto. Segundo Sridhar *et al.* (2005), uma variante desse processo pode ser obtida no sentido de simplificar a produção de calor, passando o gás produzido diretamente para o queimador sem a necessidade de resfriamento ou filtragem.

A tecnologia de gaseificação é exclusivamente utilizada para materiais que possuem composição homogênea e com baixa umidade, como a biomassa residuária seca. No passado houveram diversas tentativas de se utilizar gaseificadores para tratar resíduos heterogêneos como os resíduos sólidos urbanos, praticamente todas foram barradas por problemas de vitrificação das cinzas e instabilidade do processo (HENRIQUES, 2004; FAAJ *et al.*, 2005).

Os gaseificadores podem ser classificados segundo a pressão, em atmosféricos ou pressurizados, e segundo o tipo de leito, em fixo ou fluidizado. Os gaseificadores de leito fixo são os mais simples e mais adequados para a utilização em pequenas unidades de geração. Podem ser de fluxo cruzado (*cross draft*), co-corrente (*down draft*) ou contracorrente (*up draft*).

Os gaseificadores de leito fixo apresentam a vantagem de utilizarem tecnologias simples, porém são limitados no dimensionamento da planta, entre 10 a 15 toneladas de biomassa seca por hora, com temperaturas médias de 1000°C. Trabalham com combustíveis de alta densidade e granulometria variando entre 10 a 100mm (SRIDHAR *et al.*, 2005).

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. Trabalha com um leito de granulometria de 250mm, que geralmente intensifica a troca de calor entre as partículas, aumentando a eficiência do processo. Permite trabalhar com uma ampla faixa de combustíveis sólidos, além de ser um sistema de maior capacidade produtiva, por consequência ser de maior porte.

No estudo de caso apresentado no Capítulo 6, foi utilizado um sistema de microgeração através de gaseificador de leito fixo, co-corrente e topo aberto, pois esse modelo possui característica mais adaptáveis à realidade amazônica, conforme diversos estudos e pesquisas apontam. Podemos verificar em Neto (2006) e Rosa (2007) as vantagens desse modelo em

relação aos demais, levando em consideração o atendimento das especificidades de comunidades isoladas, baixo custo, tecnologia simples, fácil manutenção e operação.

No gaseificador co-corrente o ar e o gás fluem para baixo, na mesma direção que o combustível alimentado pelo topo. Neste tipo de gaseificador, o ar injetado no gaseificador pode queimar até 99,9 % do alcatrão liberado pelo combustível, daí ele receber a denominação “queima de alcatrão” (MUKUNDA; DASAPPA; SHRINIVASA, 1993).

A característica essencial deste gaseificador é que ele é projetado de modo que o alcatrão e voláteis provenientes da zona de pirólise são direcionados a passar pela zona de combustão onde, com condições de operação controladas, serão craqueados. Quando isto acontece, esse alcatrão será convertido em fase leve e coque e a mistura dos gases na saída são relativamente livres de alcatrão. Sendo assim, o arranjo da zona de combustão é um elemento crítico nos gaseificadores co-corrente.

Uma variante deste gaseificador é o gaseificador de topo aberto para biomassa polidispersa com entrada de ar pela parte superior a fim de se evitar altas temperaturas e consequente fusão das cinzas. Essa variante de topo aberto é o utilizado no estudo de caso apresentado nesse trabalho. Estudos conduzidos com o modelo topo aberto tem mostrado maior versatilidade e flexibilidade no uso de diferentes biomassas, assim como um custo mais baixo e com um conteúdo tecnológico mais fácil de aprendizado para operação e manutenção.

### 2.7.2.3 Pirólise

A pirólise consiste na degradação térmica de hidrocarbonetos na ausência de oxigênio. Este processo requer uma fonte externa de calor para aquecer a matéria e a temperatura pode variar de 300°C a mais de 1000°C.

Pela definição já se observa que qualquer processo térmico a temperaturas superiores a 300°C e na ausência de oxigênio são considerados métodos de pirólise, o que torna o termo extremamente abrangente. Conforme Reichert (2012), podemos fazer uma distinção quanto aos parâmetros de operação como tempo de residência dos resíduos e a temperatura a qual ele é submetido:

- Pirólise Lenta - Temperaturas de 400°C e longos períodos de residência (40min – 1 hora).
- Pirólise Rápida - Temperatura entre 400°C e 600°C e períodos curtos ( $t < 2$  segundos).
- Flash Pirólise - Temperaturas superiores a 800°C e períodos curtos ( $t \sim 1$  segundo).

Os processos de pirólise utilizados para tratamento de resíduos sólidos urbanos que tiveram sucesso são quase que exclusivamente os que utilizam a pirólise lenta (CONTI, 2009).

Uma característica dessa tecnologia é a modularidade, onde é possível atender desde pequenas quantidades de resíduos com populações de 10 a 20.000 habitantes, até grandes quantidades de resíduos gerados, acima de 300.000 habitantes (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013).

Os tipos de reatores utilizados em processos de pirólise podem ser divididos em diferentes modelos, segundo indica Reichert (2012), nos quais o modo de movimentação e aquecimento dos resíduos difere significativamente. A classificação quanto a tipos de reatores:

- Tambor Rotativo – Temperaturas de operação variam entre 400°C e 850°C e a granulometria do material é da ordem de 50mm. O reator é aquecido externamente e os resíduos são alimentados em uma das entradas do tambor, que roda lentamente e provoca uma movimentação deles em direção à outra extremidade do reator;
- Tubo Aquecido – Os tubos são aquecidos externamente a temperaturas da ordem de 800°C. O processo pode utilizar material com maiores dimensões (50mm). Os resíduos são conduzidos através do tubo a uma velocidade fixa que garante que o material seja completamente pirolisado;
- Contato Superficial – Materiais com pequenas dimensões, com necessidade de um pré-tratamento avançado. Tem como objetivo alcançar uma reação de pirólise otimizada.

Uma evolução da tecnologia de pirólise é alcançada quando o gás de síntese é purificado através de um processo de lavagem, transformando-o em um gás de síntese limpo, sem qualquer contaminante e que pode ser utilizado para geração elétrica e térmica em grupos geradores a gás (cogeração), ou então em processos térmicos para gerar calor (vapor, água quente, ar quente) ou frio (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013). Do ponto de vista ambiental, o controle de pureza desse gás garante que a combustão de gases limpos irá produzir emissões limpas, ou seja, a combustão de hidrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono irá produzir somente dióxido de carbono e vapor d'água (GONÇALVES, 2007). Também é garantido que nem a matéria inerte, nem os gases passam por nenhum processo oxidante (não há combustão/queima), e, portanto, não há produção de dioxinas, furanos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, cinzas volantes, vapores de metais pesados, etc.

#### **2.7.2.4 Plasma**

Nos processos até então descritos vimos que o resíduo, ao ser aquecido em ausência de oxigênio (pirólise), se transforma em um gás combustível, composto por moléculas gasosas (por exemplo, hidrogênio molecular - H<sub>2</sub>). Se continuarmos a aquecer este gás, suas ligações moleculares se quebram e a molécula se transforma em átomos (H<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>). Esses

elementos dissociados, com carga positiva (íons) ou negativa (elétrons), são o que chamamos de plasma.

Já quanto à classificação de plasma frio ou plasma quente, temos que enquanto no plasma quente os elétrons estão sob a mesma temperatura que os íons (o arco de solda é um exemplo), no plasma frio a temperatura dos elétrons é bem superior à temperatura dos íons e grande parte dos átomos não estão ionizados (caso de lâmpadas fluorescentes). Independentemente de o plasma ser frio ou quente, a função dele no processo de transformação dos resíduos é a mesma: fornece calor aos resíduos, de modo que as moléculas se quebrem e sejam transformados em gás de síntese (EUROPEAN COMMISSION, 2006).

As tecnologias de destinação de resíduos que utilizam o plasma são interessantes para o tratamento de substâncias específicas, caracterizadas como de elevada periculosidade, porém se mostram pouco praticáveis para o tratamento de resíduos sólidos urbanos, devido ao alto custo de gestão, aos consumos energéticos elevados e aos elevados custos de manutenção (altas temperaturas, consumo dos eletrodos de grafite, etc.). Também devem ser verificados os riscos relativos à poluição por material particulado decorrentes das elevadas temperaturas de transformação.

### **2.7.3 Comparativo das Tecnologias**

A diferença fundamental entre os processos térmicos é o sistema de aquecimento. A pirólise utiliza parte do calor gerado pela queima do gás de síntese para aquecer o reator, enquanto que a gaseificação utiliza uma combustão parcial dos resíduos para aquecer o restante do material. Já a tecnologia de plasma utiliza o plasma, alimentado por uma corrente elétrica para aquecer o material.

Enquanto as tecnologias de gaseificação e de pirólise utilizam energia térmica para alimentar o processo, a tecnologia de plasma utiliza energia elétrica, que é mais nobre que a energia térmica (balanço energético negativo). Dizemos que a energia elétrica é mais nobre porque há sempre uma perda na conversão da energia térmica para energia elétrica, ou seja, apenas cerca de 1/3 da energia térmica é convertida em energia elétrica.

O resultado é um rendimento elétrico inferior da tecnologia de plasma quando comparado com a tecnologia de pirólise, conforme verificamos no quadro comparativo das tecnologias. O comparativo foi organizado em duas tabelas, mostrando suas características de relação custo x benefício na Tabela 1 e impactos ambientais na Tabela 2.

Tabela 1 - Quadro comparativo relação custo x benefício.

CUSTO X BENEFÍCIO					
TECNOLOGIAS	BALANÇO ENERGÉTICO (kWh/ton RSU)	CUSTO DO EQUIPAMENTO	FLEXIBILIDADE DE COMBUSTÍVEL	NECESSIDADE DE PRÉ-TRATAMENTO DOS RESÍDUOS	ÁREA OCUPADA
COMPOSTAGEM	0	Baixo	Restrito	Alto	Alto
DIGESTÃO ANAERÓBICA	+140	Médio	Restrito	Alto	Alto
GÁS DE ATERRO	+66	Alto	Alto	Baixo	Alto
INCINERAÇÃO	+417	Alto	Médio	Baixo	Médio
GASEIFICAÇÃO	n.d./ 600 †	Médio	Médio	Alto	Baixo
PIRÓLISE	+500 / +1000 ‡	Médio	Alto	Baixo	Baixo
PLASMA	-750	Alto	Alto	Baixo	Baixo

Fonte: Angonese *et al.*(2006); Chamon, Cardoso e Barros (2013); Faaj *et al.* (2005); Reichert (2012).

Tabela 2 - Quadro comparativo impactos ambientais.

IMPACTOS AMBIENTAIS					
TECNOLOGIAS	CONSUMO DE ÁGUA	IMPACTOS AR	IMPACTOS SOLO	EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA
COMPOSTAGEM	Baixo	Alto	Alto	Baixo	Alto
DIGESTÃO ANAERÓBICA	Alto	Baixo	Médio	Baixo	Médio
GÁS DE ATERRO	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Baixo
INCINERAÇÃO	Alto	Alto	Alto	Alto	Baixo
GASEIFICAÇÃO	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Alto
PIRÓLISE	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
PLASMA	Baixo	Médio	Baixo	Alto	Médio

Fonte: Angonese *et al.*(2006); Chamon, Cardoso e Barros (2013); Faaj *et al.* (2005); Reichert (2012).

† Dados não disponíveis para resíduos sólidos urbanos (RSU). Para resíduos orgânicos, temos uma conversão de energia próxima de 600 kWh/ton.

‡ Para resíduos sólidos urbanos (RSU), a geração é de 0,5 MWh/ton. Resíduos mais ricos em matéria orgânica, temos 1 MWh/ton.

## 2.8 Sistemas Híbridos

Sistemas híbridos para geração de energia elétrica podem ser definidos como associações de duas ou mais fontes de energia com o objetivo básico de fornecerem eletricidade a uma determinada carga ou a uma rede elétrica, isoladas ou conectadas ao sistema interligado. A principal vantagem dos sistemas híbridos é a possibilidade do aproveitamento conjunto e otimizado dos recursos locais disponíveis, podendo garantir assim altos níveis de qualidade e confiabilidade do atendimento, com redução de custos de investimento e operacionais (BARBOSA *et al.*, 2006).

Quando o atendimento é realizado diretamente a uma carga ou a uma minirrede onde não haja o suprimento de eletricidade através do sistema interligado, define-se o sistema como isolado. Caso o sistema híbrido seja instalado de forma a complementar o sistema interligado, ele é definido como sistema conectado à rede, sendo essa forma de geração conhecida como geração distribuída.

Os sistemas híbridos de geração distribuída são normalmente compostos por fontes renováveis cujos recursos são intermitentes e, caso necessário, contam com a complementação de grupos geradores com motores a combustão, para suprir eventuais períodos de escassez de recursos renováveis. Entre as fontes renováveis, destacam-se a solar fotovoltaica (FV), a eólica, a hídrica e a biomassa; entre os grupos geradores, são utilizados usualmente geradores a diesel, a gasolina, a gás, ou a biocombustíveis. A aplicação ótima de sistemas híbridos dá-se quando há disponibilidade de recursos energéticos no local de instalação do sistema, e esses recursos são adequadamente combinados para garantir atendimento confiável e de qualidade no ponto de entrega (SILVA, 2010).

### 2.8.1 Sistemas Híbridos Isolados

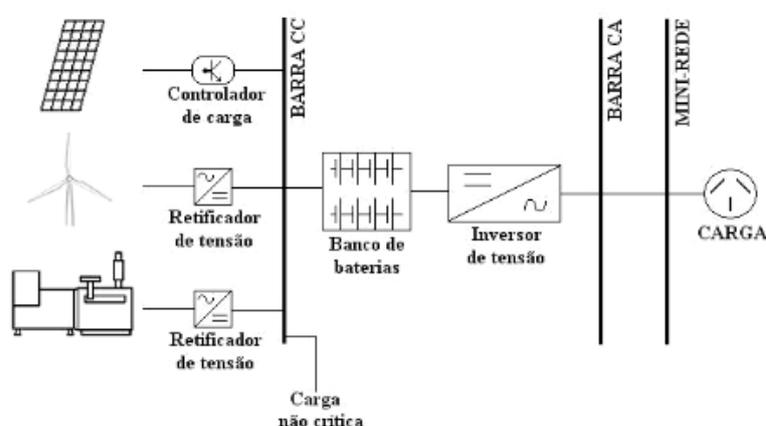
Sistemas híbridos isolados podem ser conceituados como sistemas cuja geração é entregue diretamente a uma carga específica ou a uma rede elétrica não conectada ao sistema interligado. Apesar de existirem diversas aplicações de sistemas isolados, aqui é dada ênfase para a mais comum e importante delas: a eletrificação de áreas remotas.

A utilização de sistemas híbridos para o atendimento de locais isolados, onde não haja perspectiva de suprimento através da rede convencional, vem se tornando uma alternativa cada vez mais considerada com o passar do tempo. Na maioria desses casos, a única opção vinha sendo a utilização de grupos geradores, apresentando diversos problemas ambientais e

relacionados à sua operação e manutenção. Sistemas híbridos já se mostram como fontes confiáveis e técnica e economicamente viáveis.

As principais características de sistemas híbridos isolados para eletrificação são a necessidade do sistema de armazenamento, para suprir a carga em períodos onde não haja disponibilidade de recursos renováveis e a necessidade de estratégias operacionais que indiquem qual a melhor forma de participação do grupo gerador no atendimento. A partir desses pontos, existem inúmeras configurações a serem adotadas. A Figura 2 apresenta uma das configurações de sistemas híbridos isolados, cujas características são comentadas na sequência.

Figura 2 - Configuração de sistema híbrido isolado.



Fonte: Pinho *et al.* (2008).

A carga não crítica conectada à barra CC é uma carga alternativa que pode ser alimentada quando a energia gerada é maior que a consumida e o banco de baterias está em sua plena carga. Nessa situação, o sistema de controle de carga interrompe a geração e, caso não haja a presença de uma carga alternativa, o excedente de energia não será aproveitado. Variações dessa configuração podem prever a utilização de seguidores de ponto de máxima potência conectados ao arranjo fotovoltaico, utilização de controle único para as três fontes, medidores conectados entre a barra CA e a minirrede, em casos onde haja tarifação, entre outras.

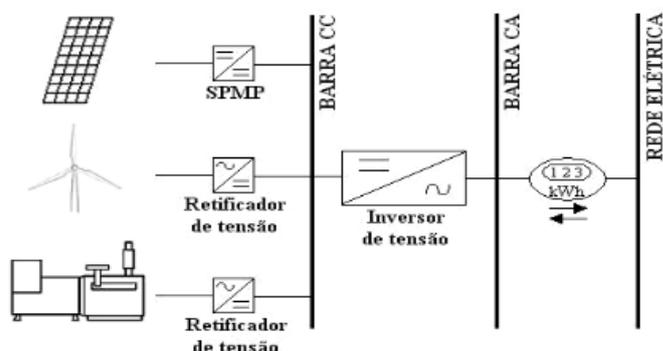
## 2.8.2 Sistemas Híbridos Interligados

Sistemas híbridos interligados à rede são aqueles instalados de forma a complementar a geração de uma outra fonte, que já entrega sua energia gerada a uma rede elétrica de pequeno, médio ou grande porte. Essa forma de geração é conhecida como sistemas híbridos de geração distribuída (SILVA, 2010).

Existem duas configurações típicas para sistemas interligados: sistemas que somente injetam energia na rede, e sistemas que realizam intercâmbio de energia com a rede. Em ambas

as configurações, especial atenção deve ser dada à qualidade da energia no ponto de entrega. Neste sentido, componentes eletrônicos de potência devem ser utilizados para, juntamente com o inversor de tensão, garantir que a geração híbrida não cause qualquer tipo de prejuízo à rede elétrica já existente, em condições normais de operação, ou em condições extremas (faltas na rede, perda de geração, entre outras). O estudo completo da qualidade da energia injetada na rede por sistemas híbridos foge ao escopo deste curso, e não será abordado de forma profunda. Diversos estudos já vêm sendo desenvolvidos no sentido de garantir interconexões ótimas entre fontes renováveis e redes elétricas contendo outras fontes de geração primárias (BARBOSA *et al.*, 2006). A Figura 3 apresenta uma das configurações de sistemas híbridos interligados.

Figura 3 - Configuração de sistema híbrido interligado.



Fonte: Pinho *et al.* (2008).

A utilização de grupos geradores em sistemas interligados está bastante relacionada a situações onde o atendimento deve ser prioritário em horários específicos, como horários de ponta, por exemplo. Nessas situações, havendo escassez de recursos renováveis, o atendimento à carga não estaria garantido, sendo a presença do grupo gerador fundamental nessas condições.

Por fim, vale comentar a utilização do medidor entre a barra CA e a rede elétrica. As setas indicam que a medição é realizada em duplo sentido, caso típico de sistemas com intercâmbio de energia. Sistemas que somente injetam energia na rede dispensam esse tipo de medidor, utilizando apenas o medidor de energia entregue à rede.

### 2.8.3 Sistemas Híbridos no Mundo

Diversos sistemas híbridos têm sido instalados em muitos países nas últimas três décadas, fundamentalmente com a finalidade de fornecerem eletricidade para comunidades isoladas, para pequenos sistemas de bombeamento e dessalinização de água refrigeração, entre outras aplicações. Em termos mundiais, a utilização dos sistemas híbridos vem se ampliando a

cada ano, sendo nos países desenvolvidos a sua maior disseminação. Alguns exemplos de sistemas híbridos implantados no mundo são listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Sistemas híbridos no mundo.

<b>Locais/País</b>	<b>Ano</b>	<b>Configuração - Capacidade</b>
Clayton/EUA	1977	Eólico (200 kW)-diesel (ND)
Papago Indian Reservation/EUA	1978	Fotovoltaico (3,5 kW)-diesel (ND)
Block Islands/EUA	1979	Eólico (150 kW)-diesel (1.125 kW)
Natural Bridges/EUA	1980	Fotovoltaico (100 kW)-diesel (40 kW)
Inis Oirr/Irlanda	1981	Eólico (63 kW)-diesel (82 kW)
ECN/Holanda	1982	Eólico (2-30 kW)-diesel (50 kW)
Chalmers University/Suíça	1982	Eólico (22 kW)-diesel (20 kW)
Fair Isle/Inglaterra	1982	Eólico (55 kW)-diesel (70 kW)
Lundy Island/Inglaterra	1982	Eólico (55 kW)-diesel (33 kW)
Schnittlingen/Alemanha	1983	Eólico (11 kW)-diesel (25 kW)
RAL/Inglaterra	1983	Eólico (16 kW)-diesel (7 kW)
RisØ/Dinamarca	1984	Eólico (55 kW)-diesel (35 kW)
Kythnos Island/Grécia	1984	Eólico (5-22 kW)-diesel (31,4 kW)
Askeskar/Suíça	1984	Eólico (18,5 kW)-diesel (8,1 kW)
Sal Island/Cabo Verde	1985	Eólico (55 kW)-diesel (ND)
Ft. Severn/Canadá	1985	Eólico (60 kW)-diesel (405 kW)
Cape Clear/Irlanda	1985	Eólico (2-30 kW)-diesel (65 kW)
Martiny/Suécia	1985	Eólico (160 kW)-diesel (130 kW)
Fernando de Noronha/Brasil	1986	Eólico (75 kW)-diesel (50 kW)
Calvert Island/Canadá	1986	Eólico (2-3 kW)-diesel (12 kW)
Calbria/Itália	1986	Eólico (20 kW)-diesel (20 kW)
Bujaraloz/Espanha	1986	Eólico (25 kW)-diesel (16 kW)
Machynileth/Inglaterra	1987	Eólico (15 kW)-diesel (10 kW)
Sta. Catarina/Cabo Verde	1987	Eólico (55 kW)-diesel (125 kW)
Tarrafal/Cabo Verde	1987	Eólico (30 kW)-diesel (70 kW)
AWST/Canadá	1987	Eólico (37,5 kW)-diesel (2-5 kW)

Cambridge Bay/Canadá	1987	Eólico (4-25 kW)-diesel (ND)
Hellgoland/Alemanha	1987	Eólico (1.200 kW)-diesel (1.200 kW)
Domaine de Las Tour/França	1987	Eólico (10-12 kW)-diesel (152 kW)
Shetland Islands/Inglaterra	1988	Eólico (750 kW)-diesel (ND)
Taratak/Indonésia	1989	Fotovoltaico (48 kWp)-micro hídrico (6,3 kW)
Froeya/Noruega	1989	Eólico (55 kW)-diesel (50 kW)
Inner Mongólia/China	1990	Eólico (10 kW)-diesel (18 kW)
Terschelling/Holanda	1990	Fotovoltaico (ND)-eólico (ND)-diesel (ND)
El Oyameyo/México	1991	Fotovoltaico (ND)-eólico (ND)
Maria Magdalena Village/México	1992	Fotovoltaico (4,3 kWp)-eólico (5 kW)-diesel (16,7 kVA)
Waturru/Austrália	1992	Fotovoltaico (0,6 kWp)-eólico (20 kW)
Argestes/Espanha	1992	Fotovoltaico (ND)-eólico (ND)-diesel (ND)
X-Calak/México	1993	Fotovoltaico (ND)-eólico (ND)-diesel (ND)
San Antonio Agua Bendita/México	1993	Fotovoltaico (12,4 kWp)-eólico (20 kW)-diesel (40 kW)
Darling Scarp/Austrália	1994	Fotovoltaico (0,48 kWp)-eólico (1 kW)-gasolina (ND)
Eneabba-Camamah/Austrália	1994	Fotovoltaico (1 kWp)-diesel (5 kVA)
Ashikaga I. T./Japão	1995	Fotovoltaico (ND)-eólico (ND)
Islas Canárias/Espanha	1995	Eólico (ND)-diesel (ND)
Isla Huapi/Chile	1996	Eólico (ND)-diesel (ND)
Puacho/Chile	1996	Eólico (ND)-diesel (ND)
Jujuy/Argentina	1996	Micro-hídrico (50 kW)-diesel (48 kW)
Vila Campinas/Brasil	1996	Fotovoltaico (51,2 kWp)-diesel (96 kW)
Costa de Cocos/México	1996	Fotovoltaico (1 kWp)-eólico (10 kW)-diesel (15 kW)
Joanes/Brasil	1997	Fotovoltaico (10,2 kWp)-diesel (40 kW)
Praia Grande/Brasil	1998	Eólico (7,5 kW)-diesel (12 kW)
Volcanoes National Park/EUA	1998	Fotovoltaico (0,9 kWp)-propano (4,5 kW)
Joshua Tree/EUA	1998	Fotovoltaico (21 kWp)-diesel (ND)
Praia Grande/Brasil	1998	Eólico (7,5 kW)-diesel (15 kW)

Cayo Romano/Cuba	1999	Eólico (10 kW)-diesel (10 kW)
Tamaruteua/Brasil	1999	Fotovoltaico (3,84 kWp*)-eólico (15 kW)-diesel (32 kW*)
San Juanico Village/México	1999	Fotovoltaico (17 kWp)-eólico (100 kW)-diesel (80 kW)
Chorreras Icemaker/México	1999	Fotovoltaico (2,4 kWp)-diesel (6,3 kW)
Isla Tac/Chile	2000	Eólico (15 kW)-diesel (12 kW)
Rote Island/Indonésia	2000	Fotovoltaico (22 kWp)-eólico (10 kW)-diesel (20 kW)
Morn Salnave/Haiti	2001	Fotovoltaico (2,24 kWp)-eólico (1,2 kW)-diesel (6,5 kVA)
Hilaire/Haiti	2001	Fotovoltaico (2,24 kWp)-eólico (2,4 kW)-diesel (12,5 kVA)
RAPS Indiana/Peru	2001	Fotovoltaico (60 kW)-diesel (200 kW)
Araras/Brasil	2001	Fotovoltaico (20,5 kW)-diesel (162 kW)
Pheriche/Nepal	2001	Fotovoltaico (0,75 kWp)-eólico (5 kW)
São Tomé/Brasil	2003	Fotovoltaico (3,2 kWp)-eólico (7,5 kW)-diesel (16 kW)

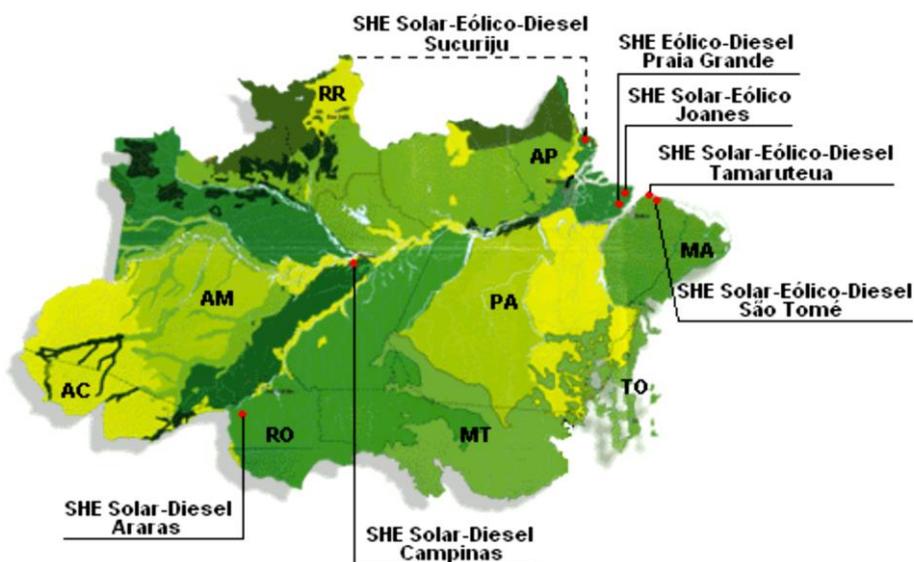
Fonte: Pinho *et al.* (2008).

#### 2.8.4 Sistemas Híbridos na Amazônia

Os demais sistemas híbridos implantados no Brasil encontram-se na Região Amazônica suprindo vilas isoladas. A Figura 4 mostra a distribuição desses sistemas na Região.

Tais sistemas buscam principalmente reduzir o consumo de óleo diesel e promover a troca de conhecimentos e experiências através da formação de mão-de-obra especializada, além de proporcionar benefícios socioeconômicos aos moradores locais. Na Tabela 4 podemos verificar os sistemas híbridos implantados na Amazônia.

Figura 4 - Sistemas híbridos na Amazônia.



Fonte: Pinho *et al.* (2008).

Tabela 4 - Sistemas híbridos na Amazônia.

Ano	Configuração	Localização	Acesso
1996	Fotovoltaico-Diesel	Vila de Campinas Município Manacapuru Estado do Amazonas	Fluvial
1997	Fotovoltaico-Eólico	Vila de Joanes Município de Salvaterra Estado do Pará	Fluvial ou aéreo
1998	Diesel - Eólico	Vila de Praia Grande Município de Ponta de Pedras Estado do Pará	Fluvial ou aéreo
1999	Fotovoltaico-Eólico-Diesel	Vila de Tamarateua Município de Marapanim Estado do Pará	Rodo-Fluvial
2001	Fotovoltaico-Diesel	Vila de Araras Município de Mamoré Estado do Pará	Rodoviário
2003	Fotovoltaico-Eólico-Diesel	Vila de Araras Município de Maracanã Estado do Pará	Rodoviário ou Rodo-Fluvial

Fonte: Barbosa *et al.* (2006).

## 2.9 Considerações Finais

Seguindo a máxima de que a energia elétrica, na era atual, é tida como fator primordial de desenvolvimento humano, viabilizar infraestrutura de fornecimento de energia elétrica onde o homem faz-se presente passa a ser também uma necessidade básica. O modelo atual de fornecimento de energia interligado, conforme foi visto, na grande maioria dos casos torna-se inviável economicamente e também em muitos casos tecnicamente inviável.

Outro ponto de relevância a ser citado aqui, é o fato de que a geração térmica fóssil, através de grupos geradores, além de dispendiosa, é também ambientalmente incorreta. Assim, discorrer de fontes alternativas renováveis para atender esta parcela do mercado energético que se encontra geograficamente desfavorecidas passa a ser uma prática crescente que vem ganhando.

Diante do contexto atual da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10), que fornece diretrizes para o correto tratamento dos resíduos sólidos urbanos, resíduos sólidos de saúde e resíduos industriais, surge a necessidade de utilização das fontes de energias renováveis aliada à destinação adequada dos resíduos, realizando uma gestão integrada entre o meio ambiente, a energia e os resíduos.

# Capítulo 3

## ENERGIA E EQUIDADE

---

### 3.1 Considerações Iniciais

Universalmente, o acesso à eletricidade é uma das mais importantes metas estabelecidas para o setor de energia pelos governos mundiais (ONU, 2010; BANCO MUNDIAL, 2014). Isso ocorre porque o acesso à energia e, principalmente à energia elétrica, é amplamente reconhecido como forma de se alcançar o desenvolvimento humano com qualidade de vida (GOMÉZ; SILVEIRA, 2010).

Em uma primeira fase de desenvolvimento social, as necessidades humanas básicas são atendidas (i) pela energia elétrica que facilita a iluminação, a saúde, educação, comunicação e serviços de uma comunidade e (ii) os combustíveis modernos, que facilitam atividades de aquecimento e cozimento dos alimentos. Em uma etapa posterior, o fornecimento de eletricidade e combustíveis modernos melhoram os processos produtivos, pois aumentam a geração da renda das pessoas e, com isso, propiciam o atendimento das exigências modernas das sociedades, como refrigeração, aquecimento, aparelhos domésticos e transportes particulares (CHAUREY; RANGANATHANA; MOHANTYB, 2004; ONU, 2010).

A ONU define e, por isso, reconhece a conexão direta entre o acesso à energia elétrica e o desenvolvimento humano, sendo essa conexão percebida em níveis de acesso incrementais de energia que propiciam aumento no desenvolvimento. Essa relação de forte ligação entre o desenvolvimento humano e o consumo de eletricidade por habitante é descrita nos tópicos a seguir, juntamente com o conceito de desenvolvimento humano e como estão relacionados com o caso do Brasil e em particular a Região Norte.

## 3.2 Dimensões Humanas da Energia

O uso das fontes energéticas, suas transformações necessárias para que seja possível seu uso final, o transporte e distribuição da energia com os efeitos ambientais causados por todas essas etapas tem impacto em diversos seguimentos de um país e do planeta como um todo. A produção e uso da energia causa forte influência na política e na sociedade, pois está diretamente ligada ao desenvolvimento econômico de uma nação, onde é possível identificar cinco esferas principais referentes às dimensões humanas da energia (GRIMONI; GALVÃO; UDAETA, 2004). São elas:

- Social: contempla necessidades básicas do consumo, da qualidade e da quantidade de energia usada, assim como sua influência na geração de emprego e renda;
- Econômica: relação direta com a formação de preços de mercado, importação, produção e exportação de energéticos, da intensidade energética e do Produto Interno Bruto (PIB);
- Política: relacionada com o uso governamental dentro das implementações dos modelos do setor elétrico, do planejamento estratégico e energético na formulação de políticas públicas;
- Ambiental: referente aos recursos naturais, da dependência de exploração de recursos hídricos e fontes fósseis, da diversidade e potenciais das fontes energéticas existentes, das emissões atmosféricas e seus impactos sobre a biodiversidade;
- Cultural: influencia os processos de integração energética, participação das universidades e centros de pesquisa, publicações acadêmicas, normatizações e legislações comuns.

Com essas esferas consideradas, vale ressaltar a importância da energia no desenvolvimento humano e sustentável. A energia é a interface que conecta todos os fatores ligados ao desenvolvimento humano com a sociedade. Qualquer política voltada ao desenvolvimento sustentável deve avaliar todas as dimensões a que o uso da energia se estende e causa influência direta.

### 3.3 Consumo Energético e Desenvolvimento Sustentável

O acesso à energia elétrica por si só não é garantia de desenvolvimento humano nem de crescimento econômico, mas sem acesso à energia existe uma limitação ao desenvolvimento do indivíduo, aos processos industriais, comerciais e agrícolas. A eletrificação possibilita o desenvolvimento humano ao permitir atividades básicas como o acesso à água potável, o melhoramento das condições de saúde por permitir a refrigeração de medicamentos, uso de equipamentos médicos, podendo ainda promover a atividade agrícola através de irrigação e utilização de equipamentos. Desse modo, a energia potencializa o funcionamento do ciclo produtivo, promovendo o crescimento econômico e o desenvolvimento humano (DI LASCIO; BARRETO, 2009; GALINDO, 2014).

O desenvolvimento sustentável e a problemática energética são elementos inerentes ao governo de todas as nações e, intrinsecamente, convergem nas rotas para a indústria energética. Esses elementos constituem ferramentas do bem-estar da sociedade, sendo o desenvolvimento não uma consequência, e sim um estado de coisas que se procura através do tempo, independente do paradigma de desenvolvimento que se assume em um determinado contexto. A energia então se aproxima muito ao conceito desenvolvimento, pois responde à atividade socioeconômica e a uma política energética. Assim, a preservação ambiental e a qualidade de vida atual e futura são os pilares da sustentabilidade energética necessária para o pleno desenvolvimento humano e social.

Em primeira instância, o desenvolvimento sustentável é colocado como uma possibilidade de satisfazer as necessidades atuais, sem qualquer prejuízo às necessidades das gerações futuras (ONU, 2010; UNDP; FJP & IPEA, 2013). Mais importante e fundamental que esse conceito é o entendimento de que desenvolvimento sustentável é a capacidade ilimitada que o ser humano possui de usar os limitados recursos naturais e energéticos.

Sendo o desenvolvimento sustentável o paradigma de manutenção da vida no mundo, a energia vem a ser a interface da sociedade com o mundo. Para isso, alguns aspectos devem ser levados à prática social para termos um desenvolvimento energético sustentável, segundo (GRIMONI; GALVÃO; UDAETA, 2004):

- Garantia de suprimento energético, através da diversificação das fontes de energia, novas tecnologias e descentralização da produção de energia;
- Uso, adaptação e desenvolvimento racional de recursos naturais e energéticos, o que pode ser alcançado com sistemas de conversão de energia mais eficientes e participativo;

- Valor agregado a partir dos usos, gerados pela otimização dos recursos naturais, avaliados em termos da real necessidade e da sua função na sociedade;
- Custos reais da energia, contemplando os impactos ambientais e sociais devidos a extração, produção, transporte, repesamento, armazenamento e uso dos recursos energéticos e naturais.

Através dessas diretrizes, fica evidente a importância da relação entre o meio ambiente e o crescimento econômico para o conceito de sustentabilidade. Muitas iniciativas vêm sendo tomadas com base no aumento da eficiência energética, tendo o suporte de fontes renováveis e o planejamento integrado de recursos, de forma a promover o suprimento e o consumo de energia sustentável. Porém, muitos desses casos são dispersos ou insuficientes (OLADE; CEPAL; GTZ, 1997). Eles são um bom ponto de partida, mas para solucionar o grande desafio de suprimento energético pleno para toda a humanidade, são necessárias alternativas para substituição gradativa dos combustíveis fósseis por fonte renováveis sustentáveis.

### 3.3.1 Relação Energia x Produto Interno Bruto

Muitos indicadores têm sido amplamente utilizados por economistas, cientistas sociais e planejadores para indicar o grau de desenvolvimento de uma dada região. Mesmo escondendo disparidades de distribuição de renda, um dos indicadores mais utilizados é o PNB<sup>§</sup> *per capita*, que é definido como a renda disponível para cada habitante de um dado país (PNUD, 2014).

As grandes variações do PNB *per capita* verificadas entre nações indicam as grandes diferenças econômicas que os países apresentam a nível global. Indicadores com base no PNB e no PIB<sup>\*\*</sup> são também bastante utilizados, sendo associados a outros indicadores como o consumo de energia elétrica *per capita* ou a intensidade elétrica da economia, que é o consumo de energia elétrica por unidade de PIB. Ambos dependem muito da estrutura do mercado consumidor de cada país ou região e da presença de cargas eletrointensivas na configuração de seu parque industrial (PASTERNAK, 2000).

A Figura 5 mostra uma relação entre a renda *per capita* e o consumo de energia elétrica *per capita*, comparando diversos países com a situação do Brasil. Esse cenário de projeção de consumo de energia, assim como o cenário de intensidade elétrica dado pela Figura 6, foi feito com base em estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) juntamente com o

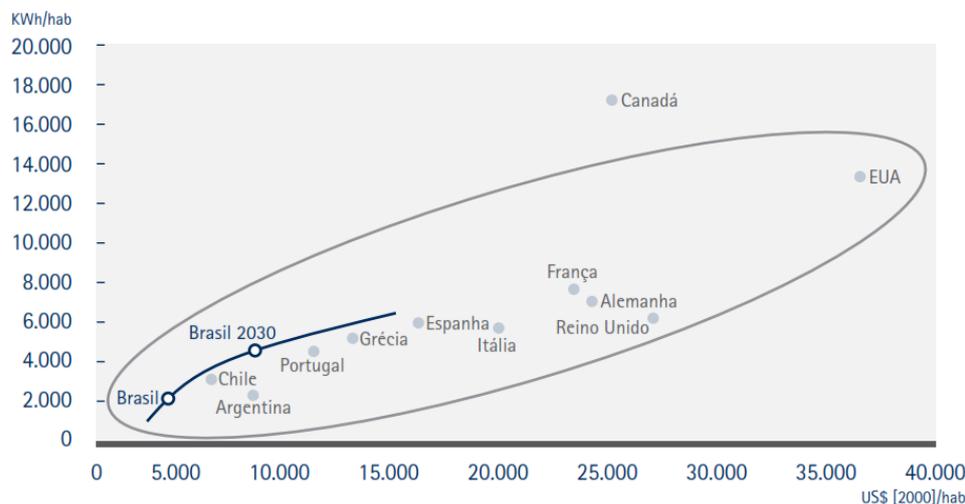
---

<sup>§</sup> Produto Nacional Bruto (PNB): é o valor total doméstico e estrangeiro produzido pelos residentes de um país, calculado sem fazer deduções para depreciação.

<sup>\*\*</sup> Produto Interno Bruto (PIB): é a produção total de bens e serviços para uso final, produzidos por uma economia, por residentes e não residentes.

Ministério de Minas e Energia (MME), publicado no Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007).

Figura 5 - Consumo de eletricidade e PIB.

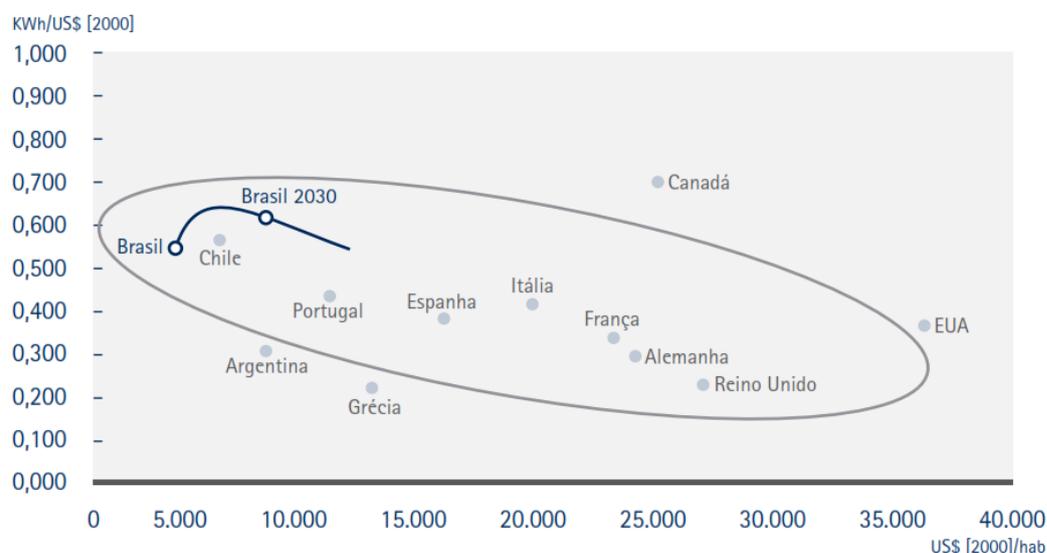


Fonte: EPE (2007).

Essa projeção realizada pela EPE para 2030 foi feita apenas para o Brasil, não levando em consideração o desenvolvimento dos demais países para fins comparativos. Faz-se necessário uma análise mais aprofundada para possibilitar conclusões sobre projeções do consumo energético brasileiro. Mesmo assim, verifica-se um baixo consumo de energia elétrica no Brasil em comparação a outros países. Segundo EPE (2007), no ano de 2004 o consumo brasileiro de eletricidade foi equivalente a 1.820 kWh/hab. Somando países como França, Alemanha e Reino Unido, que totalizam uma população semelhante ao Brasil (cerca de 200 milhões de habitantes), tem-se um consumo de 1.409 TWh, ou 6.940 kWh/hab (EPE, 2007). Na projeção feita para 2030, o consumo médio do brasileiro estará ainda inferior ao consumo médio atual de Portugal ou Grécia.

Com relação à intensidade elétrica, é esperada uma tendência declinante devido as maiores rendas *per capita* estarem associadas a intensidades elétricas inferiores. Contudo, uma projeção do consumo de eletricidade indica uma intensidade elétrica superior à atual. Isso reflete um efeito inercial nos primeiros 10 anos de projeção, devido aos investimentos na expansão da indústria eletrointensiva (EPE, 2007; BEN, 2014). Como indica a Figura 6, uma trajetória descendente é observada, porém não suficiente para que, em 2030, a intensidade seja menor que a atual. Essa figura permite a comparação desse indicador com diversos países e apresenta uma trajetória possível para o caso brasileiro. De novo valem as observações feitas para a Figura 5, onde é preciso uma análise mais aprofundada para tirar conclusões a respeito da intensidade elétrica num horizonte para 2030.

Figura 6 - Intensidade elétrica e PIB.



Fonte: EPE (2007).

### 3.3.2 Relação Energia x Índice de Desenvolvimento Humano

O chamado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) avalia uma série de fatores e foi projetado exatamente para corrigir distorções presentes na utilização de índices anteriores que levavam em consideração apenas a renda bruta da nação ou a riqueza produzida por importações e exportações de produtos.

O IDH considera que outros parâmetros, além do econômico, devem ser contabilizados quando se mede o grau de desenvolvimento de um país, como longevidade, educação e nível de vida. Para aferir se a população possui vida longa e saudável utiliza-se a estatística da esperança de vida ao nascer. Para mensurar a educação duas taxas são consideradas: uma média ponderada entre a taxa de alfabetização de adultos e a taxa combinada de matrícula nos níveis primários, secundário e terciário. O nível de vida é medido através do PIB *per capita*, corrigido pelo poder de compra da moeda de cada país. Após apuração das estatísticas, estas são transformadas em indicadores específicos: IDH Saúde, IDH Educação e IDH Renda. A média desses três indicadores resulta no IDH de um país ou de uma coletividade em estudo, podendo variar entre um mínimo de zero e máximo de um (PNUD, 2014). A Figura 7 ilustra como está definido o IDH hoje.

Figura 7 - Definição do novo IDH.



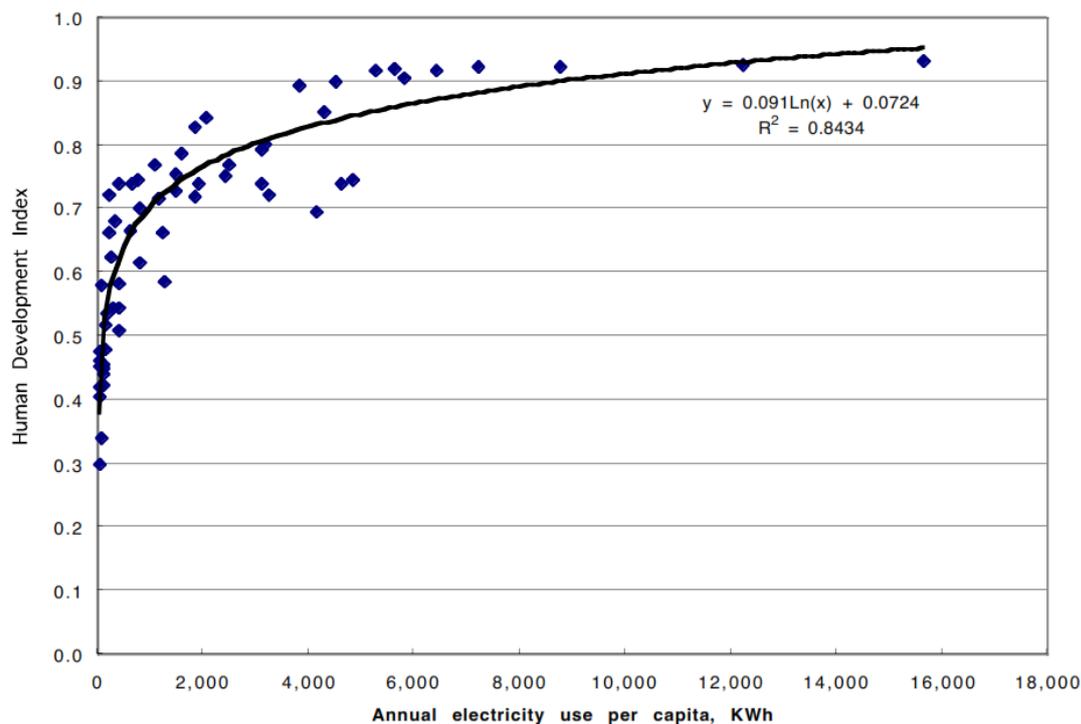
Fonte: Adaptado de PNUD (2014).

O IDH é bem conhecido e respeitado e tem sido utilizado no mundo todo durante as últimas décadas. Porém, algumas críticas defendem que o cálculo não considera a complexidade do desenvolvimento humano, como a sustentabilidade, as liberdades políticas ou direitos civis. Outros afirmam que mesmo sem considerar esta complexidade, ou seja, se levar em conta somente as três dimensões básicas no IDH, outras dimensões, como as liberdades políticas, quase sempre permanecem inacessíveis (GRIMONI; GALVÃO; UDAETA, 2004). Em qualquer caso, é fundamental o acompanhamento das dimensões básicas de desenvolvimento, sendo o IDH uma ferramenta que permite este acompanhamento.

Uma importante relação observada através do IDH é sua comparação com o consumo de energia por habitante de um determinado país. Na maioria dos casos, consumo de energia acima de 1 tep/capita por ano apresenta IDH superior a 0,8.

Estudos iniciais realizados por Pasternak (2000) encontraram uma correlação entre o consumo de eletricidade por habitante e o IDH, para uma amostragem de 60 países que compõem cerca de 90% da população mundial. Na Figura 8 é mostrada a correlação entre o IDH e o consumo anual de eletricidade per capita. Nessa correlação, foi observado que o IDH atinge um valor máximo quando o consumo de eletricidade é de 4.000 kWh/habitante/ano, que corresponde a um IDH de 0,9 ou superior, sendo abaixo de níveis de consumo dos países mais desenvolvidos, no entanto bem acima do nível de países em desenvolvimento. Observa-se também que essa relação tem um limite máximo, sendo que a partir de um determinado patamar de consumo, essa relação já não é mais validada, significando que o aumento do IDH possivelmente está condicionado por outras políticas de desenvolvimento (PASTERNAK, 2000).

Figura 8 - IDH e o consumo de eletricidade em 60 países.

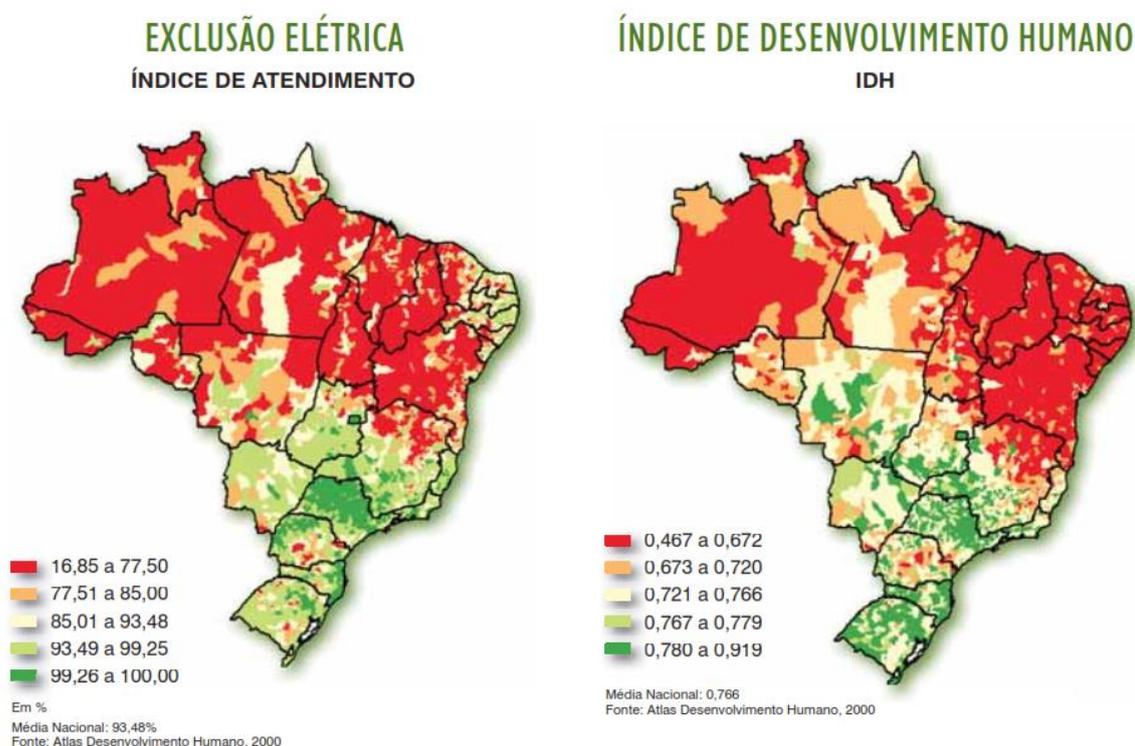


Fonte: Pasternak (2000).

Um novo estudo em 2007 confirmou Pasternak. Borges da Cunha (2007) mostrou existir uma forte relação entre o consumo de eletricidade total e o IDH para 177 países e os 27 estados brasileiros, que foram todos abaixo de um consumo de eletricidade de 4.000 kWh/habitante/ano. Apenas cinco estados brasileiros nas regiões Sul e Sudeste tinham um IDH ligeiramente acima de 0,8 e são os que têm os mais altos níveis de eletrificação no país. O papel da eletricidade na realização dos objetivos de desenvolvimento humano é, portanto, também ilustrado pela situação do Brasil.

Regiões com altos índices de atendimento por eletricidade, que implica em maior consumo de eletricidade per capita, apresentam maior IDH. Isso acontece devido ao fato de que consumir eletricidade significa ter maior acesso a formas mais modernas de energia pela população e conseqüentemente pela indústria, indicando que o processo de desenvolvimento contribui para a melhoria de qualidade de vida da população. Na Figura 9 é ilustrado para motivos de comparação um mapa do Brasil mostrando a exclusão elétrica, obtido pelo índice de atendimento de eletricidade residencial, com o mapa do IDH no Brasil, onde se observa a similaridade entre os dois índices.

Figura 9 - Mapa exclusão elétrica e IDH do Brasil em 2000



Fonte: MME (2010)

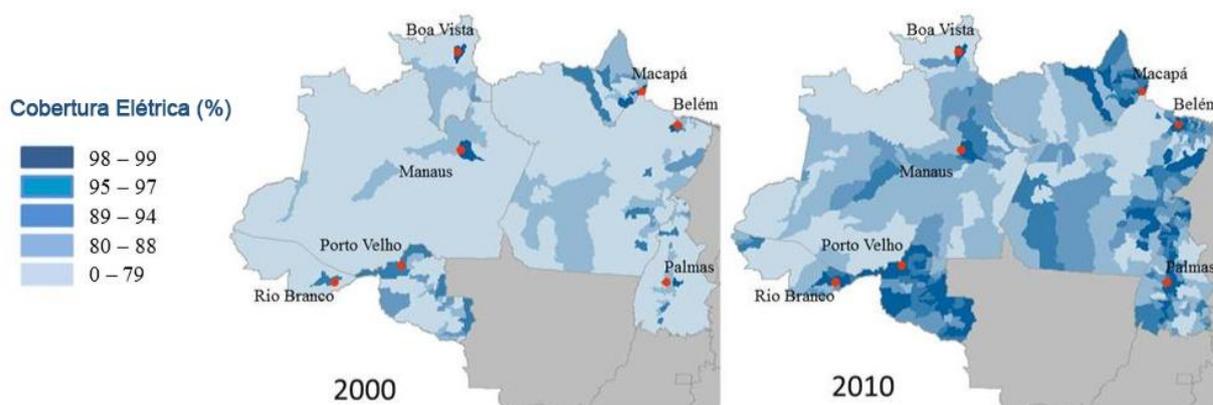
Conforme observado na Figura 9 e referido por (MME, 2010), a incidência de pobreza nas zonas rurais evidencia uma forte relação com a exclusão elétrica, que por sua vez está correlacionada com os níveis baixos de IDH que essas regiões apresentam. Apesar desse mapa ser datado do ano 2000, é possível concluir que o não acesso à energia elétrica (exclusão elétrica) implica em baixos índices de desenvolvimento humano. Existe, portanto, uma correlação direta entre o acesso à energia elétrica e o desenvolvimento humano como ilustrado pela figura (GOMÉZ; SILVEIRA, 2010).

### 3.4 Acesso à Eletricidade e Desenvolvimento Humano na Amazônia

A Figura 10 fornece evidências de melhorias de eletrificação na Amazônia brasileira, durante os anos de 2000 a 2010. Observa-se o avanço da cobertura de eletricidade, especialmente em áreas próximas às redes interconectadas. Ressalta-se que para os municípios que receberam cobertura elétrica nesse período, isso ocorreu na sede municipal, atendendo principalmente a população urbana. Em grande parte dos municípios no interior da Amazônia, uma parcela expressiva da população é rural, não tendo acesso as benfeitorias da

município. Além disso, algumas melhorias na cobertura de energia elétrica são observadas ao lado dos principais rios. No contexto da Amazônia, a atividade humana se desenvolve em torno de rios. Por esta razão, os cursos de água devem ser considerados como um ponto de referência para a finalidade de planejar soluções de energia (DI LASCIO; BARRETO, 2009). Infelizmente, até agora, estas soluções são limitadas às soluções diesel, que não são confiáveis e possuem custo alto.

Figura 10 - Mapa de cobertura elétrica na Região Norte 2000-2010.



Fonte: Galindo (2014).

Em termos de desenvolvimento humano, o IDH na Amazônia brasileira melhorou, passando de 18% para 33% no mesmo período de tempo (MME, 2013; PNUD, 2014). A região amazônica atingiu o nível de desenvolvimento médio, embora alguns estados brasileiros ainda estão aquém deste nível. O consumo per capita de eletricidade residencial variou entre 306 kWh no Pará e 592 kWh em Amapá em 2010, o que está bem abaixo dos níveis de consumo observados na maioria dos países industrializados, mas, ao mesmo tempo acima do nível observado em muitos países em desenvolvimento (MME, 2010; GOMÉZ; SILVEIRA, 2010).

É dentro deste contexto que o governo brasileiro definiu e adaptou os seus esforços com o objetivo de acesso universal à eletricidade. A utilização do IDH como uma ferramenta para medir o impacto da eletrificação rural nacional tem feito os gestores públicos e as concessionárias de energia responsáveis perante as metas estabelecidas.

### 3.5 Considerações Finais

O desenvolvimento econômico geralmente é associado ao suprimento da oferta de energia para atender plenamente os crescentes níveis de demanda. Porém, essa relação nem sempre é verdadeira quando levamos em consideração o contexto amazônico. Verificamos,

principalmente no interior do Pará, a existência de cidades interioranas eletrificadas, mas que estão bastante defasadas do conceito de cidades desenvolvidas.

A energia cria condições favoráveis para melhoria da qualidade de vida através dos sistemas de comunicação, saúde, educação, lazer, entre outros, porém ela não é suficiente para sozinha garantir a oferta desses serviços.

O atendimento energético para as comunidades isoladas é um desafio muito grande. Temos inúmeras propostas de soluções, mas que grande parte delas é apresentada por pessoas ou grupos que têm pouco ou nenhum conhecimento das reais necessidades da região amazônica.

As comunidades isoladas são constituídas principalmente por populações tradicionais, tais como pescadores, seringueiros, ribeirinhos, quilombolas, extrativistas, povos nativos (indígenas) ou descendentes. Possuem carências em comum, não apenas de eletricidade, mas também de educação, saneamento básico, saúde, infraestrutura, transporte e outras demandas específicas.

O Estado do Pará, com sua grande extensão territorial e extensa bacia hidrográfica, possui uma grande quantidade de rios e ilhas, cada qual com suas dificuldades peculiares de acesso. Embarcações com horários limitados, dependência de maré, tempo de viagem prolongado, forte insolação e alta temperatura durante a maior parte do ano, constituem dificuldades para a universalização da energia elétrica na Região Amazônica.

O próximo capítulo descreve como o Brasil organizou a sua iniciativa de eletrificação rural nacional. É feita uma análise das dimensões tecnológica, institucional e econômica da eletrificação rural brasileira, a fim de identificar os principais desafios no caminho rumo ao acesso universal à energia elétrica em áreas remotas na Amazônia.

# Capítulo 4

## O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

---

### 4.1 Considerações Iniciais

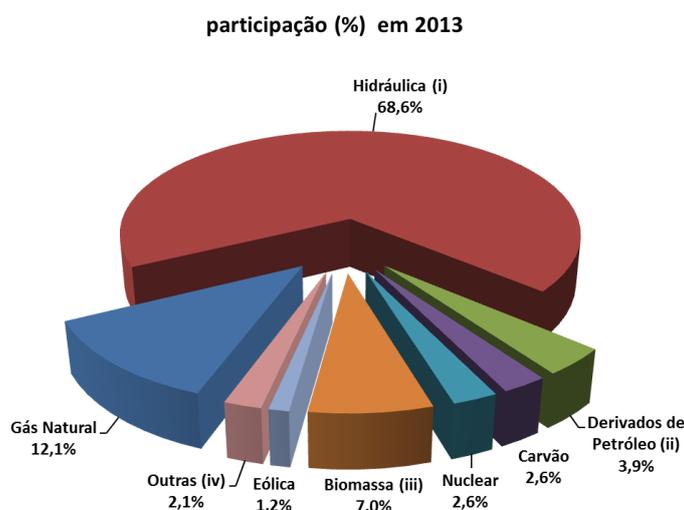
Este capítulo descreve o sistema elétrico brasileiro, mostrando as diferenças e desigualdades existentes entre o Sistema Interligado Nacional e os sistemas isolados. Apresenta a iniciativa de eletrificação rural desenvolvida nos últimos anos para fornecer acesso universal à energia elétrica no país. O capítulo analisa os resultados do programa nacional de eletrificação rural à luz das estruturas institucional, tecnológicas e de financiamentos. Mostra como uma configuração institucional centralizada tem sido crucial para a obtenção de resultados de eletrificação rural e destaca o papel essencial das concessionárias e da abordagem pela extensão da rede convencional no sucesso do processo de implementação. Apesar dos resultados notáveis, o modelo não é o suficiente para fornecer eletricidade em áreas remotas da região amazônica, onde é necessária uma nova abordagem descentralizada.

### 4.2 Panorama Geral

A função principal dos sistemas elétricos é fornecer energia elétrica aos usuários, grandes ou pequenos, com a qualidade adequada, no instante em que for solicitada.

Devido ao grande potencial hídrico brasileiro, temos uma matriz energética com base na geração hidráulica, sendo os grandes centros de consumo afastados dos centros de produção. O gráfico da Figura 11 ilustra como está atualmente a matriz energética nacional. Com isso, é imprescindível a existência de um elemento de interligação para transportar a energia produzida aos centros consumidores. É estabelecido então um sistema de transmissão responsável por transportar grandes blocos de energia aos usuários.

Figura 11 - Geração de energia elétrica por fonte no Brasil.



Fonte: BEN (2014); EPE (2014).

Como a elevada tensão de transmissão é inviável para suprir diretamente a demanda dos consumidores, é necessário realizar abaixamento do nível de tensão até os chamados sistemas de distribuição, para então chegar ao nível do usuário.

Temos então três grandes blocos do sistema elétrico de potência, que podem ser divididos da seguinte maneira:

- Geração: responsável por converter alguma forma de energia em energia elétrica;
- Transmissão: realiza o transporte de energia elétrica dos centros de produção aos de consumo;
- Distribuição: responsável por levar a energia elétrica recebida do sistema de transmissão aos grandes, médios e pequenos consumidores.

Entre todos os segmentos de infraestrutura do Brasil, o serviço mais universalizado é a energia elétrica. As localidades não atendidas estão diretamente relacionadas à sua localização e às dificuldades físicas ou econômicas para extensão da rede elétrica.

Cada uma das cinco regiões geográficas que se divide o território brasileiro tem características bastante peculiares e diferenciadas entre si. Tais particularidades determinaram os contornos que os sistemas de geração, transmissão e distribuição adquiriram ao longo do tempo, contribuindo para definir o grau de facilidade ou dificuldade de acesso da população local à rede elétrica.

Para geração e transmissão de energia elétrica, contamos com o Sistema Interligado Nacional (SIN), que compreende uma imensa malha elétrica que abrange grande parte do território nacional. Porém, existem diversos sistemas de menor porte, não conectados ao SIN e,

por isso, chamados de Sistemas Isolados, que se concentram principalmente na Região Norte. Isso ocorre devido às características geográficas dessa região, composta por floresta densa e heterogênea, rios caudalosos e extensos, que dificultam a construção de linhas de transmissão de grande extensão.

### **4.2.1 O Sistema Interligado Nacional**

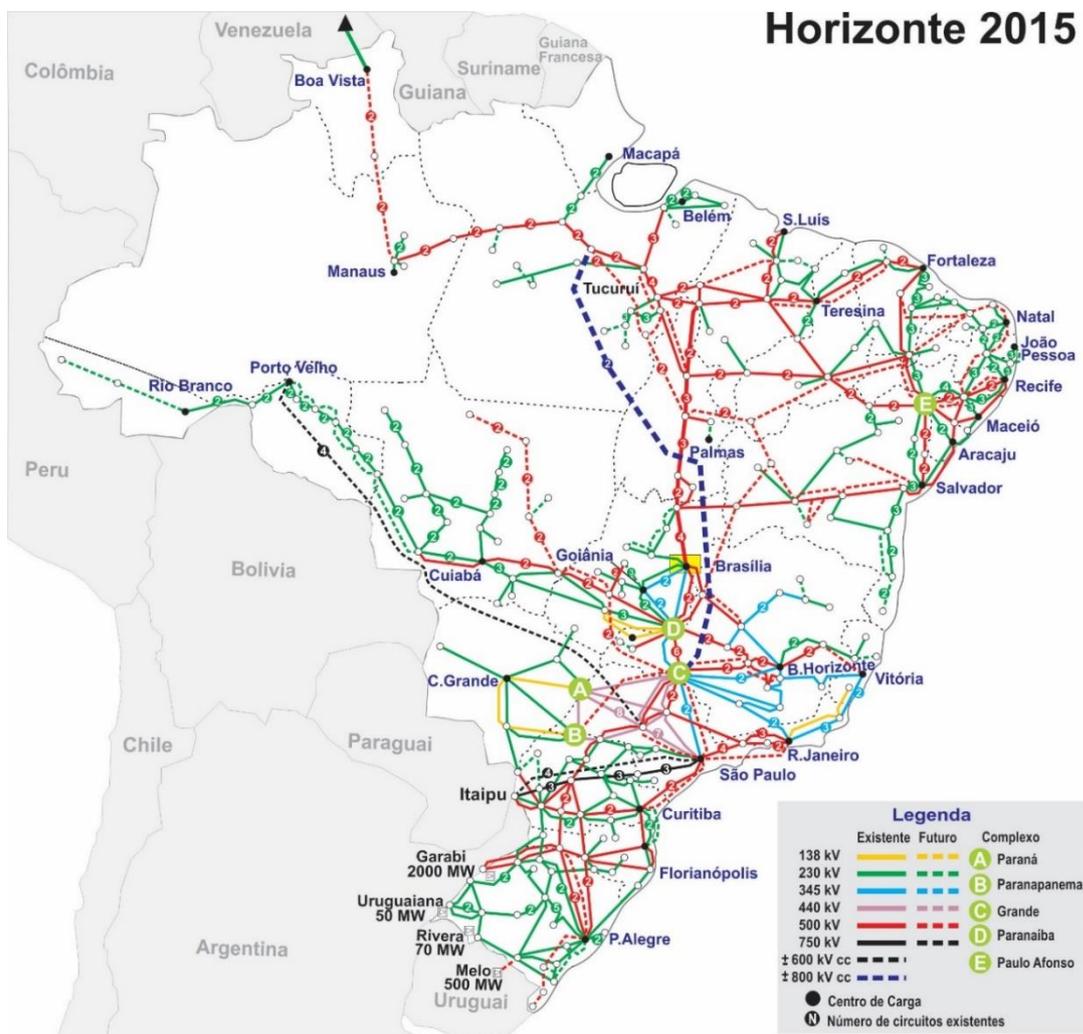
Único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica brasileira é tipicamente hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.

A rede interligada abastece o Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste e parcialmente cobre a Região Norte. Mais de 100 mil quilômetros de linhas de transmissão conectadas a 90% da capacidade nacional instalada de geração de energia compreendem o que é conhecido como o Sistema Interligado Nacional (EPE, 2014; ONS, 2014). Cerca de 8% da capacidade instalada corresponde a geração automática, isto é, a energia gerada e utilizada no mesmo lugar, sem utilizar a rede interligada. Tendo uma forte dependência da energia hidrelétrica, o SIN está sujeito a variações sazonais climáticas, sendo que a interligação alivia o impacto das condições meteorológicas através de complementaridades entre as várias bacias hidrográficas (DOMINGUES, 2003). A interligação permite a troca de energia elétrica, tanto entre as regiões nacionais quanto através de fronteiras internacionais, como exemplo temos Itaipu e Garabi, que são duas grandes instalações que conectam o sistema brasileiro ao Paraguai e Argentina.

Essa permissão de troca de energia entre regiões é uma característica importante em um país do porte do Brasil, onde temos o predomínio de usinas hidrelétricas localizadas em regiões com regimes hidrológicos diferentes. Como os períodos de estiagem de uma região podem corresponder ao período chuvoso de outra, a integração permite que a localidade onde os reservatórios estejam mais cheios envie energia elétrica para outra, na qual os reservatórios estejam vazios. Com isso, permite-se a preservação do estoque de energia elétrica represado sob a forma de água nos reservatórios das usinas.

Na Figura 12, temos a representação do Sistema Interligado Nacional. Podemos verificar a grande densidade de linhas de transmissão nas regiões Sul e Sudeste, em oposição à baixa densidade ou inexistência de linhas de transmissão na Região Norte.

Figura 12 - Mapa representativo do SIN, horizonte 2015.



Fonte: ONS (2014).

### 4.2.2 Os Sistemas Isolados

Predominantemente abastecidos por usinas térmicas movidas a óleo diesel, os sistemas isolados também abrigam Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e termelétricas movidas a biomassa. Estão localizados principalmente na Região Norte, nos Estados do Amazonas, Pará, Roraima, Acre, Amapá e Rondônia.

São chamados de sistemas isolados, pois não estão interligados ao SIN, não permitindo com isso o intercâmbio de energia elétrica com outras regiões, em função das peculiaridades geográficas onde estão instalados e da falta de linhas de transmissão.

Os sistemas isolados, ocupam uma área em torno de 45% do território nacional, contemplando 3,1% da população brasileira, sendo que 99,2% da carga dos sistemas isolados estão na Região Norte (MME, 2010). Na Figura 13 verifica-se a abrangência territorial dos

sistemas isolados, com o predomínio das usinas termelétricas (UTE) representadas pelos pontos amarelos.

Figura 13 - Centrais elétricas que compõem os sistemas isolados.



Fonte: ANEEL (2008).

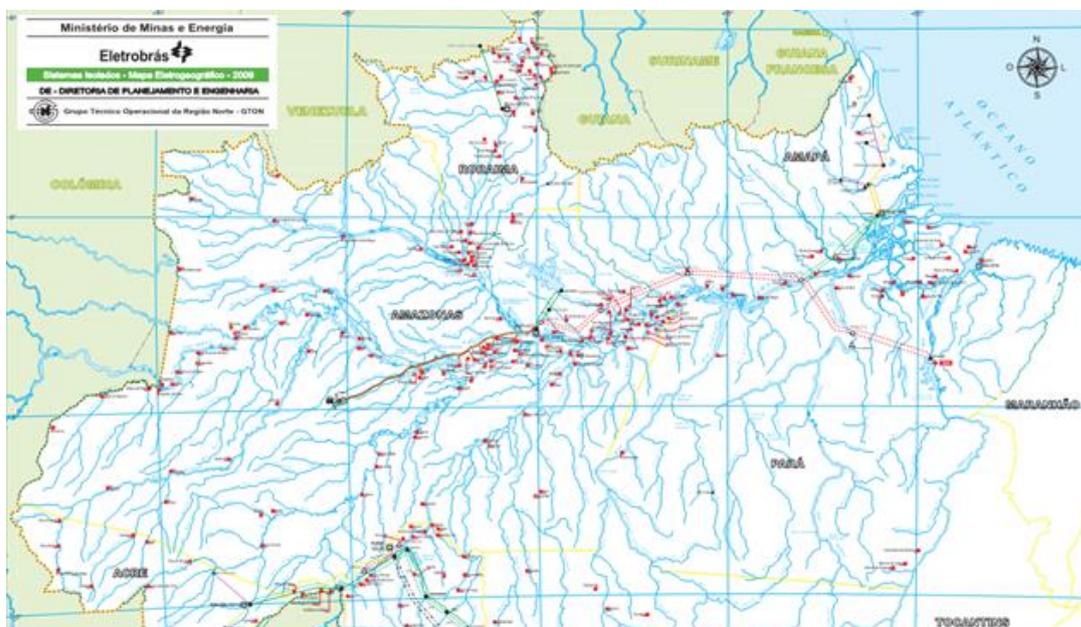
Por serem térmicos na sua maioria, os sistemas isolados apresentam custos de geração superiores aos do SIN. Somam-se a isso as dificuldades de logística e de abastecimento dessas localidades, pressionando o frete dos combustíveis, em especial o óleo diesel.

A Figura 14 mostra um recorte do Mapa Eletrogeográfico Brasileiro, destacando em pontos vermelhos a localização dos sistemas isolados, distribuídos por toda Região Norte.

O atual modelo de geração de energia elétrica nas regiões dos sistemas isolados é oriundo do consumo de combustíveis fósseis (principalmente óleo diesel), através de inúmeras unidades geradoras de pequeno porte, caracterizado pela grande dificuldade de fornecimento e

logística. As populações encontradas nestas regiões sofrem intensa restrição aos serviços básicos, encontrando-se em total descompasso evolutivo quanto ao usufruto dos benefícios que a energia elétrica proporciona.

Figura 14 - Recorte do Mapa Eletrogeográfico Brasileiro.



Fonte: ELETROBRÁS (2014).

Principalmente na região Norte, verifica-se que o modelo de criação e instalação das grandes centrais hidrelétricas, intensificou as desigualdades sociais e econômicas, pois a sua oferta seguiu o mesmo modelo da geração de renda destinada à parte da sociedade localizada nos principais centros urbanos.

Aliado a esses problemas, temos a questão dos resíduos, que no caso dos sistemas isolados, torna-se um atrativo para utilização de tecnologias para tratamento dos resíduos com a geração de energia elétrica, contribuindo com o saneamento básico e possibilitando aproveitar a energia produzida para substituir de forma parcial ou total o consumo dos combustíveis fósseis, migrando da dependência fóssil para a interdependência residuária.

Os sistemas isolados procuram suprir as discontinuidades ocupacionais existentes devido à dispersão geográfica e grandes distâncias entre centros de carga e potenciais de geração, sendo com isso mais viável a utilização da geração distribuída, construídas para fins específicos, de modo a atender a demanda local e próxima aos respectivos centros de carga.

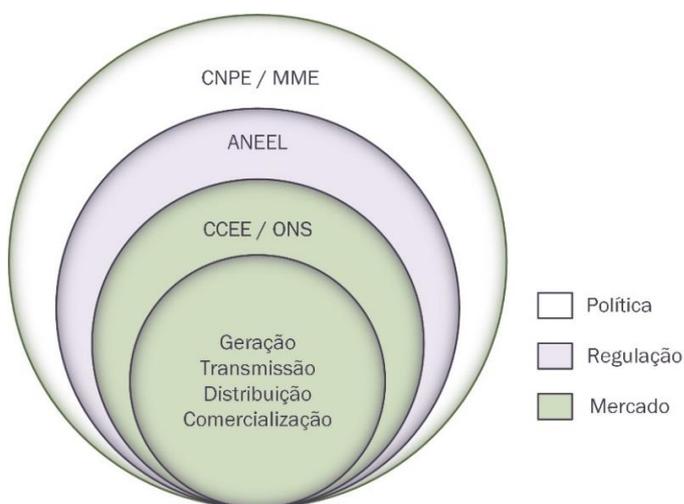
Em síntese, o crescimento do setor elétrico brasileiro tem sido essencialmente baseado em enormes fontes hidrológicas disponíveis. Como a capacidade de geração de energia hidrelétrica em grande escala foi desenvolvida, grandes extensões de rede foram construídas

para fornecer energia elétrica no país. Notavelmente, o chamado sistema isolado também é baseado em uma abordagem centralizada em que usinas de grande escala locais fornece eletricidade para os usuários através de redes de transmissão e de distribuição bem estabelecido. No entanto, a topografia e a carga baixa e dispersa em certas áreas como a Amazônia impedem a extensão da rede. Como resultado, a necessidade de sistemas de geração descentralizada surge como uma maneira para fornecer eletricidade em zonas remotas.

### 4.3 A Dimensão Institucional do Setor Elétrico Brasileiro

As instituições que atuam no setor elétrico brasileiro evoluíram conjuntamente com o desenvolvimento do sistema centralizado nacional. A Figura 15 ilustra o quadro nacional institucional construído em torno do setor de energia, e fornece o contexto em que o programa de eletrificação rural LPT tenha sido concebido. O esquema corresponde a um modelo centralizado - que é organizado de acordo com as áreas que abrangem a política energética, regulação e mercado - que serve tanto aos sistemas interligado e isolado. O Estado é responsável pelo planejamento, monitoramento e regulação do setor elétrico e vários agentes dos setores público e privado são ativos na geração, transmissão, distribuição e comercialização, tanto no sistema interligado quanto nos sistemas isolados. Este modelo institucional foi aprovado em 2004 com o objetivo principal de assegurar o abastecimento nacional de eletricidade e promover tarifas mais baixas e de inclusão social. O novo modelo enfatiza o fato de que a inclusão social depende fortemente da realização da cobertura de energia elétrica total no país.

Figura 15 - Estrutura institucional do setor elétrico.



Fonte: Adaptado de Galindo (2014).

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) é o responsável pela formulação da política energética. Seu objetivo é promover o uso racional das fontes de energia e garantir o fornecimento de energia para todo o país. Além disso, o CNPE estabelece diretrizes para as importações e exportações de energia, de modo a satisfazer as necessidades de consumo interno. O Ministério de Minas e Energia (MME) implementa políticas de acordo com as orientações fornecidas pelo CNPE.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamenta e supervisiona o setor elétrico, garantindo a qualidade dos serviços e cobertura de energia elétrica total no país. A ANEEL estabelece tarifas para as diferentes áreas de concessão sendo responsável por determinar uma tarifa que seja capaz de manter o equilíbrio econômico-financeiro em cada área de concessão. A agência também é responsável pela aprovação de concessionárias e outros prestadores de serviços.

Em relação ao mercado, as atividades de distribuição e transmissão são reguladas, mas a eletricidade pode ser comercializada livremente com os consumidores acima de 3 MW via contratos negociados ou por meio de leilões de energia administrados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O modelo de mercado brasileiro considera dois ambientes para a venda de energia elétrica: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Geradores de energia podem vender eletricidade em ambos os ambientes e isso ajuda a manter a natureza competitiva das atividades de produção. O Operador Nacional do Sistema (ONS) coordena e controla o funcionamento do sistema interligado e a CCEE é responsável pelo mercado atacadista de energia. A câmara tem um papel significativo no desenvolvimento de operações de mercado de curto prazo e comércio de eletricidade dentro do Ambiente de Contratação Regulada (CCEE, 2012; ONS, 2014).

A Tabela 5 resume os principais participantes do setor elétrico e sua função específica dentro do atual modelo institucional. Ele também ilustra as principais ligações entre as diferentes instituições. Por exemplo, a ação do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e do Ministério de Minas e Energia (MME) é suportado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que prevê estudos e desenvolve pesquisas no campo da energia, incluindo energia elétrica, petróleo e gás natural, carvão, energia renovável e eficiência energética. O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) também trabalha em estreita colaboração com CNPE e MME, uma vez que monitora o funcionamento do sistema e recomenda medidas preventivas para garantir o abastecimento.

Tabela 5 - Principais atores no quadro institucional brasileiro.

	<b>Instituição</b>	<b>Função</b>
Política	CNPE – Conselho Nacional de Política Energética	Formular políticas energéticas, em conjunto com outras políticas públicas.
	MME – Ministério de Minas e Energia	Implementar políticas para o setor elétrico, de acordo com orientações do CNPE.
Planejamento	EPE – Empresa de Pesquisa Energética	Desenvolver estudos para definir a matriz energética e planejar a expansão do setor elétrico (geração e transmissão).
Monitoramento	CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico	Monitora o funcionamento do sistema. Recomenda medidas preventivas para garantir o abastecimento.
Regulação	ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica	Regula e supervisiona o sistema, garantindo a qualidade dos serviços, a universalização e o estabelecimento de tarifas para os consumidores, preservando a viabilidade econômica e financeira dos agentes envolvidos.
Operação do Sistema Interligado	ONS – Operador Nacional do Sistema	Coordena e controla a operação do sistema interligado.
	CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	Gerencia o Mercado atacadista de energia. Determina o preço à vista, servindo para avaliar as operações de mercado de curto prazo. Prepara e realiza leilões de energia elétrica.
Operação e Planejamento dos Sistemas Isolados	GTON – Grupo Técnico Operacional da Região Norte	Responsável pelo planejamento e operação dos sistemas isolados, sob o mandato da Eletrobrás.
Geração, Transmissão e Distribuição	Eletrobrás e subsidiárias	De propriedade do Governo Federal, controla cerca de 35% da geração de energia no país, através de seis subsidiárias. Também atua na transmissão e distribuição. Uma série de subsidiárias atuam como concessionárias e fornecimento de energia elétrica para territórios exclusivos, de acordo com a regulamentação da ANEEL.
	Outras concessionárias	Responsável pelo fornecimento de energia elétrica para uma área de concessão, de acordo com a regulamentação da ANEEL.
	Cooperativas	Responsável pelo fornecimento de energia elétrica em áreas específicas. Podem atuar como concessionárias.
Consumo	Usuários final	Ativo nas categorias residencial, industrial, comercial e rural no âmbito dos sistemas interligado e isolado.

Fonte: Adaptado de Galindo (2014).

Dada as diferenças entre o sistema interligado e sistemas isolados, existe uma mudança entre as instituições relacionadas à coordenação do lado operacional, principalmente através da participação do Grupo Técnico Operacional da Região Norte (GTON). O grupo está sob o mandato da Eletrobrás, empresa estatal de eletricidade.

Enquanto a operação e a coordenação dos sistemas isolados são realizadas pelo GTON, o Operador Nacional do Sistema (ONS) é responsável por estas atividades no sistema interligado. O ONS garante que os requisitos de carga são atendidos pelo sistema com uma operação confiável, incluindo a geração de energia e linhas de transmissão de alta tensão. GTON está ativo nos estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Amapá.

O monitoramento e controle das usinas térmicas e hidrelétricas nos sistemas isolados é de responsabilidade do GTON, que realiza inspeções técnicas periódicas, com o objetivo de verificar as condições técnicas, operacionais e ambientais. Sendo um sistema predominantemente baseado no diesel, o modelo de operação real para os sistemas isolados implica a identificação da demanda de energia elétrica, de modo que a quantidade necessária de combustível pode ser estabelecida e entregues normalmente durante os primeiros meses do ano, quando os rios são navegáveis (DE FIGUEIREDO, 2008). Uma série de sistemas isolados, que não são oficialmente registrados, conseqüentemente, não são consideradas dentro das responsabilidades atribuídas ao GTON. Em termos de atividades de geração, transmissão e distribuição, as concessionárias são os principais prestadores de serviços em sistemas interligado e isolado, seguindo um modelo institucional muito centralizado.

As concessionárias operam serviços exclusivos no Brasil. No total, cerca de 74 concessionárias privadas e públicas estão em atividades de distribuição no país (ANEEL, 2013). Eles fornecem serviços de energia elétrica para cerca de 98% dos atuais usuários finais (IBGE, 2011). Os contratos de concessão são assinados entre a ANEEL e as empresas de eletricidade. Esses contratos são usados para definir regras claras sobre o território a ser fornecido, de tarifas e qualidade do serviço, bem como sanções para os casos em que os requisitos estabelecidos não forem cumpridos. As concessionárias têm a obrigação de servir a todos os habitantes em seu território sob concessão, e manter tarifas baixas para os cidadãos de baixa renda. Outros agentes, como as cooperativas, têm a possibilidade de atuar como concessionárias em teoria, embora a sua ação seja limitada enquanto suas atividades não são registradas no banco de dados oficial (ANEEL, 2013).

O papel da Eletrobrás é bastante significativo no sistema elétrico brasileiro, uma vez que controla cerca de 35% da geração de energia nacional e tem uma forte presença na região

amazônica. É uma empresa estatal que tem atividade de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica através de seis subsidiárias no país: Eletrobrás Chesf, Eletrobrás Furnas, Eletrobrás Eletrosul, Eletrobrás Eletronuclear, Eletrobrás CGTEE e Eletrobrás Eletronorte. O último é ativo na região amazônica e fornece eletricidade a mais de 15 milhões de pessoas através de sistemas interligado e isolado.

A dimensão institucional do setor elétrico brasileiro é complexa. Em geral, um modelo centralizado presta serviços de energia elétrica no país. O governo tem incentivado um sistema elétrico em que as concessionárias são atores fundamentais a nível nacional, regional e local, e atualmente incentiva a participação de outros atores, como cooperativas e Organizações Não Governamentais (ONG's).

## **4.4 O Programa Luz Para Todos**

Na década de 1990, um esforço governamental significativo foi realizado para fornecer eletricidade em áreas remotas. O Programa de Desenvolvimento Energético (PRODEEM) foi formalmente lançada em 1994 com o objetivo principal de oferecer eletricidade renovável, através de fonte solar fotovoltaica, para escolas, hospitais e centros comunitários em áreas rurais. O PRODEEM foi elaborado considerando as necessidades sociais e produtivas para promover o desenvolvimento regional, reduzir o uso de combustível diesel e completar os sistemas de rede elétrica, quando necessário. No entanto, o programa não foi eficaz e mostrou que uma abordagem de cima para baixo, sem a participação da comunidade, não pode fornecer uma solução eficaz para a eletrificação rural (GALINDO, 2014).

Com início em 1999, o Programa Luz do Campo foi destinado a eletrificar um milhão de casas rurais em um período de três anos. No entanto, até o final de 2000, cerca de 10 milhões de cidadãos ainda não tinham acesso a eletricidade (MME, 2010).

Esforços anteriores para melhorar a cobertura de eletricidade ficaram distante dos objetivos planejados. Foi então criado o Programa de Universalização de Energia Elétrica para aumentar a oferta de energia elétrica para os municípios com maior cobertura, com o objetivo de atingir a cobertura total nessas localidades até o final de 2015. A abordagem conceitual mudou desde então. Hoje, o conceito de universalização é incorporado à política de eletrificação rural, dando prioridade às regiões menos desenvolvidas. Segundo o censo de 2010, cerca de 600.000 famílias rurais, ou aproximadamente 2,4 milhões de pessoas não têm acesso à energia elétrica no país (IBGE, 2011).

O acesso à eletricidade é reconhecido como um direito civil, que é uma característica única da abordagem brasileira da eletrificação. Dentro deste contexto, a energia é amplamente reconhecida como um motor de desenvolvimento social e econômico, e a prestação de cobertura completa de eletricidade para todos os cidadãos é uma prioridade nacional. Este fato é confirmado por meio da incorporação de políticas de eletrificação rural em outras políticas de desenvolvimento, bem como nas conquistas do desenvolvimento da região amazônica (GOMÉZ; SANCHES-PEREIRA; SILVEIRA, 2013). De acordo com esse ponto de vista, o governo brasileiro está usando o IDH como um instrumento para planejar e monitorar a política de desenvolvimento, no qual também a eletrificação está incluída. A abordagem da universalização é buscada através da mais recente iniciativa governamental conhecida como Programa Luz Para Todos (LPT), que está em vigor desde 2003.

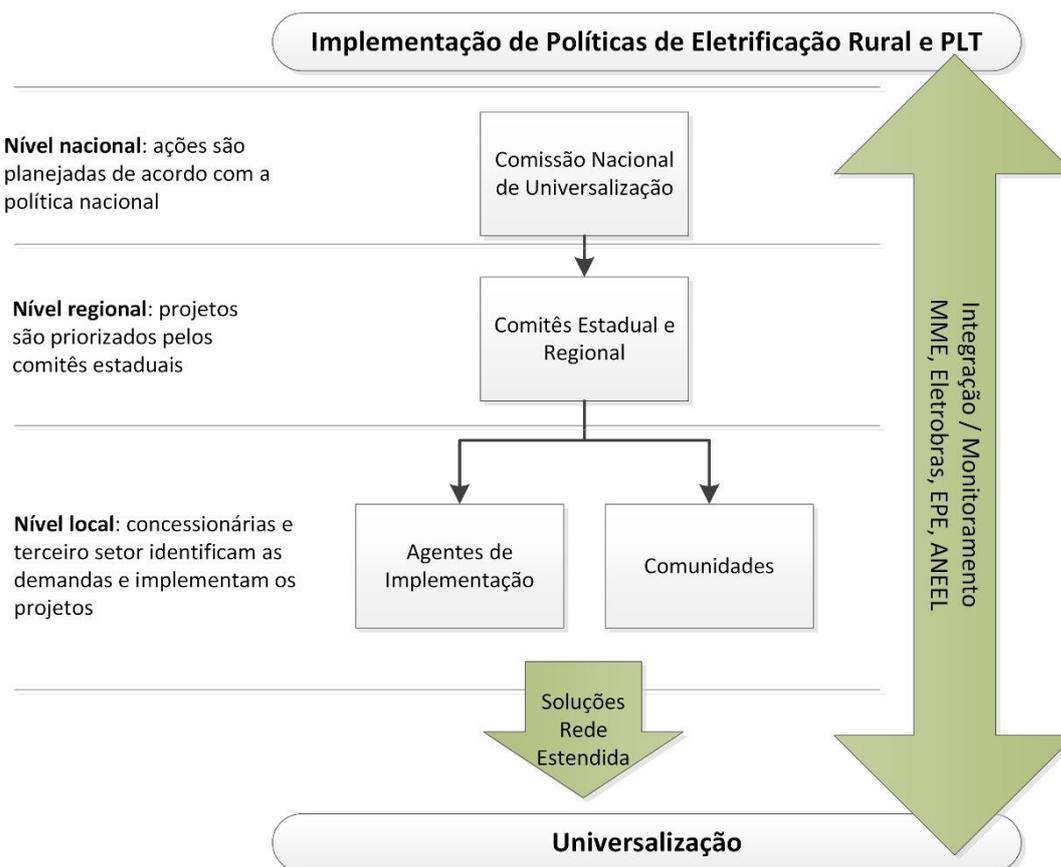
Este programa de eletrificação rural foi criado com o objetivo principal de alcançar a universalização do país (MME, 2003). A cobertura completa de eletricidade implicava o fornecimento de energia elétrica para cerca de 2 milhões de famílias quando LPT entrou em vigor (MME, 2011). Até o momento, mais de 14 milhões de pessoas que vivem em áreas rurais do Brasil têm se beneficiado com o programa (MME, 2013). Todas as famílias rurais recebem um "kit de instalação interna" que envolve o fornecimento e instalação de lâmpadas, tomadas elétricas e toda a fiação interna (MME, 2011). Antes do LPT, os beneficiários tiveram de suportar não só os custos de conexão, mas também os custos de toda a fiação interna e os equipamentos necessários.

O Luz Para Todos fornece eletricidade para as famílias rurais por meio de sistemas centralizados e descentralizados. Portanto, o programa inclui a extensão tradicional da rede, bem como a implementação de mini redes e sistemas autônomos. No entanto, os resultados reais foram obtidos principalmente por meio de um modelo de extensão de rede, que depende fortemente de um regime de subvenção que permite aos utilizadores finais não incorrer em custos para a obtenção de acesso à energia elétrica (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2002). A capacidade a ser instalada não pode exceder 15 kVA por domicílio, exceto em casos especiais, como na presença de poços de água para uso da comunidade, centros comunitários de produção, escolas e hospitais (MME, 2010).

### 4.4.1 Estrutura Institucional do LPT

Os papéis dos diversos atores que atuam na estrutura operacional do LPT são claramente definidos a nível nacional, regional e local. A Figura 16 apresenta uma ilustração do quadro institucional de apoio ao LPT a estes três níveis.

Figura 16 - Quadro institucional de apoio ao LPT.



Fonte: Adaptado de Galindo (2014).

A Comissão Nacional de Universalização (CNU) é encarregada de estabelecer políticas e diretrizes para o uso da eletricidade como um caminho para o desenvolvimento integrado das zonas rurais, de acordo com a diretiva nacional.

A CNU é formada por representantes de 13 ministérios, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Fórum da Secretaria de Estado de Energia, e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A Eletrobrás administra os recursos financeiros disponibilizados pelos fundos setoriais. Embora a coordenação do LPT esteja nas mãos do Ministério de Minas e Energia (MME), a Secretaria Operacional do LPT está a cargo da Eletrobrás.

O MME estabelece diretrizes para a ação e trabalha em estreita colaboração com os coordenadores das comissões estaduais e regionais. Os projetos são priorizados pelos comitês estaduais, seguindo diretrizes do MME. Eletrobrás e ANEEL supervisionam a declaração de compromisso assinado entre o Governo Federal, os estados e os agentes de execução. A Tabela 6 resume as principais competências das instituições relacionadas.

Tabela 6 - Principais competências das instituições ligadas ao LPT.

INSTITUIÇÕES		COMPETÊNCIAS							
		Política	Regulação	Coordenação	Integração	Priorização	Operação	Implementação	Monitoramento
<b>Nacional</b>	Comissão Nacional de Universalização (CNU)	•							
	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)		•						
	Ministério de Minas e Energia (MME)			•					
	Comitê Nacional de Gestão				•				•
	Eletrobrás						•		•
<b>Regional</b>	Coordenadores Regionais				•	•			•
	Comitê Estadual de Gestão								•
<b>Local</b>	Agentes de Implementação							•	

Fonte: Adaptado de MME (2010).

Essa tabela também mostra o papel preponderante das concessionárias em atividades de implementação. Este é o resultado do regulamento, considerando territórios de serviços exclusivos para fornecimento de energia elétrica. As concessionárias são o ator principal responsável pela implementação da eletrificação rural em suas respectivas áreas de concessão. Essa responsabilidade abrange atividades que vão desde a identificação da demanda de dotação financeira e da implementação física das ligações.

No que diz respeito a implementação, orientações bem definidas são fornecidas pelo MME para conduzir o processo de eletrificação rural. Neste sentido, é dada prioridade a: (i) projetos de eletrificação rural que estão paralisadas por falta de recursos; (ii) municípios com cobertura de eletrificação abaixo de 85% de acordo com o Censo de 2000; (iii) municípios com

IDH abaixo do IDH do seu respectivo Estado; (iv) comunidades atingidas por barragens hidrelétricas ou obras do sistema elétrico; (v) projetos que incidem sobre o uso produtivo da energia elétrica para promover o desenvolvimento local integrado; (vi) escolas, clínicas e poços para fornecer água de saúde pública; (vii) assentamentos rurais; (viii) projetos para o desenvolvimento das atividades da agricultura familiar ou de artesanato; (ix) agricultores de pequeno e médio porte e população do entorno das áreas protegidas e das minorias.

Uma vez que as concessionárias tenham identificado e priorizado a demanda através da interação direta com a comunidade, então avançam no planejamento para realizar as conexões necessárias e calcular as necessidades financeiras específicas. Estes requisitos financeiros são, então, aprovados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A visão do governo brasileiro é que as famílias de baixa renda não podem pagar o acesso à eletricidade se os subsídios não são oferecidos (MME, 2011). Dentro deste contexto, os subsídios para a prestação de serviços de energia elétrica para a população de baixa renda têm sido um instrumento importante para atingir os objetivos do LPT.

#### **4.4.2 Fundos Estruturais do LPT**

O regime de subvenção do LPT é resultado de uma combinação de subsídios para conexão e consumo. O governo brasileiro presta apoio financeiro às concessionárias, sob a forma de subvenções e empréstimos em condições favoráveis, e as concessionárias repassam os recursos para os usuários finais na forma de ligações gratuitas ou tarifas mais baixas. Em outras palavras, os subsídios são vistos como um mecanismo para manter os preços da eletricidade para níveis inferiores aos de mercado para as famílias pobres. Esses subsídios são percebidos como alocação de recursos essencial para garantir o desenvolvimento do país como um todo, o que beneficia os grupos mais pobres e reduz a desigualdade.

Uma vez que o objetivo é atingir a cobertura total, esta subvenção beneficia todos os cidadãos que solicitam conexões. Embora os subsídios de consumo não estão diretamente ligados à execução do LPT, eles são fundamentais para o processo e os objetivos do programa. Isto significa que uma vez que o processo de conexão é finalizado pelo LPT, os usuários finais começam a receber o subsídio correspondente de acordo com seus níveis específicos de consumo. Inicialmente, todos os usuários com consumo de energia elétrica abaixo de 80 kWh por mês e até mesmo usuários de até 220 kWh, sob certas condições são considerados consumidores baixa renda e possuem o direito de pagar tarifas reduzidas. Recentemente, a tarifa

social introduziu um novo conceito que oferece descontos na tarifa residencial de acordo com o consumo, conforme indicado na Tabela 7.

A diferença entre as baixas tarifas para os consumidores de baixa renda e do alto custo do serviço ainda é coberto por subvenções cruzadas, mas apenas os usuários finais, que são classificados como consumidores de baixa renda e estão devidamente registrados no banco de dados oficial do Governo Federal através de programas sociais é que podem ser beneficiados pela subvenção. Os grupos indígenas e as minorias recebem um desconto de 100% até um consumo máximo de 50 kWh/mês, desde que constem no registro oficial. Isso ocorre porque a comunidade indígena tem um estatuto particular de acordo com a Constituição brasileira e o governo exerce uma proteção tutorial dessas minorias.

Tabela 7 - Tarifa social para baixa renda.

Consumo de eletricidade (kWh/mês)	Desconto (%)
≤ 30	65
31 até 100	40
101 a 220	10
> 220	Sem desconto

Fonte: Adaptado de Presidência da República (2010).

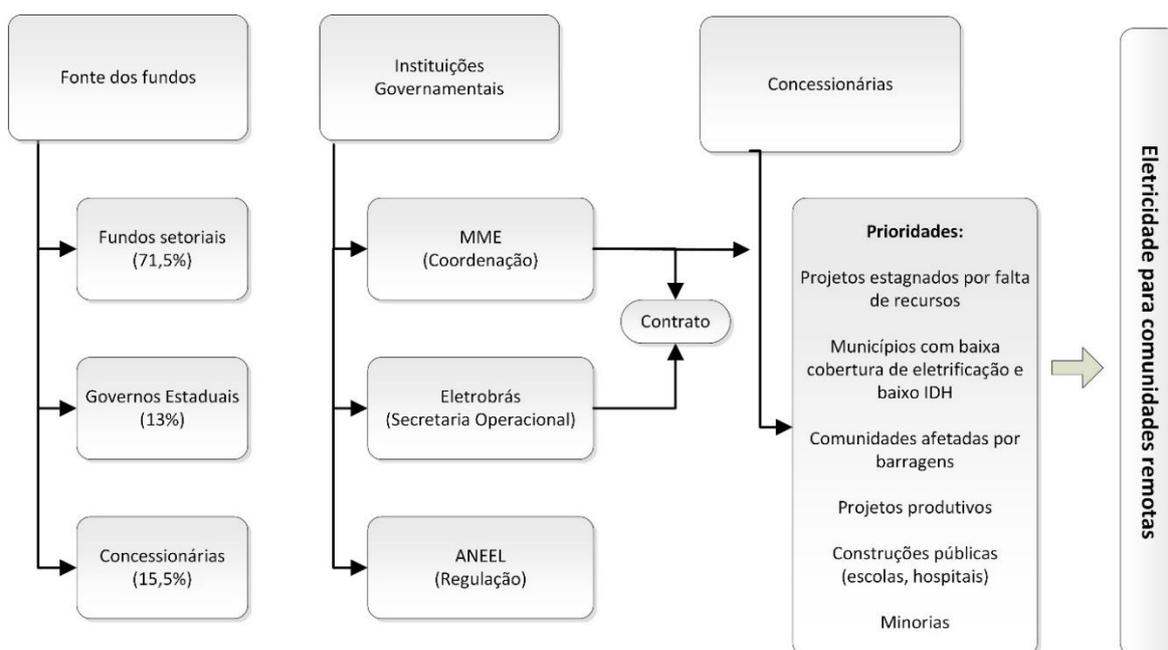
Além de fontes federais, os governos estaduais e as concessionárias deverão fornecer cerca de 10% e 15% dos recursos necessários, respectivamente, através de fundos setoriais. Dois fundos setoriais são os principais fornecedores dos recursos necessários: a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e da Reserva Global de Reversão (RGR). Enquanto o CDE fornece recursos sob a forma de uma subvenção, a RGR fornece recursos sob a forma de um empréstimo bonificado. As fontes de CDE suprem entre 10 e 65% dos recursos necessários para os projetos de extensão de rede, e a RGR oferece entre 10 e 70%, dependendo do projeto específico. Em regiões onde o investimento necessário é baixo, uma porcentagem baixa é concedida às concessionárias. Os subsídios são maiores em regiões como a Amazônia, onde o investimento necessário é alto. Um tratamento diferenciado foi estabelecido para os sistemas isolados em termos de financiamento. Inicialmente, estas soluções incluem tecnologias como hidrocíntrica, mini e micro centrais hídricas, sistemas de energia solar e eólica, usinas com base em biocombustíveis ou gás natural e sistemas híbridos. Nestes casos, a CDE fornece 85% do financiamento necessário (sob a forma de subsídio) e as concessionárias aportam os 15% restantes (MME, 2009). Todos esses fundos são administrados pela Eletrobrás. Essa estrutura

foi recentemente adaptada com o objetivo de promover iniciativas de eletrificação em áreas remotas (ANEEL, 2012a; MME, 2011; GOMÉZ e SILVEIRA, 2010). Esta questão específica é abordada no capítulo 5.

Para subsidiar os combustíveis fósseis utilizados para geração de energia termelétrica nos sistemas isolados existe a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC). Todos os consumidores no país compartilham custos de geração térmica em sistemas isolados, definido por valores anuais para cada concessionária, dependendo da sua área de concessão e uso de usinas térmicas. A CCC é, portanto, relevante para a operação de sistemas baseados em diesel na Amazônia brasileira.

No passado, a CCC reembolsava as despesas relacionadas com combustíveis para geração térmica que cobriam as diferenças de custo para o equivalente em energia hidráulica (ANEEL, 1999). Um custo equivalente de energia hidráulica foi definido pela ANEEL, e a diferença entre o custo do combustível para a geração térmica e o custo da energia hidrelétrica era alocado para cada concessionária de acordo com a sua geração de energia específico. A CCC foi recentemente reformada para reembolsar as concessionárias e os agentes autorizados de geração de energia com um montante igual à diferença entre o custo total de geração de energia elétrica nos sistemas isolados e o custo médio de gerar a quantidade de energia equivalente ao sistema interligado (ANEEL, 2011).

Figura 17 - Fluxo de recursos através do LPT.



Fonte: Adaptado de Galindo (2014).

A Figura 17 ilustra como é atribuído o fluxo de fundos, juntamente com o quadro institucional existente dentro do LPT para a abordagem de extensão da rede. O financiamento governamental é transferido para as concessionárias mediante a prova de que a conexão foi fornecida a uma família específica. O LPT criou um sistema de monitoramento em que a alocação de recursos está ligada ao desempenho das concessionárias. A distribuição dos recursos fornecidos pelo CDE e RGR depende das condições particulares de cada concessão. As concessionárias calculam suas necessidades específicas, com base na demanda identificada, que são então aprovados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), formalizado através de um contrato. Enquanto a concessionária demonstra o cumprimento do plano de execução da extensão de rede, os recursos são liberados pela Eletrobrás.

## 4.5 Considerações Finais

Este capítulo mostrou como a estrutura centralizada do setor elétrico brasileiro tem sido crucial para a obtenção dos resultados do LPT. Mostrou também que o Brasil estabeleceu claramente a eletrificação universal como um objetivo nacional. O LPT inclui um plano flexível e abrangente, e já beneficiou mais de 14 milhões de pessoas até o momento. O reconhecimento do acesso à eletricidade como um direito civil também forneceu indicações concretas para todos os níveis de tomadas de decisão envolvidos na iniciativa nacional de eletrificação rural.

Aliado aos resultados apresentados no capítulo 3, também mostrou como é importante o reconhecimento do papel que o acesso à eletricidade pode desempenhar no alcance das metas de desenvolvimento humano e na definição de políticas públicas para promover a cobertura total de eletricidade a nível nacional e regional.

Em resumo, uma série de fatores têm sido fundamentais para o sucesso da iniciativa com base em extensão da rede. O compromisso nacional, em conjunto com objetivos claros e um quadro institucional bem estabelecido, e o importante papel das concessionárias no processo de implementação e uso da extensão da rede como a principal abordagem para fornecer eletricidade em áreas rurais têm sido particularmente importantes. Entretanto, desde que as metas de acesso a eletricidade alcançadas através da extensão da rede, as redes locais de energia elétrica pertencentes aos sistemas isolados têm sido negligenciadas pelo LPT, principalmente as populações que vivem em áreas remotas. Paradoxalmente, estes são os habitantes com o IDH mais baixo, e aqueles que teriam recebido o maior benefício se fossem fornecidos os serviços

de energia elétrica. Não apenas cerca de 930 mil pessoas ainda estão sem acesso a eletricidade, mas também IDH inferiores a 0,5 são encontrados em uma série de municípios dispersos, indicando que grandes desigualdades ainda prevalecem na região.

Existe um consenso geral sobre a necessidade de planejar e executar um novo esquema descentralizado para fornecer eletricidade em áreas remotas. Em linha com este reconhecimento, o governo brasileiro recentemente adaptou o modelo do LPT. O próximo capítulo analisa como o LPT foi adaptado e discorre sobre os desafios relacionados com a disponibilização de acesso a eletricidade em áreas remotas sob o novo regime.

# Capítulo 5

## DESAFIOS ESTRUTURAIS NO ACESSO UNIVERSAL À ENERGIA ELÉTRICA

---

### 5.1 Considerações Iniciais

O acesso universal à eletricidade em áreas remotas no Brasil impõe um grande desafio governamental, devido entre outros fatores à grande extensão territorial e dificuldades técnicas envolvidas no planejamento energético. Políticas públicas são necessárias para permitir a universalização da energia, em especial na Amazônia, que compreende a quase totalidade das famílias e comunidades sem eletrificação pela rede convencional.

Atualmente, o chamado Programa Luz Para Todos (LPT) do Governo Federal, fornece energia elétrica para o desenvolvimento rural de famílias por meio de sistemas centralizados e descentralizados. O programa inclui a extensão da rede tradicional, bem como a implantação de minirrede e sistemas autônomos. No entanto, ao longo de mais de uma década de existência, os resultados reais foram obtidos, principalmente, através de um modelo de extensão de rede convencional, que se baseia fortemente em um esquema de subsídio onde, para os usuários finais, não incorrem quaisquer custos para a obtenção de acesso à eletricidade (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2002). A capacidade a ser instalada não pode ultrapassar 15 kVA por família, exceto em casos especiais, como na presença de poços artesianos para uso comunitário, centros comunitários de produção, escolas e hospitais.

Durante as fases iniciais da eletrificação através do LPT, a extensão da rede foi relativamente simples e um número significativo de pessoas foi beneficiado com o programa, mas, como a rede atingiu os seus limites físicos e econômicos, essa extensão tornou-se mais difícil e inviável em alguns casos. Esta situação é conhecida como a "última milha", ou a fase final do processo de fornecimento de acesso à eletricidade para os usuários através da extensão da rede convencional. As estatísticas oficiais indicam que a última milha não foi atingida na

região amazônica. Enquanto cerca de 50% dos municípios da região conseguiram níveis de cobertura de energia elétrica acima de 80% em suas áreas rurais, a cobertura de eletricidade rural está abaixo de 50% em 10% dos municípios. Com efeito, as zonas remotas são caracterizadas por um baixo e disperso fator de carga (MME, 2010; MME, 2013).

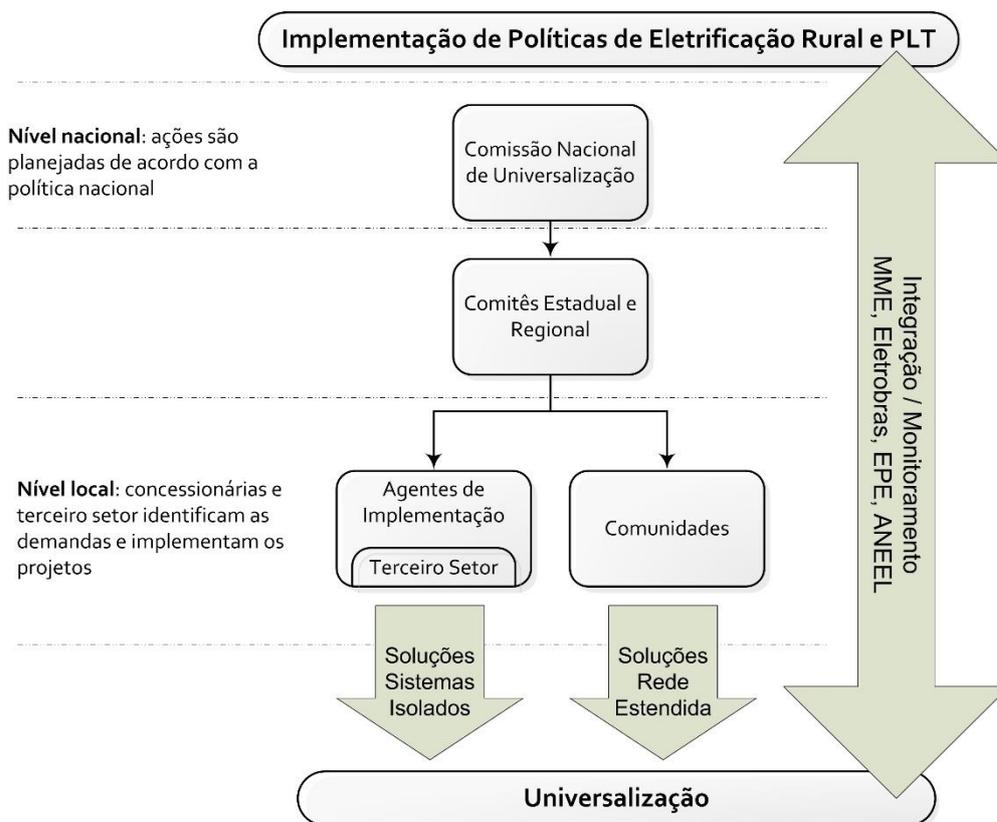
De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, cerca de 240 mil famílias que vivem na pobreza em áreas rurais e urbanas da região amazônica têm acesso à eletricidade, mas não possuem medidores de eletricidade (MDS, 2013). Apesar de não ser diferenciado nas estatísticas oficiais, números significativos dessas famílias vivem em áreas remotas. Isso dá uma ideia da informalidade no fornecimento de energia elétrica nessas áreas e expõe a ineficiência institucional do LPT, uma condição na qual as concessionárias e organizações informais descentralizadas coexistem em um contexto de regras pouco claras e soluções adaptativas.

## 5.2 Desafios na Estrutura Institucional

As estruturas institucionais para o desenvolvimento da eletrificação rural no Brasil evoluíram com base em um sistema centralizado, onde as concessionárias de energia são responsáveis por fornecer acesso completo à eletricidade no país. Essas concessionárias têm desempenhado um papel fundamental na implantação da iniciativa nacional de eletrificação rural, fornecendo energia elétrica para 99% da população nacional. No entanto, elas não são tão relevantes para a região amazônica, pois cobrem apenas 62% dos domicílios rurais ou cerca de 2,4 milhões de pessoas. Em torno de 14% da população rural na região, ou aproximadamente 550.000 pessoas, são supridas através de outros tipos de organizações e 24% (930 mil pessoas), não possuem atendimento de serviços de energia elétrica (IBGE, 2011; GALINDO, 2014).

O governo federal criou recentemente um novo conjunto de regras que afetam diretamente o desenvolvimento da iniciativa de eletrificação rural em áreas remotas. As novas regras abordam a concepção e implantação de projetos de geração de energia com uma capacidade instalada de até 100 kW em áreas remotas. O novo sistema inclui as fontes renováveis, sistemas com base diesel e sistemas híbridos. Em termos de instituições, as novas regras também incorporam diferentes agentes no processo (Figura 18).

Figura 18 - Quadro de suporte do LPT adaptado.



Fonte: Adaptado de Galindo (2014).

A nível local, as concessionárias já estão autorizadas a conduzir processos de licitação, com a finalidade de selecionar interessados no fornecimento de eletricidade em locais específicos de suas áreas de concessão. O chamado terceiro setor da sociedade inclui organizações não governamentais (ONG's), empresários, cooperativas e iniciativas comunitárias que não foram oficialmente incluídas no regime inicial do LPT. A nível nacional, a Eletrobrás está totalmente envolvida na análise de custos de investimentos, operação e manutenção de potenciais projetos de geração de energia que são propostos por agentes de execução e de monitoramento de sua operação adequada.

Além disso, a Eletrobrás define o limite superior para investimentos de capital. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realiza a avaliação técnica e econômica, definindo o limite superior para os custos de operação dos projetos, apresentando um relatório detalhado ao Ministério de Minas e Energia (MME), que é responsável pela aprovação dos projetos após a conclusão dos requisitos técnicos e econômicos. Assim que o projeto for aprovado, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) autoriza as concessionárias a realizar a licitação para contratar o fornecimento de energia elétrica. Então, a Eletrobrás acompanha a execução dos

projetos e administra o financiamento, tendo a ANEEL como supervisora do cumprimento dos contratos assinados entre as concessionárias e o terceiro setor (MME, 2013).

Esse novo modelo foi adaptado para acomodar soluções para sistemas isolados que não foram considerados quando a iniciativa de eletrificação rural foi projetada há uma década. Comitês estaduais e regionais que foram concebidos como um elo importante entre as organizações, a nível nacional e local, em 2003, não são considerados no modelo atual. No entanto, eles também podem desempenhar um papel no planejamento e concepção das soluções e facilitar o diálogo entre as organizações nacionais e locais.

No lado técnico, o governo reconhece a necessidade de conhecimentos especializados em diferentes tecnologias além das convencionais com base nos combustíveis fósseis, com a inclusão da EPE sendo responsável pela avaliação técnica e econômica dos projetos apresentados pelos potenciais implementadores ao MME. Sobre a implantação e operação, as concessionárias permanecem como agentes-chave, pois continuam a desempenhar um papel significativo no modelo atual. No entanto, precisam adaptar suas operações e interagir com os novos agentes, a fim de atingir o objetivo de acesso universal de energia elétrica na região (MME, 2013).

Claramente, o novo modelo abre uma janela de oportunidade para novos atores participarem da oferta de acesso à eletricidade na região amazônica. A inclusão de novos agentes de execução apresenta oportunidades para as organizações não governamentais (ONG's) se tornarem formalmente fornecedores de eletricidade. No entanto, o novo regime também implica importantes desafios. Iniciativas descentralizadas na região muitas vezes não têm capacidade para avaliar os recursos locais, instalar e operar as tecnologias necessárias, pois sua experiência está essencialmente relacionada com a geração de energia à base de diesel. Isso poderia erroneamente influenciar a seleção de sistemas diesel, podendo causar impactos negativos sobre os ecossistemas amazônicos. Além disso, a execução de projetos para os sistemas isolados exige a cooperação entre os executores e as comunidades envolvidas.

### **5.3 Desafios nas Estruturas Tecnológicas**

A Amazônia é rica em uma variedade de recursos naturais. Ao mesmo tempo, várias tecnologias renováveis em todo o mundo têm-se revelado eficaz no fornecimento de eletricidade com base em recursos naturais disponíveis (CHAUREY; RANGANATHANA; MOHANTYB, 2004). A região, conseqüentemente, tem o potencial para implementar soluções

alternativas baseadas em recursos locais, vocações e necessidades. No entanto, os sistemas de eletrificação utilizados na Amazônia são normalmente baseados em combustíveis fósseis importados, em vez de fontes renováveis disponíveis localmente. Em geral, os sistemas de geração de energia para os sistemas isolados podem fornecer eletricidade a partir de recursos energéticos locais, tais como recursos hídricos, eólicos, de biomassas e recursos solares. Com a exceção de pequenas centrais hidrelétricas, nenhuma dessas tecnologias alternativas é amplamente utilizada na Amazônia brasileira.

O uso de óleos vegetais, seja em forma natural ou processado como biodiesel, também tem sido estudado e utilizado em projetos-piloto (GONZALES, 2008). Devido à rica biodiversidade da região, uma grande variedade de espécies nativas ainda necessita de estudos para uso energético. A gestão florestal com manejo sustentável oferece um enorme potencial de sinergia com o fornecimento de energia. Em termos de recursos hídricos, a bacia amazônica tem um grande potencial para a geração de eletricidade. Um potencial nominal de cerca de 1,7 GW foi quantificado para uso potencial em pequenas usinas hidrelétricas na bacia do Rio Amazonas (BLANCO; YVES; MESQUITA, 2008). Segundo ANNEL (2014), 15 pequenas centrais hidrelétricas estão em uso na região, com capacidade total instalada de apenas 12 MW. Isso ilustra a magnitude do potencial inexplorado.

Tecnologias testadas na Amazônia incluem a energia solar fotovoltaica, eólica em pequena escala, os híbridos solar-eólico-diesel, geradores diesel e biodiesel, usinas hidrelétricas e gaseificadores de biomassa. Ao mesmo tempo, a energia baseada em geração a biodiesel pode ser usada em motores estacionários e pode tornar-se significativo, tendo em conta os vastos recursos de biomassa disponível na região. A energia eólica oferece uma oportunidade de baixo custo, que às vezes é mais barato do que fotovoltaica, e pode ser uma alternativa atraente para os sistemas híbridos (eólico-diesel) em determinadas áreas da Amazônia que possua boa incidência de ventos, como a Ilha do Marajó (ROCHA; SILVA; PINHEIRO, 2000). Em relação à radiação solar, o potencial da região não é bem documentado devido à vastidão dos problemas da região e de acessibilidade. No entanto, há registros de uma radiação média de 5,5 kWh/m<sup>2</sup> com baixa variabilidade inter sazonal, o que torna a energia solar adequada para efeitos de aplicação de sistemas híbridos (DUARTE, 2010).

Outro potencial energético imenso que é pouco explorado na região é o aproveitamento da biomassa residuária para geração de energia através de microssistemas de gaseificação. A energia da biomassa mostra ser promissora, tanto pela disponibilidade de recursos naturais (caroços de açaí, restos de madeira, cascas de castanhas, etc.), quanto pela tecnologia social

empregada para aproveitamento energético dessa biomassa, com exemplos de uso de tecnologia de gaseificação (MUNIZ, 2013; NETO, 2006; MONTEIRO, 2008). Entre os benefícios sociais que são inseridos na comunidade isoladas com o uso da energia da biomassa, está o fato de que esse recurso energético natural promove o saneamento ambiental. Como exemplo tem a cadeia produtiva do açaí, onde os resíduos que são descartados em várzeas, aterrados embaixo das casas ou lançados no rio, fermentam e apodrecem, produzindo chorume que contribui na poluição do solo e da água, passam a ter um valor agregado que é o potencial energético dessa matéria prima. O açaí, base alimentar de diversas comunidades na Amazônia, passa a ser valorizado não apenas como alimento, mas também como produtor de energia elétrica para uso da comunidade através de sistemas de gaseificação de pequeno porte e baixo custo (MUNIZ, 2013).

Os programas de atendimento energético através de fontes renováveis de energia, em especial a energia da biomassa, apresentam-se como uma solução sustentável e adequada às baixas demandas das comunidades isoladas. A convergência desse projeto de eletrificação em conjunto com a criação de atividades de geração de renda, possibilita uma melhoria na qualidade de vida das populações tradicionais existentes na Amazônia.

Em contraste com a abordagem de extensão da rede convencional, as soluções para os sistemas isolados terão de considerar a ampla variedade de recursos disponíveis na Amazônia e as tecnologias renováveis em pequena escala como alternativas para aproveitar o potencial existente. Tecnologias renováveis e sistemas híbridos apresentam uma série de vantagens para a aplicação em áreas isoladas da região. Simplicidade, confiabilidade, flexibilidade, robustez, os benefícios ambientais e os custos operacionais e de manutenção baixos, são fatores importantes para a escolha da solução tecnológica adequada ou um conjunto de soluções tecnológicas a serem implementadas.

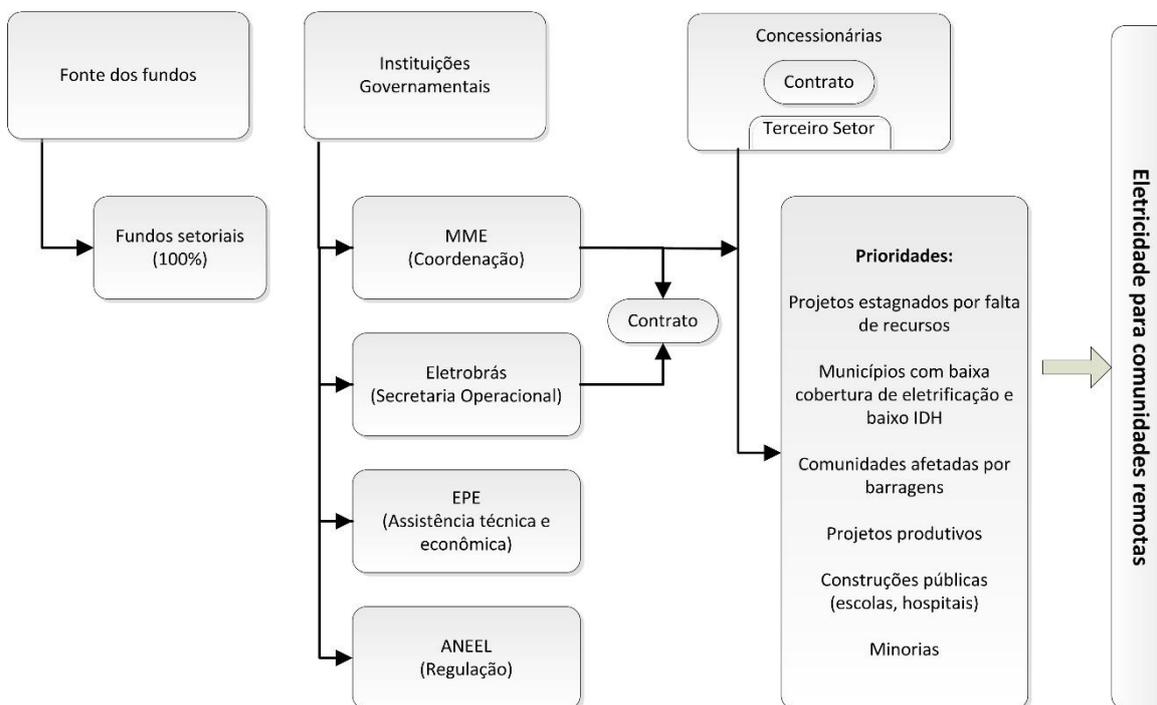
Assim, outro desafio que surge para o acesso universal da energia na Amazônia é necessidade de harmonização com o contexto regional, que é um ambiente vasto e único. Isso implica em considerar os recursos locais, incluindo a capacidade de avaliar, selecionar, executar e operar tecnologias alternativas de acordo com as realidades locais. O governo brasileiro reconheceu que as tecnologias renováveis podem fornecer um maior acesso a eletricidade em áreas isoladas da região e uma série de projetos-piloto têm sido desenvolvidos. Mas não são apenas as tecnologias baseadas em recursos locais que devem ser consideradas quando se trabalha no sentido do acesso universal à eletricidade na Amazônia. Fundos de financiamento

através da estrutura do LPT adaptado também são essenciais na busca de metas para eletrificação.

## 5.4 Desafios nas Estruturas de Financiamento

O novo conjunto de regras criadas pelo governo federal também modificou o modelo do LPT no que diz respeito aos subsídios de conexão e operação. Anteriormente, a chamada Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que depende de consumidores de eletricidade que contribuem via tarifária, fornecia 85% dos custos de capital necessários para a provisão de energia elétrica na forma de subsídio, sendo que as concessionárias arcavam com os 15% restantes para pagar os custos iniciais de sistemas isolados. Agora, subsídios de capital, cobrindo 100% do investimento inicial para a geração de energia, são oriundos de fundos setoriais (ver Figura 19). O subsídio de capital é coberto com recursos da CDE (MME, 2013).

Figura 19 - Fluxo de recursos através do LPT adaptado.



Fonte: Adaptado de Galindo (2014).

De acordo com o novo sistema, as concessionárias têm o direito de entregar a execução e operação de projetos para os sistemas isolados para novos agentes por meio de processos licitatórios desenvolvidos pela concessionária, sob a supervisão da ANEEL. A participação de novos agentes (terceiro setor) é formalizada através de um contrato com a concessionária. O contrato estipula o valor do investimento e do preço da eletricidade para um período de 10 a 20

anos dentro dos limites fixados pela Eletrobrás e EPE. Os projetos são contratados com base no menor valor presente líquido (VPL), considerando o investimento, os custos de operação e manutenção, substituição de equipamentos e custo do combustível. A melhor oferta, indicando o valor do investimento e a receita esperada de fornecimento de energia elétrica será selecionada. Note-se que a Eletrobrás e a EPE irão definir os limites máximos para investimentos de capital e custos de operação correspondente (MME, 2013). A concessionária transfere o subsídio para o novo agente e paga o custo de fornecimento de energia contratada. Desta forma, os novos fornecedores de energia elétrica são formalmente integrados nos sistemas de eletricidade para igualmente se beneficiar dos subsídios, que serão reservados previamente para as concessionárias (ANEEL, 2014; MME, 2013).

Do lado do consumo, é importante mencionar que o encargo das tarifas baixas para os consumidores de baixa renda tem também um forte impacto no caso de sistemas isolados. A diferença entre as tarifas baixas e altos custos de geração de energia que tem sido abrangido pelo subsídio cruzado, no caso dos sistemas ligados à rede, continua a valer para as populações dispersas e de baixa renda em áreas remotas, pois as concessionárias ainda são totalmente responsáveis pelo fornecimento de energia em suas áreas de concessão. Um esforço significativo do Governo Federal é, portanto, necessário para garantir os recursos financeiros essenciais. No entanto, é importante destacar que, no Brasil, o acesso à eletricidade é reconhecido como um motor para o desenvolvimento. O financiamento público é plenamente justificado com base na inclusão social, redução da pobreza e desenvolvimento humano. A questão no Brasil não é se os subsídios são necessários, mas como irão promover uma utilização mais eficaz dos fundos governamentais dentro do atual modelo de subsídio. Este é um dos principais desafios no âmbito das estruturas de financiamento.

## **5.5 Considerações Finais**

O presente capítulo mostrou que, a fim de alcançar populações dispersas em áreas remotas da Amazônia, onde a extensão da rede não é viável e sistemas isolados são necessários, o governo brasileiro adaptou o Programa Luz Para Todos através de uma série de novas regras. O novo conjunto de regras deverá promover soluções e integrar novos atores na estrutura de eletrificação rural para áreas remotas. O novo modelo mostra um reconhecimento governamental da necessidade de tecnologias alternativas para alcançar o acesso universal de energia elétrica e, principalmente, um importante compromisso que se materializa no apoio

financeiro através de capital, operação e subsídios ao consumo. No entanto, uma série de desafios permanece com relação ao acesso universal em áreas remotas.

Em termos da estrutura institucional, o novo modelo LPT abre uma janela de oportunidade para que novos atores participem da oferta de energia elétrica na região amazônica. No entanto, as organizações não governamentais da região não estão preparadas para a prestação de serviços de energia elétrica confiável em áreas remotas. Uma adaptação dessas instituições é necessária para planejar, implementar e operar soluções aos sistemas isolados. Em termos de tecnologia, as perguntas permanecem sobre a capacidade existente para harmonizar os recursos locais e fontes renováveis, desde a sua concepção à sua operação, de acordo com as realidades locais. Por fim, a redução dos custos operacionais é um desafio relevante para o sucesso de projetos para os sistemas isolados em áreas remotas da Amazônia, pois é uma forma de promover uma utilização mais eficaz de financiamentos do governo.

# Capítulo 6

## USINA DE GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA DE JENIPAÚBA, ABAETETUBA

---

### 6.1 Considerações Iniciais

Nessa parte do trabalho, é analisado um projeto de atendimento energético para uma agroindústria de despulpamento de açaí em uma comunidade quilombola, cujo arranjo produtivo é encontrado em diversas localidades pela Amazônia. Foi realizado um levantamento do potencial energético da comunidade, onde desse estudo resultou numa análise de custo de produção de energia para cada sistema de energia proposto, visando atender a agroindústria com fontes renováveis. Os resultados comparativos são mostrados ao longo desse trabalho.

O estudo de caso é referente ao aproveitamento energético de biomassa residuária na comunidade quilombola de Jenipaúba, município de Abaetetuba, Estado do Pará.

A escolha pela comunidade foi principalmente o fato de lá já existir um projeto de gaseificação de caroço de açaí, juntamente com uma agroindústria de despulpamento de açaí, iniciado no ano de 2004 e concluído em 2007. Porém, em 2007, o projeto foi descontinuado antes mesmo de entrar em operação de forma completa, devido às adversidades no cenário político da ocasião, ficando parado desde então, chegando aos dias de hoje em estado de abandono.

O projeto foi dividido em três partes: i) etapa inicial, entre 2004 a 2007, com o planejamento, construção e implantação do projeto na comunidade; ii) etapa intermediária, entre os anos de 2007 a 2012, em que o projeto foi descontinuado pela troca dos agentes políticos que governavam na época; iii) etapa atual, entre os anos de 2013 e 2014, onde verifica-se a situação de abandono no local do projeto em 2013 e tentativas de retomada do projeto com reuniões em órgãos governamentais ao longo do ano de 2014.

No estudo de caso é apresentado as características sociais e econômicas da comunidade, os aspectos técnicos e operacionais do gaseificador, implicações do uso de uma tecnologia social na comunidade e a situação atual do projeto.

## 6.2 Aspectos Sociais e Econômicos da Comunidade

O município de Abaetetuba (Figura 20) pertence à mesorregião Nordeste Paraense e à microrregião Cametá, sendo limitado ao Norte pelo rio Pará e pelo município de Barcarena; ao Sul, pelos municípios de Igarapé-Miri e Moju; a Leste, pelos municípios de Moju e Barcarena e a Oeste, pelo rio Pará e pelo município de Igarapé-Miri. Possui uma extensão territorial de 1.521,45 Km<sup>2</sup>, com 141 mil habitantes, sendo o sexto maior município do Pará em população. Sua principal atividade econômica é agrícola, com a exploração do açaí sendo de grande importância para as populações locais (MONTEIRO, 2008).

Figura 20 - Localização geográfica do Município de Abaetetuba.



Fonte: Muniz (2013).

A Comunidade de Jenipaúba está localizada em uma das 45 ilhas fluviais do município de Abaetetuba, situada a 15 minutos de barco da sede do município, navegando pelo Rio Abaeté. Possui coordenadas 1° 45' 00" e 1° 45' 36" latitude sul e 48° 53' 24" e 48° 54' 00" longitude oeste, na margem esquerda do Rio Jenipaúba (MONTEIRO, 2008).

Como atividades econômicas se destacam o cultivo do açaí, mandioca, macaxeira, milho, cupuaçu e outros frutos encontrados na mata que são vendidos principalmente na sede do município e em Belém. A atividade de pesca é importante nessa comunidade, uma vez que se apresenta como fonte de renda e uma alternativa de suprimento alimentar. A olaria também se apresenta como fonte de renda.

### 6.3 Diagnóstico Energético da Comunidade

Nessa parte do trabalho, apresentamos o diagnóstico energético da comunidade, com foco nas fontes renováveis (solar, eólica e biomassa). Para isso, utilizamos as seguintes fontes de dados:

- Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006);
- Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (DE SÁ; ZACK; AMAMRANTE, 2001);
- Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008);
- Projeto MEAPA (INESC, 1999; ROCHA; SILVA; PINHEIRO, 2000);
- Levantamento de Biomassa da Comunidade Quilombola de Jenipaúba (SEOP, 2007);

O levantamento do potencial solar, eólico e de biomassa foi feito com base no mapeamento realizado pelo Projeto MEAPA (Metodologias para o Mapeamento de Energias Alternativas no Estado do Pará). O projeto foi desenvolvido em 1999, numa parceria entre a UFPA e o Instituto de Engenharia e Sistemas de Computação de Portugal (INESC - Porto). O objetivo do MEAPA foi elaborar metodologias de apoio à integração de energias renováveis.

O Projeto MEAPA utilizou uma metodologia desenvolvida em 1996 através de cooperação de equipes de pesquisa de diversos países europeus, tais como: Portugal, França, Reino Unido, Espanha, Itália, Grécia e Irlanda (SOLARGIS, 1996). Foi testada em 6 regiões piloto pelo mundo (Cabo Verde, Andaluzia, Índia, Tunísia, Creta e Sicília), sendo que atualmente serve de base para vários países desenvolverem mapeamento energético, entre eles os Estados Unidos, Noruega, Suécia e Alemanha (INESC, 1999).

Utilizar os dados do Projeto MEAPA nesse trabalho foi possível devido à proximidade geográfica da região de estudo – no caso o município de Abaetetuba – com a Ilha do Marajó, onde os valores mapeados no projeto podem ser aplicados e analisados.

Para o diagnóstico da biomassa, utilizou-se o relatório sobre o potencial de biomassa da comunidade, que faz parte do projeto “Promoção de Estudos de Viabilidade para Projeto, Construção e Instalação de Sistemas de Gaseificação de Biomassa na Comunidade Quilombola de Jenipaúba em Abaetetuba” (SEOP, 2007).

A seguir é levantado o potencial solar, eólico e de biomassa da comunidade, obtendo os dados para posterior análise das vantagens, desvantagens e custos comparativos das tecnologias possíveis de aplicação na comunidade.

### 6.3.1 Potencial Solar

A comunidade possui ótimo potencial energético de aproveitamento solar e biomassa residual. Uma análise da Figura 21 mostra a radiação solar média anual (PEREIRA *et al.*, 2006), onde a irradiação anual na região fica entre 4900 a 5600 Wh/m<sup>2</sup> por dia, taxa essa bastante significativa.

Através do mapeamento elaborado pelo projeto MEAPA para a Ilha do Marajó (Figura 22), verifica-se que o município de Abaetetuba, área de interesse do projeto, também está contemplado. Nessa análise, a radiação global anual está na faixa de 4,5 a 5,0 kWh/m<sup>2</sup> por dia, valor esse que equivale ao observado anteriormente.

### 6.3.2 Potencial Eólico

Devido à baixa incidência de ventos na região de Abaetetuba, existe pouco potencial eólico aproveitável, obtendo a faixa de valores de 3,5 a 4,5 m/s para uma altura de 50 metros (DE SÁ; ZACK; AMAMRANTE, 2001), conforme evidenciado na Figura 23, e a velocidade média do vento entre 3,0 a 4,5 m/s para uma altura de 30 metros na comunidade, conforme observado na Figura 24 (INESC, 1999).

### 6.3.3 Potencial de Biomassa

Grande parte do território da região amazônica é composto por florestas. Para termos uma dimensão desse potencial energético, é apresentado a seguir quatro figuras retiradas do Atlas de Energia Elétrica Brasileiro (ANEEL, 2008), que ilustram esse potencial e mostram a importância estratégica do Estado do Pará na geração de energia através da biomassa residual. Identifica-se os seguintes valores de estimativa de potencial de biomassa para o Estado do Pará:

- Resíduos florestais: 6,80 a 18,13 MW (Figura 25);
- Óleo de palma (dendê): 157,29 MW (Figura 26);
- Casca de castanha de caju: 0,16 a 0,45 MW (Figura 27);
- Casca de coco-da-baía: 5,52 a 7,27 MW (Figura 28).

Os óleos vegetais são recursos energéticos possíveis de explorar na região, com um potencial muito grande de produção de energia para comunidades isoladas. Três espécies são destaque: o buriti (*Mauritia flexuosa* spp.), com uma produção anual em torno de 5 toneladas de óleo por hectare, com poder calorífico de 9.480 kcal/kg; o dendê (*Elaeis guineensis*), com

produção e poder calorífico equivalente ao buriti; o babaçu (*Orbignia spp.*), com produção anual entre 0,35 a 0,58 toneladas de óleo por hectare e poder calorífico de 9.016 kcal/kg (MONTEIRO, 2008).

A Figura 29 apresenta o mapeamento da quantidade total de biomassa da região, elaborado pelo Projeto MEAPA. Esse mapa serve para fins ilustrativos, mostrando o grande potencial de biomassa existente na Ilha do Marajó, e em particular na região de Abaetetuba.

O potencial de biomassa da comunidade foi calculado em termos do açaí, fonte abundante na região, responsável pela base alimentar da população local e uma excelente fonte de energia para aproveitamento nos gaseificadores. O Projeto da Usina de Gaseificação de Jenipaúba foi concebido para operar com o caroço do açaí como matéria prima.

Uma metodologia foi desenvolvida e aplicada por (SEOP, 2007) para o levantamento do potencial do açaí, apresentando os seguintes resultados:

- Quantidade de biomassa de cachos e caroços de açaí na comunidade: 1704 kg/dia;
- Poder calorífico do cacho do açaí: 3224 kcal/kg;
- Poder calorífico do caroço do açaí: 3182 kcal/kg;
- Poder calorífico da folha (bainha): 3035 kcal/kg;

A potencialidade da biomassa foi estimada para os caroços e cachos de açaí por serem materiais que podem ser facilmente coletados e disponibilizados pela comunidade. A Tabela 8 mostra a estimativa da biomassa de caroços e cachos que podem ser aproveitados para geração de energia elétrica.

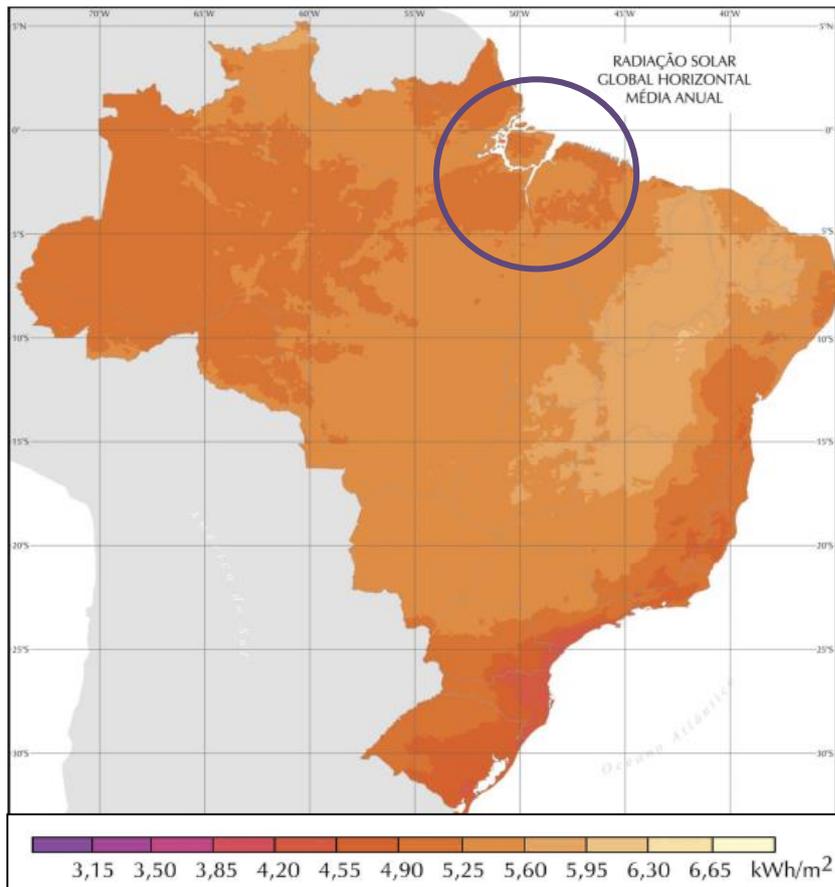
Tabela 8 - Potencial de biomassa na comunidade de Jenipaúba.

	<b>Consumo médio de açaí</b> (Rasa <sup>††</sup> /dia/família)	Biomassa de caroços (kg/dia)	Biomassa de cachos (kg/dia)	<b>Total de biomassa disponível</b> (kg/dia)
Comunidade Jenipaúba	1	1320	384	1704

Fonte: Muniz (2013); SEOP (2007).

<sup>††</sup> Rasa: medida bastante utilizada para designar o consumo de açaí, onde 1 rasa de açaí equivale a 14 kg do fruto colhido, sem despolar.

Figura 21 - Radiação solar anual média.



Fonte: Adaptado de Pereira *et al.* (2006).

Figura 22 - Radiação solar global anual.



Fonte: INESC (1999).

Figura 23 - Potencial eólico anual.



Fonte: Adaptado de De Sá *et al.* (2001).

Figura 24 - Velocidade média anual dos ventos.



Fonte: INESC (1999).

Figura 25 - Potencial de resíduos florestais.

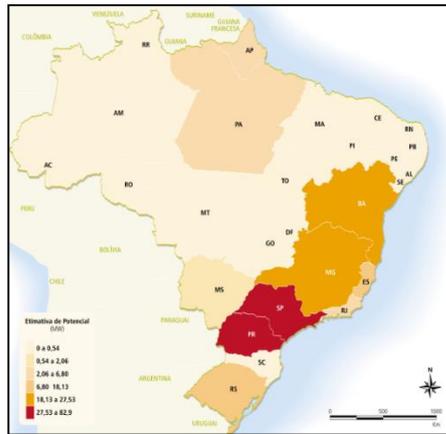


Figura 27 - Potencial de óleo de palma (dendê).

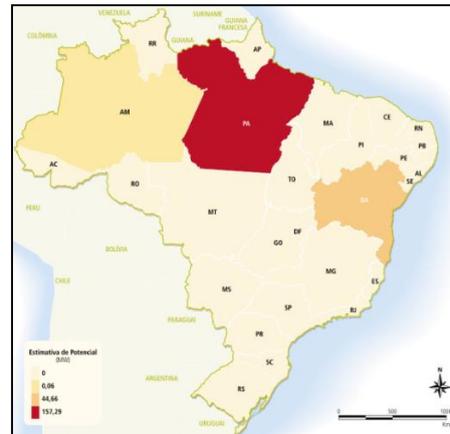


Figura 26 - Potencial de castanha de caju.

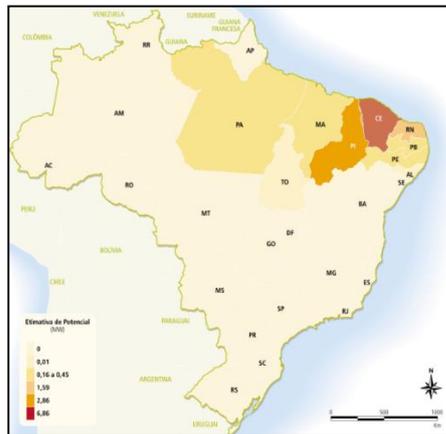
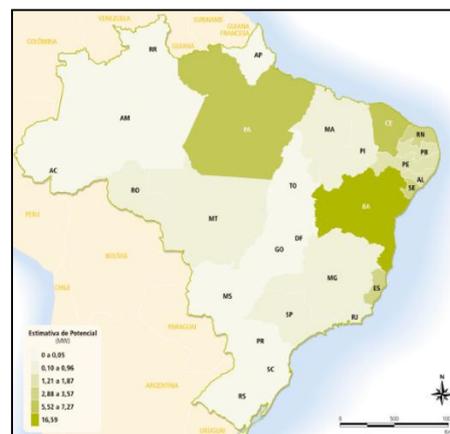
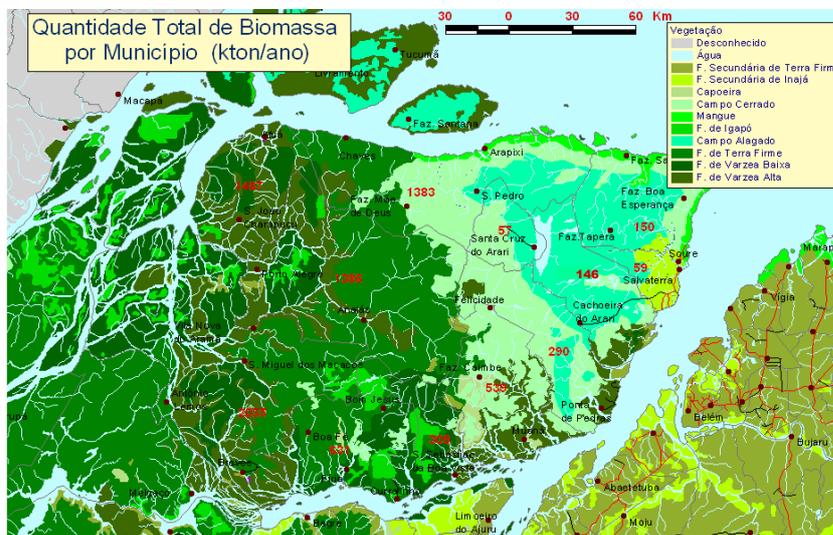


Figura 28 - Potencial de casca do coco.



Fonte Figuras 25 a 28: ANEEL (2008).

Figura 29 - Quantidade total de biomassa por município.



Fonte: INESC (1999).

## 6.4 Usina de Gaseificação de Jenipaúba: Aspectos Técnicos e Operacionais

A comunidade quilombola de Jenipaúba foi escolhida como alvo desse trabalho por se tratar de uma comunidade bem estruturada, de fácil acesso e por ter um projeto de eletrificação a partir de fontes renováveis de energia juntamente ao governo do Estado do Pará.

Em setembro de 2005 foi celebrado convênio envolvendo a Universidade Federal do Pará e o Governo do Estado do Pará através da Secretaria de Estado de Obras Públicas (SEOP) e do Programa Raízes, com o objetivo de implantar um projeto piloto para atendimento elétrico em localidades isoladas a partir do uso da biomassa, denominado “Desenvolvimento de Tecnologias de Produção de Energia Elétrica e Implantação de Unidades Piloto Mediante o Uso de Biomassa para Atendimento da Comunidade Isolada de Jenipaúba”.

Após uma troca de gestores políticos na transição do ano de 2006 para 2007, o projeto foi descontinuado pelo governo seguinte. Por existir um alinhamento político entre o governo federal, estadual e municipal, no ano de 2007 a comunidade foi contemplada com a travessia de uma linha de alta tensão oriunda de Abaetetuba, vinculada ao Programa Luz Para Todos, fazendo com que o projeto fosse abandonado.

Abaixo uma descrição das especificações técnicas da usina de Jenipaúba, que foi instalada na primeira etapa do projeto, a agroindústria de açaí e o desenvolvimento do projeto.

### 6.4.1 Sistema de Gaseificação

O gaseificador é um reator do tipo leito fixo e co-corrente, fabricado pelo *Indian Institute of Science* (IISc), de Bangalore, Índia, com capacidade de geração de 20 kWh de eletricidade. Possui potência saída de 20 kW, com consumo de biomassa de 1 kg por kWh. Isso significa que serão consumidos entre 18 a 22 kg de biomassa seca por hora de funcionamento do gaseificador, com umidade menor que 15% (MUKUNDA; DASAPPA; SHRINIVASA, 1993; MONTEIRO, 2008).

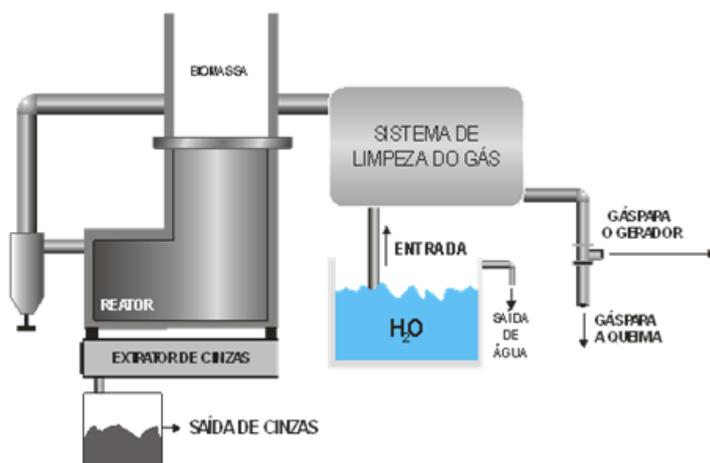
No projeto arquitetônico (Figura 30), a casa de força foi feita prevendo espaço para mais três unidades geradoras, acompanhando os futuros aumentos da carga atendida. Na Figura 31, podemos verificar a configuração do sistema de gaseificação de Jenipaúba. As fotografias utilizadas no trabalho foram obtidas pelo autor em 2006, na ocasião da primeira visita realizada à comunidade.

Figura 30 - Projeto arquitetônico do prédio da usina de Jenipaúba.



Fonte: SEOP (2007).

Figura 31 - Configuração do gaseificador de Jenipaúba.



Fonte: SEOP (2007).

Figura 32 - Prédio do gaseificador.



Fonte: Muniz (2013).

A geração elétrica compreende uma unidade geradora de 25 kW, com um motor diesel de 49 HP (1.800 rpm), da empresa indiana Kirloskar e um gerador elétrico de 32,5 kVA, 220V, da empresa indiana Elgi Electric (SEOP, 2007).

O gerador utilizado (Figuras 35 e 36) é síncrono, trifásico com neutro acessível, com sistema de excitação BRUSHLESS (sem escovas), preenchendo requisitos da ABNT, com as seguintes características:

- Potência aparente nominal = 32.5kVA; Fator de Potência = 0,8
- Frequência = 60 Hz; Tensão Nominal = 127/220 V
- Proteção = em local abrigado

Todo o sistema gaseificador/grupo gerador está instalado em infraestrutura naturalmente ventilado, de modo que eventuais vazamentos de gás não ocasionem acumulação e consequentes riscos de incêndio ou riscos à saúde do operador. A partir do gaseificador o gás alimenta o motor diesel do grupo gerador através da sua entrada de ar.

No grupo gerador, a substituição do óleo diesel pode chegar a 85%, tendo em média 70% de substituição pelo gás de síntese (SRIDHAR *et al.*, 2005).

#### **6.4.2 Limpeza e Filtragem do Gás de Síntese**

Antes de entrar no motor, o gás é resfriado e lavado através de contato com água circulante, bombeada a partir de tanques conjugados de separação ou decantação, com volume total de 3 m<sup>3</sup>. Estes tanques são constituídos por caixas d'água convencionais de fibra de vidro, não enterradas, de 1000 litros cada. A etapa de lavagem/resfriamento remove impurezas do gás que prejudicariam o funcionamento do motor, tais como cinzas e alcatrão, sendo este último removido pela ação da condensação devido ao resfriamento (Figuras 37 e 38).

No circuito de água entre o lavador/resfriador do gaseificador e os tanques de separação/decantação, deve ser instalado um filtro de carvão para remoção do alcatrão. O filtro contendo alcatrão é renovado periodicamente, sendo queimado no próprio gaseificador. Desta forma, o alcatrão é decomposto em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, os quais podem ser liberados sem problemas para o meio ambiente. O filtro de carvão é necessário pois, após o período médio de um mês, a água circulante se torna demasiadamente saturada de alcatrão, prejudicando a limpeza dos gases e consequentemente o funcionamento do motor. Esta água não pode ser diretamente descartada para o solo ou para o rio, devido à sua relativa toxidez pelo acúmulo de alcatrão. Portanto, o filtro descrito acima fornece uma solução para o descarte de alcatrão sem prejuízo ao meio ambiente (SEOP, 2007).

Figura 33 - Detalhe do reator.



Figura 34 - Vista superior do gaseificador.



Figura 35 - Grupo gerador.



Figura 36 - Detalhe do grupo gerador.



Figura 37 - Detalhe do sistema de resfriamento.



Figura 38 - Detalhe do primeiro estágio da filtragem do gás de síntese.



Fonte Figuras 33 a 38: Muniz (2013).

### 6.4.3 Rede de Distribuição de Energia

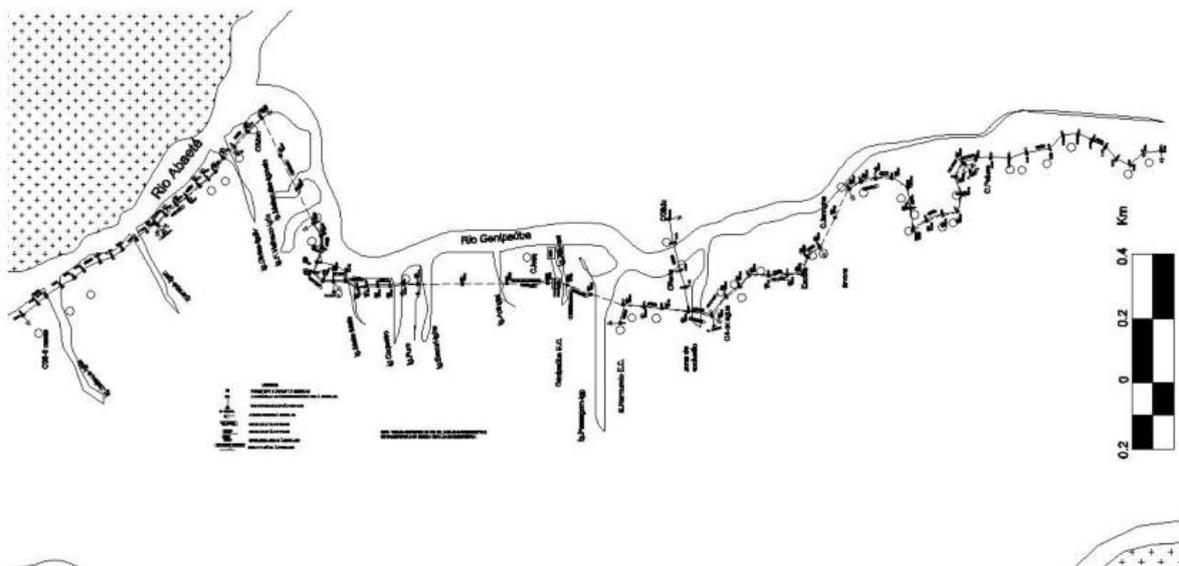
O Projeto Usina de Gaseificação Jenipaúba foi concebido inicialmente para abastecer com energia elétrica uma agroindústria de despolpamento e beneficiamento de açaí, e o excedente da energia ser fornecido para a comunidade, algo em torno de 50 casas.

Para isso, foi planejada a construção de uma rede de distribuição de energia para as residências, onde foram consideradas cargas de 0,3 kVA/consumidor, com queda de tensão máxima de 5%. Os transformadores foram dimensionados para 10 anos de operação, tendo a comunidade uma taxa de crescimento estimada em 2% ao ano (MONTEIRO, 2008).

A rede de distribuição foi pensada para ser parte de uma iniciativa incomum entre projetos de redes de energia elétrica, pois a comunidade fica situada numa ilha, região de várzea com cheias periódicas, dificultando a instalação de postes comuns. Foi então indicado pelo projeto postes de madeira de lei (Acariquera ou Acapu), que são madeiras da região, mais adaptadas e resistentes. Os postes possuem comprimento de 10 metros na rede de alta tensão, e 9 metros na rede de baixa tensão (MONTEIRO, 2008).

Na imagem abaixo (Figura 39), verificamos o caminhamento dos postes a partir do projeto da rede de distribuição elétrica, ao longo da margem do Rio Jenipaúba.

Figura 39 - Recorte do projeto da rede de distribuição.



Fonte: Monteiro (2008).

## 6.5 A Agroindústria de Açaí

A característica inovadora do projeto foi fazer a associação da usina de gaseificação com uma agroindústria de produção de polpa de açaí, possibilitando à comunidade uma melhoria na qualidade do produto base com aproveitamento dos resíduos de forma sustentável.

Foi previsto o funcionamento da agroindústria com uma parte da energia produzida pelo gaseificador, que será abastecido com o caroço oriundo da agroindústria, fechando assim um ciclo de produção e consumo de biomassa. A energia excedente desse processo serve para abastecer 35 casas da comunidade e sua iluminação pública, respeitando um uso coletivo da energia elétrica produzida. A agroindústria (Figura 40) inclui descaroador, despoldador, pasteurizador, câmara fria para congelar a polpa, autoclave e ensacadoras para melhor o processo da cadeia produtiva do açaí, base alimentar e econômica da comunidade.

Figura 40 - Agroindústria de açaí e prédio da usina de gaseificação.



Fonte: Muniz (2013).

## 6.6 Dimensionamento dos Sistemas de Energia

Com o objetivo de oferecer fornecimento de energia elétrica para alimentar a agroindústria de açaí da comunidade de Jenipauába, cuja carga é avaliada em 20 kW de potência instalada, foram dimensionados sistemas de geração de energia e comparados entre si. Os sistemas estudados foram: sistema fotovoltaico, sistema eólico, sistema biomassa e sistema

diesel. A metodologia utilizada foi com base no dimensionamento da potência do sistema em função do cenário do consumo considerado e dos recursos energéticos disponíveis no local. Em seguida, foi estimado os custos de investimento, combustível, operação e manutenção.

Os recursos energéticos levantados mostraram as seguintes características expressas na Tabela 9 abaixo:

Tabela 9 - Recursos energéticos estimados da comunidade.

Recurso Energético	Solar (Irradiação)	Eólico (Velocidade de vento)	Biomassa (Caroços e cachos de açaí)
Potencial	4,5 a 5,0 kWh/m <sup>2</sup>	3,0 a 4,5 m/s	1704 kg/dia

Fonte: Muniz (2013).

### 6.6.1 Sistema Fotovoltaico

Admitindo uma eficiência de 8% para um sistema fotovoltaico (painéis e baterias), com o índice de irradiação solar levantado, para um metro quadrado de painéis fotovoltaicos temos o potencial de fornecer 0,45 a 0,50 kWh por dia (NETO, 2006).

Portanto, para alimentar a agroindústria com o sistema fotovoltaico, supondo uma carga de 20 kW, precisaríamos de 40 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos. Ou, de outra maneira, supondo que iremos dimensionar o sistema com painel fotovoltaico de 250 Wp de potência, disponível de forma comercial, precisaríamos de 80 painéis para suprir a demanda necessária de 20 kW, caso o sistema operasse em regime de 08 horas diárias de sol. Como temos em média apenas 4 horas de irradiação solar aproveitável disponível, precisamos então de 160 painéis para suprir a demanda de 20 kW.

### 6.6.2 Sistema Eólico

Com um aerogerador de eficiência de 70%, nas condições de vento levantada, temos uma potência de saída de 23 a 42 W/m<sup>2</sup>. Se admitirmos uma área de varredura de 20 m<sup>2</sup> para esse aerogerador, a potência total fornecida seria de 460 a 840 W. Com isso, precisaríamos de 24 a 43 aerogeradores para atender uma demanda de 20 kW (MONTEIRO, 2008).

Para o dimensionamento proposto, essa opção tecnológica se mostra inviável, pois a comunidade fica localizada numa ilha, possuindo uma vegetação de várzea com cheias periódicas e solo frágil, fato esse que dificultaria e encareceria a construção da base da estrutura necessária para o parque eólico na região. Além do fato da região possuir baixa incidência de

ventos para o aproveitamento dessa fonte, como levantado pelo diagnóstico energético realizado.

### 6.6.3 Sistema Biomassa

Segundo Rocha *et al.* (2000), para operarmos um gaseificador de potência de saída de 20 kW em regime diário de operação contínua (24 horas/dia), é necessário em média 480 kg/dia de caroço (consumo de 1 kg/kWh, totalizando 20 kg/hora de biomassa para 20 kW). No levantamento de biomassa realizado, obtemos uma quantidade diária de 1704 kg/dia, o que mostra ser viável esse resíduo local para fins energéticos.

Com esse resultado, é demonstrado que o potencial de biomassa para geração de 20 kWh de energia elétrica programada para a agroindústria de açaí, fica garantido com a produção de cachos e caroços de açaí da própria comunidade. No período da entressafra do açaí, entre os meses de chuva, a comunidade poderá utilizar outras biomassas residuária para suprir a baixa produtividade do açaí, assim como estocar o caroço de açaí seco para posterior uso. Casca de cacau (também produzido na região), resíduos da cultura da mandioca, restos madeireiros florestais e casca do cupuaçu, são alguns exemplos de matéria prima que podem substituir o caroço do açaí no período da entressafra.

## 6.7 Situação Atual do Projeto

Até meados de 2007, a energia elétrica na comunidade era fornecida por três grupos geradores a diesel, por um pequeno sistema fotovoltaico autônomo (apenas na escola) e baterias automotivas, recarregadas periodicamente na cidade de Abaetetuba.

A partir de 2007, a comunidade passou a ser servida com energia elétrica vinda do Programa Luz Para Todos, do Governo Federal. Com isso, o projeto Jenipauába não foi finalizado e atualmente encontra-se em situação de abandono. A agroindústria edificada para funcionar em conjunto com a usina de energia também não está em funcionamento.

O principal fator dessa situação de abandono ultrapassa a competência técnica da equipe, sendo fundamentalmente de ordem política. A fase de finalização do projeto coincidiu com a troca de atores políticos, nas esferas estadual e federal. As visões e metas estabelecidas no governo anterior não coincidiram na área de desenvolvimento sustentável, com o governo posterior, e o projeto de eletrificação da comunidade de Jenipauába entrou em conflito de interesses políticos.

Várias reuniões com organismos responsáveis pelo projeto foram realizadas ao longo dos anos 2007, 2008 e 2009, mas, infelizmente, não foi conseguido sensibilizar os gestores públicos. O projeto foi levado ao Centro Integrado de Governo (CIG) e exposto através de apresentações e visitas técnicas aos responsáveis por secretarias de obras, de agricultura, programas sociais, entre outros, não tendo sucesso de convencimento da importância estratégica para o desenvolvimento regional, realizar investimento em aproveitamento energético de biomassa residuária nos sistemas isolados.

No desenvolvimento desse primeiro estudo de caso, foi mostrado o potencial energético renovável da comunidade, na tentativa de reativar o projeto inicial, resgatando a autoestima da comunidade e mostrando a viabilidade de empreendimentos sustentáveis para as comunidades isoladas na Amazônia. Para fins de comparação entre as diversas soluções tecnológicas disponíveis para atendimento energético da agroindústria, foi feito um dimensionamento de sistemas com base no potencial energético levantado. A análise financeira e socioeconômica dos resultados é apresentada no Capítulo 8 do presente trabalho.

O uso da biomassa residuária oriunda do caroço de açaí, fonte abundante e essencial para a comunidade, originou um projeto de energia renovável com base em uma tecnologia social largamente difundida em outras regiões no mundo, como é o caso da Índia, que foi transferida para o Brasil com a finalidade de difundir a tecnologia dos gaseificadores em nosso país. Após quase uma década, o projeto encontra-se em situação de abandono devido às questões políticas locais, que descontinuaram um arranjo produtivo local que se mostrou viável e sustentável do ponto de vista ambiental, social e econômico.

# Capítulo 7

## USINA DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE SÃO SEBASTIÃO DA BOA VISTA, MARAJÓ

---

### 7.1 Considerações Iniciais

Nesse segundo caso estudado, é proposto uma solução sustentável para tratamento de resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético dos resíduos, aplicado a um município da Ilha do Marajó, localidade esta que pertence aos sistemas isolados. O município em questão tem uma dependência muito forte dos combustíveis fósseis, gerando diversos problemas sociais, ambientais e de saúde na população, devido à geração elétrica municipal ser de base diesel, com custos elevados para eletrificar o município. Aliado a esse fato, temos a problemática da má gestão dos resíduos municipais, que são dispostos de forma incorreta formando um lixão a céu aberto, causando impactos nos recursos hídricos do município. O estudo propõe uma tecnologia que utiliza os resíduos urbanos para geração de energia, contribuindo para reduzir a dependência fóssil do município e realizar a correta gestão integrada de seus resíduos urbanos.

Visando atender a Lei Federal nº 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2010), a Prefeitura Municipal de São Sebastião da Boa Vista elaborou seu Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), tendo protocolado o mesmo no Ministério do Meio Ambiente em 01 de agosto de 2012 (PGIRS-SSBV, 2012).

O PGIRS se soma a outras políticas desenvolvidas pelo município para atendimento das modalidades de saneamento, a saber: a articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental de

promoção da saúde e outras de relevante interesse social, voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante.

O Município de São Sebastião da Boa Vista também possui a característica de pertencer aos chamados sistemas isolados. Somando-se a esse fato, temos a questão dos resíduos sólidos urbanos, que no caso dos sistemas isolados, torna-se um atrativo para utilização de tecnologias para tratamento dos resíduos com a geração de energia elétrica, contribuindo com o saneamento básico e possibilitando aproveitar a energia produzida para substituir de forma parcial ou total o consumo dos combustíveis fósseis, migrando da dependência fóssil para a interdependência resíduária.

Esse estudo de caso apresenta o Projeto Básico de Engenharia intitulado Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos de São Sebastião da Boa Vista (UAER-SSBV), mostrando seus objetivos, justificativas, características técnicas e implicações socioambientais do uso de resíduos sólidos urbanos para a geração de eletricidade em municípios pertencentes aos sistemas isolados (UAER-SSBV, 2013).

## **7.2 Aspectos Sociais e Econômicos do Município**

O Município de São Sebastião da Boa Vista pertence à mesorregião Marajó e à microrregião Furos de Breves. A sede municipal tem fronteiras ao norte com o Município de Anajás, a Leste com Muaná, ao sul o Município de Limoeiro do Ajurú e a oeste os municípios de Breves e Curralinho. A Figura 41 ilustra melhor sua localização. De acordo com o censo demográfico de 2010, possui uma população de 22.904 habitantes. Desse total, 11.833 são homens e 11.071 são mulheres (IBGE, 2011).

São Sebastião da Boa Vista é uma cidade dedicada ao comércio, onde é possível verificar uma grande quantidade de barcos atracando ao porto, principalmente nos finais de semana. Uma série de produtos é desembarcada, desde os industrializados, como material de construção, geralmente vindos de Belém e Macapá, e alimentos, principalmente peixes e frutos, como o açaí.

A pesca artesanal apresenta grande importância para a subsistência do município e de boa parte da população. A pesca do camarão ocupa posição expressiva na comunidade. Dentre as atividades econômicas regionais, as atividades extrativistas são as que apresentam maior importância, principalmente o açaí e o palmito, pois são elas que garantem emprego e renda para a maior parte da população.

Figura 41 - Mapa do Arquipélago do Marajó.



Fonte: PGIRS-SSBV (2012).

A exploração madeireira ocorre há muito tempo no arquipélago do Marajó. Geralmente as áreas onde se encontra uma maior quantidade de espécies valiosas para o mercado estão muito distantes das margens dos rios, o que dificulta sobremaneira o seu acesso e o transporte das toras. A fim de minimizar estes problemas, os ribeirinhos realizam a extração no período chuvoso, quando os rios e igarapés estão cheios, o que lhes facilita o transporte.

O município conta com uma estrutura educacional que reúne a instalação do polo universitário, abrigando a Universidade Estadual do Pará (UEPA), o Instituto Federal do Pará (IFPA) e a Universidade Aberta do Brasil (UAB). Esse polo educacional já conta com os cursos de Geografia, Biologia, Pedagogia e Matemática.

Em relação ao sistema de saúde, o município possui Hospital Municipal climatizado, com 30 leitos, que conta com profissionais de saúde como cirurgião, ginecologista, um centro de fisioterapia, além de exames laboratoriais e de serviços de raios-X. Possui também posto de saúde que se constitui como referência no atendimento das famílias de baixa renda e um CRAS – Centro de Referência de Assistência Social (PGIRS-SSBV, 2012).

### 7.3 Objetivos e Motivação do Projeto UAER-SSBV

A Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos tem como principal objetivo realizar o tratamento dos resíduos sólidos municipais e fornecer energia elétrica ao município,

contribuindo com o saneamento básico e ambiental, através da melhoria da saúde pública e qualidade de vida da população.

Através desta solução será possível simplificar a gestão dos resíduos e deste modo reduzir os custos associados, assim como suprir parte da energia elétrica necessária no local, reduzindo o consumo e a dependência de combustíveis fósseis na localidade. A tecnologia proposta para usina é de Pirólise Lenta a Tambor Rotativo, que utiliza processo termoquímico para transformar os resíduos em um gás combustível, chamado gás de síntese, que por sua vez é utilizado como combustível em grupos geradores a gás para gerar energia elétrica limpa e renovável (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013; COSENZA *et al.*, 2014).

O fato de o município pertencer aos sistemas isolados é colocado como desvantagem, pois a geração de energia atual é oriunda de combustível fóssil (diesel), sendo uma energia dispendiosa e de qualidade inferior ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Porém, essa é uma característica motivacional para elaboração do projeto proposto, propiciando uma solução descentralizada na geração de energia com base nos resíduos sólidos urbanos, fonte renovável e não poluidora, além de contribuir na mitigação dos problemas relacionados aos impactos da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na saúde e qualidade de vida da população.

## 7.4 Características Gerais do Empreendimento

No Brasil, a tecnologia de pirólise foi analisada por grupos de pesquisa da Universidade Federal Fluminense (UFF) e da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), onde foi escolhida como a melhor alternativa tecnológica para tratar resíduos sólidos com as características específicas do resíduo brasileiro de alta umidade, heterogeneidade e baixo poder calorífico (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013; COSENZA *et al.*, 2014).

Para o caso específico de São Sebastião da Boa Vista, os estudos prévios conduzidos apontam as seguintes vantagens para a implantação do projeto (UAER-SSBV, 2013):

- Usina com capacidade de tratamento de 10 toneladas de resíduos por dia, volume gerado no município, que serão convertidos em 200 kWe de capacidade elétrica para uso local;
- Geração de fonte renovável, previsível e constante (geração de base, 90% de disponibilidade), que não causa complicações na gestão do sistema elétrico isolado;
- Eliminação de problemas com odores e vetores de doença;
- Simplificação do sistema de destinação final dos resíduos sólidos urbanos;

- Tratamento de resíduos indiferenciados, simplificando e flexibilizando a gestão dos resíduos sólidos urbanos do Município (não há necessidade de pré-tratamento dos resíduos);
- Emissões mais limpas que as obtidas com diesel (redução de emissões poluentes);
- Tratamento de vários tipos de resíduos, inclusive resíduos de poda, caroço de açaí, casca de palmito, lodo de ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), borra de tanques de combustível, restos de abate de animais, etc.;
- Tratamento de resíduos infectantes, em especial lixo hospitalar;
- Alto índice de automação, com pequeno uso de mão de obra e supervisão remota;
- Redução de 90% do volume dos resíduos;
- Produção de biocarvão (biochar ou terra preta) como subproduto (resíduo do processo), passível de ser utilizado como fertilizante, em especial quando resíduos orgânicos são processados separadamente (REZENDE *et al.*, 2011);
- Baixa necessidade de espaço físico, fácil deslocamento, disponível em 2 containers de 40 pés mais acessórios externos e grupo gerador a gás;
- Devido ao montante de resíduos disponíveis, a produção de energia elétrica a partir desta fonte é equivalente a cerca de 18% do consumo do município, podendo ser integrada com outras fontes renováveis como a energia solar e a eólica;

## 7.5 Cenário Atual de Geração de Energia e Perspectivas Futuras

Belém e a maior parte do interior do Pará estão integradas ao Sistema Interligado Brasileiro. Nos demais municípios do interior do Estado e na Ilha do Marajó, o fornecimento de energia elétrica é feito por meio de Sistemas Isolados, com predomínio de geração a base de diesel.

A Centrais Elétricas do Pará (CELPA) é a concessionária responsável pela geração e distribuição de energia no interior do Estado do Pará e nos 33 Sistemas Isolados existentes no Estado, sendo que em 22 deles, a operação e manutenção é realizada pela empresa GUASCOR, como é o caso de São Sebastião da Boa Vista.

Segundo Eletrobrás (2014), o atual parque de geração em São Sebastião da Boa Vista é descrito como abaixo:

- São 6 grupos óleo diesel, com **capacidade nominal total igual a 2.566 kWe** (2.140 kWe efetivos), sendo dois de 336 kWe (285,6 kWe efetivos), um de 350 kWe (297,5 kWe efetivos), um de 347 kWe (280 kWe efetivos), um de 360kWe (280 kWe efetivos) e o mais recente de 837,6 kWe (712 kWe efetivos);
- A **demanda média para 2015 é estimada em 1,5 MW** com máxima prevista de 2,158 MW, sobre responsabilidade da empresa GUASCOR;
- O **consumo de energia anual** previsto para 2015 é de **13.112 MWh**;
- O **consumo de diesel estimado** para 2015 é de **3.789.000 litros/ano**;

A UAER-SSBV tem como objetivo dar solução à problemática de destinação dos resíduos gerados no município e concomitantemente adicionar potência elétrica à matriz energética local, para atender parte da demanda de energia, com um custo inferior ao atualmente gasto para geração de energia elétrica. Também irá permitir a desativação do lixão do município, respeitando o atendimento ao principal objetivo da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a eliminação dos lixões dos municípios brasileiros (MMA, 2010).

## 7.6 Diagnóstico dos Resíduos Municipais

Através da elaboração do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, foi realizado um diagnóstico dos resíduos através do levantamento do chamado Peso Específico Médio do Lixo (PEML) e da composição gravimétrica do mesmo. Esses parâmetros são necessários para o cálculo do dimensionamento do sistema proposto.

O PEML é definido como o peso do lixo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em  $\text{kg/m}^3$ . Segundo (PGIRS-SSBV, 2012), o PEML encontrado para os resíduos municipais foi de  $250 \text{ kg/m}^3$  para o lixo domiciliar e  $270 \text{ kg/m}^3$  para os resíduos de saúde.

A composição gravimétrica fornece os percentuais em peso dos diferentes componentes dos resíduos sólidos em uma determinada amostra (papel, papelão, plásticos, matéria orgânica, metais entre outros). Segundo o PGIRS, na gravimetria realizada, a composição do material reciclado foi de 42,32%, o material orgânico 46,57% e rejeitos compreendem 11,10%, para um peso da amostra igual a 32,23 Kg (PGIRS-SSBV, 2012).

Abaixo segue as tabelas com a composição gravimétrica dos resíduos municipais:

Tabela 10 - Composição gravimétrica do material reciclado e dos rejeitos.

<b>Material Orgânico</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Rejeitos</b>	<b>Quantidade</b>
Osso	1,355 Kg	Lixo tecnológico	0,465 g
Madeira	6,050 Kg	Fraldas descartáveis	1,125 Kg
Paneiro de açaí	1,400 Kg	Trapos	0,565 g
Caroço de Açaí	4,120 Kg	Isopor	0,175 g
Folhagem	2,085 Kg	Pneu	1,250 Kg
<b>Total Orgânico [1]</b>	<b>15,01 Kg (46,57%)</b>	<b>Total Rejeitos [2]</b>	<b>3,58 Kg (11,10%)</b>

Fonte: PGIRS-SSBV (2012).

Tabela 11 - Composição gravimétrica do material reciclado.

<b>Material Reciclado</b>	<b>Quantidade</b>
PAD (polietileno)	0,845Kg
PP	0,325 Kg
PP Duro	1,955 Kg
PP Colorido	0,280 Kg
PP Transparente	0,185 Kg
Caixa PP	2,210 Kg
Filme Transparente	0,400 Kg
Tetra Pak	0,060 Kg
Ferro	2,670 Kg
Alumínio	0,060 Kg
Papelão	2,770 Kg
PET	0,845 Kg
Vidro	1,035 Kg
<b>Total Reciclado [3]</b>	<b>13,64 Kg (42,32%)</b>
<b>Total Composição [1]+[2]+[3]</b>	<b>32,23 Kg (100%)</b>

Fonte: PGIRS-SSBV (2012).

No estudo de mercado de materiais recicláveis realizado, identificou-se que não existem catadores de materiais e nem compradores de recicláveis, devido à própria realidade do município, que dificulta a coleta seletiva principalmente nas comunidades e vilas periféricas, onde se localizam metade da população local.

Aliado ao alto custo do transporte dos recicláveis segregados para fora do município, temos a inexistência de mercado de materiais recicláveis na região do Marajó, inviabilizando a coleta seletiva e a separação, pois o município se localiza numa região de ilhas distante cerca de 12 horas de barco da capital Belém. A solução encontrada diante desse problema foi utilizar os materiais reciclados para geração de energia na própria UAER-SSBV, agregando valor energético aos recicláveis.

## 7.7 A Escolha da Tecnologia

No processo de elaboração do plano de resíduos, constituiu-se o Comitê Gestor para Elaboração do PGIRS, formado por uma equipe técnica indicada pelas secretarias de meio ambiente, educação e saúde, assim como membros representantes da sociedade civil. Diversas reuniões aconteceram, onde foram apresentadas planilhas com as vantagens e desvantagens de cada tecnologia de tratamento de resíduos sólidos existentes, procurando sempre adaptá-las às reais condições do município, como água superficial, pouca disponibilidade de áreas de terra firme, sazonalidade do período de chuvas, dificuldade na logística de transporte e disposição final do lixo, entre outras (PGIRS-SSBV, 2012).

A tecnologia de aterro sanitário mostrou-se inviável para a realidade do município, assim como para as demais regiões do Marajó. Um fator fundamental para a não viabilidade de aterros são as águas superficiais e áreas de alagamento sazonais, além da falta de área de terra firme para implantação de aterro sanitário.

Devido a essas dificuldades, entre as diversas tecnologias analisadas, o Comitê Gestor para Elaboração do PGIRS optou, por unanimidade, pela tecnologia de pirólise. Os objetivos principais dessa escolha seguiram critérios definidos pelo Comitê Gestor, conforme mostrados abaixo:

- Disposição adequada dos resíduos sólidos, com respeito às características naturais e sociais do município, a fim de promover saneamento ambiental e qualidade de vida para população local;
- Redução dos impactos ambientais gerados pela gestão dos resíduos sólidos em comparação com as outras tecnologias estudadas e avaliadas;
- Propiciar ganhos econômicos e sociais ao agregar valor ao processo de gestão dos resíduos, com a perspectiva de redução da dependência local aos combustíveis fósseis, através da geração de energia elétrica oriunda dos resíduos (COSENZA *et al.*, 2014);

- Contribuir para capacitação da população local em educação ambiental, com base nos temas: meio ambiente, energia e resíduos.

A comparação entre as diferentes tecnologias utilizadas para o tratamento de RSU não dependem apenas de seus processos de aplicação, mas principalmente do contexto de sua aplicação quanto à finalidade, caracterização dos resíduos, vantagens tecnológicas, formas de custeio e receita. Essa tecnologia é considerada pelo *Consiglio Nazionale delle Ricerche*<sup>##</sup> (CNR), na Itália, como a tecnologia mais promissora para o aproveitamento energético de resíduos sólidos e com os maiores ganhos ambientais entre as tecnologias de pirólise existentes, além do fato de ser modular, podendo atender desde pequena escala, variando entre 2, 5 ou 10 ton/dia de resíduos, até plantas de grande escala com 400 ou mais ton/dia de resíduos (CONTI, 2009; CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013; COSENZA *et al.*, 2014).

Em síntese, a justificativa para escolha da tecnologia de pirólise lenta a tambor rotativo é como abaixo:

- Atende as necessidades e desafios apontados pelo PGIRS municipal;
- Respeita as condições naturais, hidro geológicas e climáticas da Ilha do Marajó;
- Reduz a dependência dos combustíveis fósseis;
- Contribui com o saneamento básico e ambiental municipal;
- Integra-se à Política Nacional de Resíduos Sólidos, realizando uma gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos, conforme estipulado pela lei.

### **7.7.1 Características da Tecnologia de Pirólise Lenta a Tambor Rotativo**

A tecnologia escolhida consiste no aproveitamento energético dos resíduos sólidos através da pirólise lenta a tambor rotativo, que possui as seguintes características segundo (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013; CONTI, 2009):

- Disposição e aproveitamento energético dos resíduos;
- Redução dos impactos ambientais gerados pela sua gestão;
- Propicia ganhos econômicos e sociais ao agregar valor ao processo;
- Simplicidade e flexibilidade na operação;
- Solução local e descentralizada, com dimensões modestas;
- Evita o transporte dos resíduos por longa distância.

---

<sup>##</sup> Página web do CNR: <http://www.cnr.it/sitocnr/Englishversion/Englishversion.html>

Como vantagens da pirólise lenta a tambor rotativo sobre as demais pirólises existentes, podemos enumerar as seguintes (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013; COSENZA *et al.*, 2014; CONTI, 2009):

1. Através da utilização de grupos geradores a gás é possível obter altas eficiências elétricas, de até 38%;
2. Nesta tecnologia não há necessidade de filtros especiais para o controle de emissões, pois o gás ao passar por um processo de limpeza antes da sua queima, produz apenas emissões limpas;
3. Tem um custo de investimento baixo, proporcionando retornos de curto prazo;
4. Tem grande flexibilidade no tratamento de resíduos;
5. Os inertes produzidos não sofrem oxidação e, portanto, não apresentam elementos tóxicos como dioxinas e furanos;
6. O mercado do uso de resíduos como combustível é incipiente no cenário brasileiro, fazendo com que as possibilidades de aplicação da tecnologia sejam muito promissoras.

## 7.8 Área Escolhida para Localização do Empreendimento

A área escolhida para instalação da UAER-SSBV é onde atualmente se encontra o lixão do município. Está previsto no projeto básico de engenharia a biorremediação do lixão com recuperação da área degradada (PGIRS-SSBV, 2012; UAER-SSBV, 2013).

A propriedade da área escolhida é da Prefeitura Municipal de São Sebastião da Boa Vista, localizada numa região contígua ao lixão por caracterizar uma das poucas regiões de terra firme do município. A distância é de menos de 2 km do centro da cidade, 100 metros da pista do aeroporto, 500 metros do principal rio que banha a orla da cidade e 150 metros da subestação da CELPA e dos grupos geradores pertencentes à empresa GUASCOR, conforme podemos verificar nas imagens abaixo.

A Figura 42 mostra uma imagem de satélite da Ilha Boa Vista, onde está localizada a sede do município. Podemos observar nessa imagem as marcações das localizações da sede municipal, do atual lixão e da subestação da CELPA.

Figura 42 - Imagem de satélite da Ilha Boa Vista.



Fonte: UAER-SSBV (2013).

Na Figura 43 é ilustrado a localização da subestação da CELPA e da Usina Termelétrica existente (UTE-GUASCOR) e também a localização da área onde atualmente se encontra o lixão.

Figura 43 - Foto aérea do município de São Sebastião da Boa Vista.



Fonte: UAER-SSBV (2013).

A área escolhida para implantação da usina da UAER-SSBV possui as seguintes coordenadas geográficas: Latitude Sul 01°43'05"; Longitude Oeste: 49°31'45".

Além da vantagem de recuperar a área degradada pelo lixão, o local escolhido para o empreendimento possui a característica de estar próximo da subestação da CELPA e dos grupos

geradores da UTE-GUASCOR, facilitando assim a integração da usina ao sistema de distribuição de energia elétrica.

No estudo de solo feito para instalar a UAER-SSBV, a área deve ter boas características físicas, relevo plano e sem histórico de alagamento, assim como permitir também a integração ao sistema elétrico existente. Devido às essas necessidades, foi escolhida uma área contígua ao lixão local (PGIRS-SSBV, 2012). A área necessária será de 1.500 m<sup>2</sup> para a sua instalação. Em relação à disponibilidade hídrica para a UAER-SSBV, a água a ser utilizada pela usina será de responsabilidade da Prefeitura Municipal. Estima-se um consumo diário máximo de 8m<sup>3</sup>, incluindo reposição do sistema de refrigeração e uso geral. Ressalta-se que o sistema de resfriamento dos grupos moto-geradores utilizados no empreendimento, é do tipo ciclo fechado, através de radiadores (UAER-SSBV, 2013).

## 7.9 Princípio de Funcionamento da UAER-SSBV

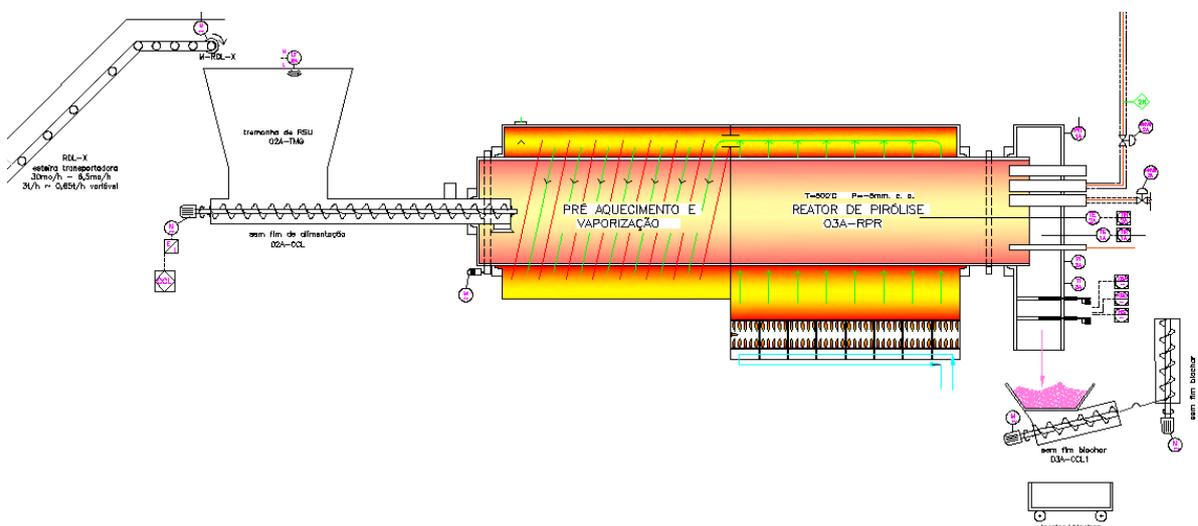
A tecnologia de Pirólise Lenta a Tambor Rotativo contempla uma evolução da tecnologia de pirólise. Nesse processo, é utilizado um reator no qual os resíduos são submetidos a temperaturas de aproximadamente 450°C, por um período entre 40 min e 1 hora, na ausência de oxigênio. Nessas condições todo o material orgânico se degrada, produzindo um gás combustível chamado gás de síntese, referido na literatura internacional como *syngas* (CONTI, 2009). Material inorgânico como cerâmicas, vidros e metais, já que não sofrem oxidação, permanecem inalterados ao passar pelo reator e não oferecem os mesmos riscos que cinzas produzidas em unidades de incineração (EUROPEAN COMMISSION, 2006).

O gás de síntese na saída do reator ainda possui impurezas, devendo ser purificado antes da sua utilização energética para maior otimização do sistema. Esta purificação consiste na remoção de material particulado, no resfriamento e na lavagem dos gases, para eliminação dos vapores ácidos que eventualmente possam se formar no processo. Um sistema de tratamento da água de lavagem permite a sua utilização em um ciclo fechado, e a fração sólida gerada (composta principalmente de carvão), que é reinserida no reator. O resultado de um processo de purificação do Gás de Síntese é um gás limpo com elevado poder calorífico. Parte deste gás limpo é utilizado para alimentar o processo (30%) e o restante (70%) é disponibilizado para processos térmicos e/ou elétricos (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013).

Ao serem utilizados em grupos geradores, os gases limpos já não oferecem riscos ao meio ambiente, pois as emissões geradas são similares àquelas produzidas em caldeiras e grupos

geradores que utilizam gás natural, sendo assim mais limpas que as atualmente geradas pelos grupos geradores diesel. A Figura 44 mostra o corte esquemático do reator, com o sistema de recepção dos resíduos, aquecimento do reator e retirada do biochar produzido pelo processo.

Figura 44 - Corte esquemático do reator de pirólise lenta.



Fonte: UAER-SSBV (2013).

### 7.9.1 Resíduos Utilizados

Devido à flexibilidade da tecnologia proposta, o empreendimento irá oferecer solução de destinação final para vários tipos de resíduos que, devido às características locais, são de difícil manejo e logística. Entre eles destacamos:

- Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Resíduos de Serviços de Saúde (RSS);
- Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (Lodo de ETE);
- Resíduos e borras oleosas do armazenamento de combustíveis e lubrificantes;
- Restos orgânicos como caroço de açaí e casca de palmito, abundantes na região e fonte de alimento para população local. Restos de animais mortos e carcaças de animais abatidos pelo abatedouro existente no município.

Estes resíduos serão considerados como insumos para a UAER-SSBV e representam atualmente um passivo ambiental, com uma série de riscos e custos associados ainda não contabilizados. Com o objetivo de remediar o lixão local e reduzir o passivo ambiental decorrente do depósito inadequado de resíduos, a usina irá receber também os resíduos depositados no lixão, recuperando a área degradada e o lençol freático existente na região (UAER-SSBV, 2013).

### 7.9.2 Compostos Resultantes da Pirólise: Cinzas Inertes e Biocarvão

No processo de pirólise lenta a tambor rotativo, obtêm-se na saída do reator dois compostos: cinzas inertes, quando o material processado é inorgânico, e biocarvão (terra preta), quando é processado material orgânico (CONTI, 2009).

A quantidade de cinzas produzidas depende fundamentalmente do percentual de inertes no material utilizado, ou seja, as cinzas geradas no processo são simplesmente a concentração da matéria inorgânica presente no material inserido no reator. A redução de massa do material utilizado é de aproximadamente 85%. Essa característica garante que não havendo a comercialização das cinzas, será necessária uma área muito menor para sua disposição em comparação com a área ocupada pelo aterro sanitário, além do fato de Vieira *et al.* (2011) mostra que as cinzas obtidas pelo processo de pirólise são inertes, não causando risco algum ao solo, ar ou água.

Por não ter oxigênio presente na reação de pirólise, não ocorre a oxidação de metais e outros materiais, não produzindo elementos tóxicos como dioxinas e furanos como ocorre na incineração, portanto eles saem do reator assim como entraram.

Quando apenas material orgânico é utilizado na entrada do reator de pirólise, consegue-se produzir, além do gás de síntese para aplicação energética, um resíduo inerte com aplicações agrícolas, chamado de biochar ou biocarvão (char vem do inglês *charcoal* = carvão) (REZENDE *et al.*, 2011).

Técnicas de uso de carvão para aumentar a fertilidade do solo têm origens na Amazônia há cerca de 2500 anos atrás. Os povos nativos da região amazônica criaram carvão e incorporaram em pequenas porções de terra de 1 a 80 hectares de tamanho. A chamada terra preta, como é conhecida essas áreas na Amazônia, possuem características de alta fertilidade de solo ainda hoje, mesmo sendo a região amazônica conhecida por possuir pouca fertilidade do solo em geral (MAIA; MADARI, 2011).

### 7.9.3 Efeitos do Biocarvão na Fertilidade do Solo

O biocarvão é uma forma de carvão vegetal utilizado para aplicações agrícolas que, entre outras características, aumenta a produtividade do solo, minimiza o lixiviamento de fertilizantes, contribui para o aumento da retenção de água no solo e incorpora matéria orgânica, promovendo o crescimento de microrganismos essenciais para a absorção de nutrientes (MAIA; MADARI, 2011). É uma alternativa sustentável ao composto orgânico obtido pela

compostagem, possuindo diversas vantagens em relação ao mesmo por não possuir elementos estranhos como plásticos, borrachas, etc., que prejudicam a qualidade do composto. Por ter volume reduzido, facilita seu transporte e aplicação na agricultura (MAIA; MADARI, 2011; REZENDE *et al.*, 2011; VIEIRA *et al.*, 2011).

Figura 45 - Biocarvão sem NPK comparado com solo simples.



Figura 46 - Biocarvão com NPK comparado com solo simples.



Figura 47 - Biocarvão com NPK comparado com NPK simples.



Figura 48 - Biocarvão sem NPK comparado com NPK simples.



Fonte Figuras 45 a 48: Glaser *et al.* (2009).

A série de fotografias apresentada demonstra o efeito do biocarvão na fertilidade do solo. Essas imagens foram obtidas durante a realização de uma conferência internacional sobre o biocarvão, que ocorreu em Terrigal, na Austrália, entre 29 de abril a 02 de maio de 2007. Os testes realizados mostram comparações feitas após 10 semanas de plantio de milho, nas seguintes condições: Solo simples (sem aplicação de biocarvão nem fertilizante); Solo com fertilizante NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio); Solo com biocarvão (Biochar); Solo com biocarvão e fertilizante (GLASER *et al.*, 2009).

## 7.10 Especificações Técnicas

### 7.10.1 Dados Técnicos e Componentes Principais

Segue abaixo a Tabela 12 com os dados técnicos principais, dados do grupo gerador e da máquina motriz.

Tabela 12 - Dados técnicos da usina.

<b>DADOS TÉCNICOS PRINCIPAIS</b>	
Capacidade de Tratamento total bruta	10 ton/dia
Número de grupos geradores	1
Capacidade de Geração de gás de síntese	100,0 m <sup>3</sup> /h
Capacidade de geração unitária do grupo gerador	200 kW
Refrigeração	Circuito Fechado
Potência de Transformação do transformador elevador	1x 275 kVA
Tensão Nominal de conexão ao sistema de distribuição	13,8 kV
Consumo interno	30 kW
<b>GRUPO GERADOR</b>	
Tipo	Síncrono – três fases
Potência/Fator de Potência	220 kVA/0,92
Tensão Nominal	0,440 kV
Faixa de ajuste de voltagem	± 5 %
Frequência/Rotação	60 Hz/1.800 rpm
<b>EQUIPAMENTO MOTRIZ</b>	
Tipo	Motor a pistão
Ciclo Térmico	OTTO / Ciclo Simples
Número de cilindros	6
Potência Nominal (Base Load)	200 kW
Rotação	1.800 rpm
Heat Rate (base PCI)	7.950 kJ/kWh
Temperatura água (Refrigeração)	25,0 °C

Fonte: UAER-SSBV (2013).

O motor utilizado pela tecnologia é de quatro tempos, de combustão pobre, com ignição por vela, pistões alternativos, turbo alimentado com refrigeração do ar de alimentação.

O motor é projetado para funcionar continuamente com gás de síntese com qualquer carga entre 40-100% da potência nominal. O motor pode funcionar com cargas de 25-40% por um período não superior a 2 horas após o qual, a carga tem que ser aumentada para no mínimo 70% (FAAJ *et al.*, 2005).

Na Tabela 13 estão descritos os itens e subitens que compõem a UAER-SSBV.

Tabela 13 - Componentes principais da usina.

ÍTEM	SUBÍTEM
1 <b>Sistema de Alimentação</b>	Sistema de alimentação
	Triturador
	Tremonha
	Rosca sem fim
2 <b>Reator</b>	Reator de Pirólise
	Queimadores
	Cilindro de GLP
	Válvula rotativa
3 <b>Ciclones</b>	Tanque de mistura lodo-carvão
	Misturador lodo-carvão
	Bomba lodo-carvão
	Ciclones de gás
	Válvula Rotativa
4 <b>Resfriamento e lavagem dos gases</b>	Decantador
	Bomba espuma
	Bomba água básica
	Tanque de água de resfriamento
	Torre de resfriamento
	Filtro venturi de resfriamento
5 <b>Armazenagem do gás de síntese</b>	Aspiradores de gás de síntese
	Sopradores recirculação gás de síntese
	Gasômetro
	Selo hidráulico
	Filtro de areia
6 <b>Gerador e acessórios</b>	Soprador de gás do Grupo Gerador
	Grupo Gerador a Gás
	Filtro a vela
7 <b>Queimadores</b>	Queimador tipo <i>Flare</i>

<b>8 Tubulação</b>	Tubos, Válvulas, Flanges Suportes, peças especiais Juntas, guarnição
<b>9 Controle</b>	Instrumentação para campo PLC Quadro inversores Quadro interface Sistema Supervisório
<b>10 Sistema Elétrico</b>	Aterramento Iluminação Proteções
<b>11 Sistema Antincêndio</b>	Bombas água Tanque de água Hidrantes

Fonte: UAER-SSBV (2013).

### 7.10.2 Construção e Logística

A UAER-SSBV completa será montada em dois contêineres padrão de 40' aberto, que incluirá a tremonha, o reator de pirólise, equipamentos auxiliares como ciclones, venturi, torre de lavagem, etc. e em volta serão instalados o gasômetro, o grupo gerador cabinado, a sala de controle, etc. Na Figura 49 observa-se uma Unidade de Demonstração dentro do contêiner, com dimensões e capacidade equivalente à UAER-SSBV.

Os contêineres montados e os auxiliares serão transportados até o Porto de Belém, onde serão colocados numa embarcação que levará os equipamentos até São Sebastião da Boa Vista. Na localidade, os equipamentos serão descarregados e transportados via rodoviário para o local. Então, será colocado debaixo de um abrigo em estrutura metálica que o protegerá das chuvas.

Os diversos cabos de força, controle e monitoração passam através de calhas elevadas entre os grupos geradores e os painéis, daqui para o barramento, assim como as tubulações dos diversos sistemas. A reposição de óleo lubrificante será manual, através de tambores.

Figura 49 - Unidade de demonstração de 10 ton/dia e 200 kW.



Fonte: UAER-SSBV (2013).

### 7.10.3 Descrição da Subestação e Linha de Transmissão

A energia em 13,8 KV, oriunda da subestação elevadora, é conectada diretamente à linha de distribuição local, em circuito simples, de acordo com o estabelecido pelo parecer de acesso, os requisitos de conexão conforme os procedimentos de distribuição. A energia produzida atenderá em termos de qualidade e características aos requisitos do sistema no ponto de conexão e o acordo operativo a ser assinado com a CELPA (COSENZA *et al.*, 2014).

A medição de faturamento de energia entregue será no terminal do transformador elevador de Média Tensão da UAER-SSBV, utilizando-se um medidor eletrônico tipo aprovado. Será fornecido um segundo medidor de reserva no caso de falha do primeiro. A calibragem e leitura dos medidores serão feitas juntamente com a concessionária.

Em geral e conforme solicitado, a energia reativa será absorvida dentro dos limites estabelecidos pelo acordo operativo. O projeto incluirá um sistema de comunicações entre a central de despacho do Município e a sala de controle da usina (UAER-SSBV, 2013).

### 7.10.4 Produção e Composição do Gás de Síntese

O gás de síntese será fornecido pela unidade de pirólise, limpo e sem particulados, para o gasômetro, onde ele terá sua composição química uniformizada, de modo que o gás que vai para os grupos geradores não tenha variações bruscas de composição e poder calorífico. Cerca

de 30% do gás é direcionado para os queimadores de aquecimento do tambor rotativo, e os restantes 70% são enviados para os grupos geradores. O sistema tem capacidade para produzir o equivalente a 100 m<sup>3</sup> de gás de síntese por hora.

A composição típica do gás de síntese tem as especificações conforme Tabela 14:

Tabela 14 - Composição do gás de síntese.

Elemento	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Volume (%)	42.45	22.65	8.45	6.83	1.36	10.45	2.40	5.40	0.01

Fonte: UAER-SSBV (2013); Conti (2009); Vieira *et al.* (2011).

## 7.11 Meio Ambiente e Impactos Ambientais

A UAER-SSBV é projetada, construída e operada em conformidade com as diretrizes locais e atende aos requisitos de controle de emissões de poluentes dos órgãos de meio ambiente. Até onde for tecnicamente viável, a usina será uma instalação sem descarte de resíduos, com segregação de rejeitos sólidos e líquidos, obedecendo à normatização ambiental estadual e federal (UAER-SSBV, 2013).

Em relação aos resíduos líquidos, todas as borras de lubrificante e graxa da usina serão coletadas e direcionadas para o reator de pirólise onde serão processadas e transformadas em gás de síntese. Como não haverá óleos em circulação não haverá necessidade de tratamento de águas oleosas.

A pequena quantidade de água utilizada para eventualmente complementar o sistema de arrefecimento a ar, deverá ser suprido por água tratada da concessionária pública ou caminhão pipa. Estima-se para a limpeza do galpão o uso de 5 m<sup>3</sup> de água por semana, a qual será direcionada para o sistema de águas pluviais.

Sobre os resíduos sanitários, considerando um consumo diário por pessoa de no máximo 200 l/dia para uso sanitário e a dedicação de 10% dos funcionários da UAER-SSBV, é de se esperar uma baixa produção de resíduos sanitários no empreendimento, que deverá ser direcionada para o sistema de coleta e tratamento local.

A maior quantidade de resíduos sólidos produzidos pela UAER-SSBV consiste em filtros cartuchos de água e óleo, filtros do sistema de tratamento de águas contaminadas, resíduos alimentares e resíduos do tanque de borra. Todos estes resíduos serão direcionados para o reator de pirólise onde serão processados e transformados em gás de síntese.

Os ruídos gerados pela UAER-SSBV são mínimos e restritos ao funcionamento do reator, bombas em geral e ao grupo gerador. O nível de ruído é baixo, <85 Db(A) na sua área interna. Os grupos geradores serão cabinados, isto é, montados em contêineres isolados acusticamente. O grupo gerador é montado sobre amortecedores de vibração, que reduz drasticamente as vibrações no seu entorno (UAER-SSBV, 2013).

### 7.11.1 Emissões Atmosféricas

Em relação às emissões atmosféricas, existem duas fontes de emissão, oriunda do queimador do reator de pirólise e dos gases de escape dos grupos geradores. Como não existem compostos de cloro (HCl), de flúor (HF) e metais nos gases de pirólise limpos, estes compostos não são encontrados nas fontes de emissão.

Como verificado na Tabela 15, a geração de poluentes nos gases de combustão provenientes do sistema de aquecimento do reator é muito inferior ao exigido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, através de sua Resolução 316/2002 (CONAMA, 2002). Já emissões dos gases de escape dos grupos geradores não tem normativas nacionais de limites de emissão, portanto são descritos abaixo os limites da legislação alemã sobre a qualidade do ar (TA-Luft). Os valores são comparados com os verificados pela usina de pirólise, segundo a Tabela 16 (DE MELO *et al.*, 2008; TA-LUFT, 1986).

Tabela 15 - Concentração de poluentes nos gases de combustão do aquecimento do reator.

mg/Nm <sup>3</sup>	Emissões na chaminé	Limites Normativos CONAMA 316/2002
Particulado	0,89	70
HCl	0,000	80
HF	0,000	5
SO <sub>2</sub>	2,46	280
NO <sub>x</sub>	370	560
CO	21,9	123
Metais Pesados	0,000	0,28
Hidrocarbonetos totais	<10,000	/
Dioxinas e Furanos (ng/Nm <sup>3</sup> )	0,000	0,5

Fonte: CONAMA (2002); UAER-SSBV (2013).

Tabela 16 - Concentração de poluentes nos gases de combustão dos grupos geradores.

mg/Nm <sup>3</sup>	Emissões no escape	Normativa Alemã (TA Luft)
NO <sub>x</sub>	<500	1000
CO	<300	1000

Fonte: TA-LUFT (1986); De Melo *et al.* (2008); UAER-SSBV (2013).

Os resultados das emissões atmosféricas permitem o melhor desempenho ambiental dentre as tecnologias existentes no mercado, já que poluentes como vapores ácidos são totalmente eliminados no sistema de lavagem dos gases de síntese e elementos cancerígenos como dioxinas e furanos simplesmente não são produzidos (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013). A tecnologia permite, além da destruição dos componentes orgânicos, o aproveitamento energético dos mesmos, apresentando altas eficiências elétricas e térmicas. Esta característica permite agregar valor ao processo, ao considerar o resíduo sólido como um recurso energético (COSENZA *et al.*, 2014).

## 7.12 Operação e Manutenção

A operação será local e a manutenção ficará sob a responsabilidade da fornecedora do equipamento. Além disso, será elaborado um programa de manutenção, de modo a maximizar a vida útil do equipamento. A operação e manutenção da usina consiste de 3 operações básicas: a mobilização para operação, a operação da usina e a manutenção preditiva e preventiva dos equipamentos.

A manutenção será basicamente preditiva e preventiva. Primeiramente o acompanhamento por meio de índices, como vibração, temperatura, etc., permitirá ao pessoal de operação prever a falha e programar a data adequada para parar o equipamento e repará-lo. Em segundo lugar, a manutenção preventiva permite a execução do reparo ou substituição de elementos cuja vida é conhecida, como os filtros, lubrificantes, mancais, entre outros.

A operação inicia-se na data de operação comercial e compreende:

- Operar de acordo com as exigências legais e ou práticas prudentes, todos os equipamentos/sistemas, principais e auxiliares da usina;
- Aferir, de acordo com as exigências legais e ou práticas prudentes, os parâmetros de ajuste dos sistemas de proteção, controle e regulação, medição e supervisão da

instalação, para refletir o desempenho desejado pela regulamentação aplicável, bem como zelar pelo cumprimento de tais parâmetros;

- Manter a mais alta disponibilidade de potência da usina, dentro das práticas prudentes;
- Estabelecer, com base nos manuais dos fabricantes, práticas prudentes e nos resultados dos testes da UAER-SSBV, as faixas operativas de todos os equipamentos, de modo a garantir a integridade, confiabilidade e disponibilidade das instalações, bem como o cumprimento das faixas de operação estabelecidas, preenchendo os relatórios pertinentes;

A manutenção inicia-se na data de operação comercial e compreende:

- Elaborar e cumprir um plano de manutenção prudente, abrangendo as inspeções, manutenções preditivas e preventivas, de acordo com as instruções dos fabricantes e tecnologia própria e de acordo também com toda e qualquer regulamentação aplicável.
- Executar a manutenção preventiva relacionada, no planejamento do fabricante, e, além disso, executar rotineiramente as manutenções corretivas de pequena monta e conservação, inclusive pintura.

Operar a usina eficientemente é fundamental para o sucesso deste empreendimento. É necessário, portanto, ter pessoal qualificado para uma operação eficiente e econômica. Como a UAER-SSBV é automatizada, ela será operada e mantida por um total de 6 empregados, dependendo da quantidade de horas de funcionamento diário. A mão de obra indicada receberá treinamento adequado para o manuseio e operação dos grupos geradores e dos equipamentos da usina.

### **7.13 Situação Atual do Projeto**

O Projeto Básico de Engenharia da Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos de São Sebastião da Boa Vista encontra-se em fase de revisão e atualização para elaboração do Projeto Executivo de Engenharia UAER-SSBV.

Tanto o PGIRS quanto o Projeto UAER-SSBV estão devidamente protocolados na Fundação Nacional de Saúde do Estado do Pará (FUNASA/PA) e no Ministério das Cidades através de sua Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. A tecnologia proposta aguarda seu pleno licenciamento a nível nacional para que possa ser aprovada pelos órgãos ambientais

e entidades de financiamento, com a finalidade de captação dos recursos necessários para sua execução. Para isso, dois projetos de pesquisa e desenvolvimento estão sendo realizados no Brasil, em parcerias com universidades e centros de pesquisas renomados para a realização da transferência da tecnologia para o Brasil e formação de recursos humanos na área de tratamento térmico de resíduos, assim como capacitações e treinamento para construção, operação e manutenção da tecnologia de pirólise lenta à tambor rotativo.

Nesse estudo de caso, o objetivo foi solucionar os problemas energéticos e de saneamento ambiental do Município de São Sebastião da Boa Vista, visto que o município possui um lixão ao céu aberto de mais de 15 anos de existência e pertence ao sistema isolado, utilizando óleo diesel para geração elétrica.

O lixão existente possui sinais de combustão espontânea do metano gerado pelo excesso de matéria orgânica. Localizado numa área distante menos de dois quilômetros do centro da cidade e próximo ao aeroporto da cidade (menos de 100 metros), prejudicando pouso e decolagens devido à presença de urubus e aves carniceiras. Está numa região cercada de nascentes de água, distante poucos metros do rio que banha a orla do município, possuindo uma área alagada ao lado de sua entrada (PGIRS-SSBV, 2012).

Para dar um destino adequado aos resíduos sólidos urbanos, recuperar a área do lixão, descontaminando o solo e o lençol freático que abastece a cidade, e concomitantemente reduzir a dependência fóssil do município, foi então realizado um projeto básico de engenharia para o Município de São Sebastião da Boa Vista. Os detalhes dos resultados alcançados seguem ao longo dessa seção.

## **7.14 Considerações Finais**

No estudo de caso realizado, verifica-se o potencial de uso dos resíduos para geração descentralizada de energia, com aplicações em município pertencente aos sistemas isolados.

Nesse projeto, a questão política está bem resolvida, cabendo ressaltar que os gestores públicos municipais buscam a melhoria da qualidade de vida da população, permitindo a realização de um estudo pioneiro sobre aproveitamento energético de resíduos no Brasil. O município foi também o primeiro do Estado do Pará a elaborar seu Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos orienta. O PGIRS originou a Lei Municipal de Resíduos Sólidos de São Sebastião da Boa Vista, colocando o município em destaque frente a outras iniciativas a nível estadual e também nacional.

A tecnologia proposta irá solucionar o problema dos resíduos, produzir energia limpa e renovável para redução da dependência fóssil do município e também produzir um insumo agrícola de alto valor agregado para a agricultura familiar, que é bastante praticada no município de São Sebastião da Boa Vista.

A nacionalização da tecnologia de pirólise lenta está sendo realizada através de um projeto de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) com a Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (FEQ/Unicamp), com a criação de uma plataforma de pesquisa em processos térmicos no país. Com isso, será feita a transferência da tecnologia para o Brasil, trazendo resultados positivos no sentido de capacitação de recursos humanos no tratamento térmico de resíduos, com consequente redução dos custos de construção, operação e manutenção da tecnologia de pirólise lenta a tambor rotativo.

# Capítulo 8

## ANÁLISE FINANCEIRA E SOCIOECONÔMICA DOS SISTEMAS DE ENERGIA

---

### 8.1 Considerações Iniciais

Ao se analisar os empreendimentos produtivos, deve-se conhecer os indicadores financeiros e econômicos. Os primeiros preocupam-se com as relações entre os custos e as receitas. Os segundos, por representarem a dimensão socioeconômica, apresentam índices relacionados com os aspectos sociais da economia no uso das fontes renováveis.

Nessa parte do trabalho serão apresentados os resultados da análise financeira e socioeconômica realizada sobre os estudos de caso 1 e 2, para efeito comparativo entre os sistemas de energia estudados, afim de evidenciar as melhores tecnologias para investimentos. Inicia com a metodologia de cálculo utilizada, onde os parâmetros financeiros como valor presente líquido, taxa interna de retorno, fluxo de caixa, relação benefício-custo e tempo de retorno do investimento são obtidos. Em seguida é apresentada uma análise socioeconômica devido à importância social do uso das tecnologias renováveis apresentadas. Após isso, é calculado o custo de geração de energia de cada sistema para realizar uma comparação ao final, seguido de uma análise sobre os resultados.

### 8.2 Aspectos Metodológicos

A metodologia empregada para a análise financeira e socioeconômica foi dividida em três partes, sendo elas: levantamento de mercado dos indicadores de custos de investimento, cálculo dos indicadores financeiros e cálculo dos indicadores socioeconômicos.

## 8.2.1 Indicadores de Custos de Investimentos e Receitas

Os itens de custos adotados para o estudo de caso 1 foram os custos de investimentos, custos de combustíveis, custos de operação e manutenção. No estudo de caso 2, foram utilizados os custos de investimentos, custos fixo e variável de operação e manutenção. A receita para ambos os casos foi oriunda da economia do combustível fóssil evitado.

## 8.2.2 Modelo de Análise Financeira

A análise financeira apresenta indicadores que medem o quanto é atrativo o projeto para o empreendedor, suas condições de sustentabilidade e solvência. Os seguintes indicadores foram utilizados nesse estudo (BUARQUE, 1984; BRUNI, 2008; SANTANA, 2005):

- Fluxo de Caixa: é uma ferramenta que controla a movimentação financeira (as entradas e saídas de recursos financeiros), em um período determinado, do projeto em questão. Será representado graficamente, de forma a ilustrar os excessos e faltas de caixa;
- Valor Presente Líquido (VPL): é definido como a diferença entre o valor presente de fluxo de caixa esperado de um projeto e seu custo inicial. Para valores de VPL positivo, o projeto é viável, enquanto que um valor negativo mostra que o investimento não é justificável;
- Taxa Interna de Retorno (TIR): esse parâmetro é obtido quando o VPL é igualado a zero, estando assim estritamente relacionado. Para comprovar a viabilidade do projeto, além do VPL ser superior a zero, a TIR deve ser maior que a taxa de desconto considerada;
- Relação Benefício Custo ( $R_{b/c}$ ): relaciona os benefícios do projeto e os seus custos. Tanto os benefícios como os custos devem ser expressos em valores presentes.
- Tempo de Retorno do Capital (*Payback*): refere-se ao tempo decorrido entre o investimento inicial no momento que o lucro líquido se iguala ao valor do investimento. Sendo assim, o investimento com menor *payback* é considerado a melhor opção, pois o valor investido é recuperado em um prazo menor. Também um *payback* menor é visto como um menor risco, pois quanto mais longo o tempo de retorno mais incertos são os retornos positivos de caixa.

Para o cálculo dos indicadores financeiros apresentados (VPL, TIR,  $R_{b/c}$  e *Payback*) foram utilizados Santana (2005) e Buarque (1984), através das seguintes equações:

$$\text{VPL}(i_m) = -I + \sum_{t=1}^n \frac{R_t - C_t}{(1 + i_m)^t} \quad (1)$$

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{R_t - C_t}{(1 + \text{TIR})^t} \quad (2)$$

$$R_{\frac{b}{c}} = \frac{\frac{\sum_{t=0}^n R_t}{(1 + i_m)^t}}{I + \frac{\sum_{t=0}^n C_t}{(1 + i_m)^t}} \quad (3)$$

Onde temos:

**VPL** = Valor Presente Líquido

**I** = Investimento ou capital aplicado

**R<sub>t</sub>** = Fluxo de receitas do projeto no ano t

**C<sub>t</sub>** = Fluxo de custo do projeto no ano t

**n** = número de anos do projeto (t=1,..., n)

**i<sub>m</sub>** = Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP)

Para análise do VPL, será utilizado uma taxa de juros de longo prazo (TJLP), que vale em média 12% ao ano, podendo ser utilizada como referência para esse tipo de análise (SANTANA, 2005). Temos, através dos resultados da Equação 1, os custos de oportunidade sobre o capital investido no projeto. Obtendo um  $\text{VPL} > 0$ , o projeto é considerado economicamente viável, pois as receitas foram maiores que as despesas.

A TIR avalia a viabilidade econômica do projeto, que pode ser calculada através da Equação 2 considerando  $\text{VPL} = 0$ . Com uma TIR superior à taxa de juros que reflete o custo de oportunidade do capital, temos que o empreendimento é considerado viável. A  $R_{b/c}$  de um projeto é dada pela razão entre a soma do fluxo de receitas e a soma do fluxo de custos, atualizadas pela taxa de juros (TJLP) segundo a Equação 3. O projeto apresenta viabilidade econômica para uma  $R_{b/c} > 1$ , pois com isso o somatório das receitas atualizadas é maior do que os custos atualizados somados (SANTANA, 2005; BUARQUE; OCHOA, 1991).

Em todos os sistemas de energia analisados (fotovoltaico e biomassa no estudo de caso 1 e sistema pirólise no estudo de caso 2), adotou-se uma taxa de juros de 12% ao ano e um período de vida útil dos equipamentos de 20 anos. A taxa de juros adotada foi considerada como taxa mínima de atratividade ( $i_m$ ), sendo essa taxa referente ao custo de oportunidade do investimento no projeto. O cálculo do *payback* simples foi obtido pela Equação 2, considerando

o VPL igual a zero e calculando-se ano a ano o valor retornado pelo sistema, somando-se os valores obtidos no final.

### 8.2.3 Modelo de Análise Socioeconômica

A análise econômica ou social, mostra a atratividade do empreendimento para a sociedade como um todo. Faz a avaliação dos fluxos de entrada e saída considerando os custos reais, sem as distorções dos preços de mercado que são introduzidas por intervenções governamentais, tais como tributações, subsídios e outras distorções de preços. Dessa forma, a avaliação socioeconômica mede a rentabilidade de um projeto em termos de recursos reais para a sociedade.

Para realização da análise socioeconômica foi feita uma transformação dos preços de mercado (financeiros) em preços econômicos (sociais) a partir da utilização de fatores de conversão existentes e aceitos mundialmente. Através de estudos retirados de França *et al.* (2011) e Campos *et al.* (2013), os fatores de conversão para o Brasil utilizados nesse estudo são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Fatores de conversão para indicadores socioeconômicos.

	Receita	Investimentos	Energia	Combustível	Manutenção
<b>Fatores de Conversão</b>	0,9522	0,8134	0,970	0,940	0,817

Fonte: Adaptado de Campos *et al.* (2013) e França *et al.* (2011).

Na análise financeira, os preços de mercado são suficientes como indicadores de custos e benefícios. Porém na análise socioeconômica, essa medição não é suficiente, necessitando determinar um parâmetro chamado preços-sombra (preços econômicos), que indicam o valor de cada produto, insumo ou serviço medido em correspondência aos custos de oportunidades econômicos desses bens e serviços (BUARQUE; OCHOA, 1991). Na prática, o preço-sombra é definido por meio da relação do fator de conversão através da equação  $FC = PE/PM$ , onde o preço-sombra ou preço econômico (PE) é calculado multiplicando o preço de mercado (PM) pelo fator de conversão (FC) dado pela Tabela 17.

## 8.3 Estudo de Caso 1: Gaseificação como Tecnologia Social com Benefícios Ambientais

Três sistemas foram analisados nesse estudo de caso, sendo que para o sistema diesel, como fonte convencional, foi calculado apenas o custo de geração elétrica. Para os sistemas fotovoltaico e biomassa, as receitas são oriundas da economia que a fonte propicia com a substituição do óleo diesel pela alternativa energética em análise, valor esse calculado como a soma resultante do custo de operação, manutenção e custo de combustível do sistema diesel.

### 8.3.1 Sistema Fotovoltaico

Para realizar a estimativa de custos de investimentos do sistema fotovoltaico, foram aproveitados os dados levantados de Neto (2006). Nesse estudo, foi comparado um sistema de gaseificação com um sistema fotovoltaico, ambos de 1 kW, para atendimento energético domiciliar em comunidades isoladas, adaptando os cálculos realizados de 1 kW para 20 kW.

Na Tabela 18, mostramos a estimativa de custo de aquisição dos equipamentos e instalação do sistema fotovoltaico, com os valores atualizados para o período de janeiro de 2015, de forma a termos os seguintes valores:

Tabela 18 - Custo aquisição e instalação do sistema fotovoltaico.

Equipamento	Tipo	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Módulo Fotovoltaico 250 Wp / 12 Vdc	Unidade	160	1.850,00	296.000,00
Bateria Estacionária 150 A.h.	Unidade	40	1.100,00	44.000,00
Inversor 1000 W / 24 Vdc / 127 Vca	Unidade	40	2.500,00	100.000,00
Controlador de Carga – 30 A	Unidade	40	1.000,00	40.000,00
Abrigo de Madeira p/ inv./contr./bat.	Unidade	1	1.000,00	1.000,00
Estrutura metálica p/ armação das placas	Conjunto	20	550,00	11.000,00
Madeiramento p/ suporte das placas	Conjunto	20	250,00	5.000,00
Cerca de arame com 7 níveis	Conjunto	10	160,00	1.600,00
Cabo elétrico para montagem do sistema	Conjunto	20	250,00	5.000,00
Sistema de aterramento	Conjunto	1	350,00	350,00
<b>TOTAL</b>				<b>503.950,00</b>

Fonte: Adaptado de Muniz (2013).

Temos então um custo estimado de R\$ 503.950,00 para a aquisição dos equipamentos e instalação de um sistema fotovoltaico de 20 kW potência.

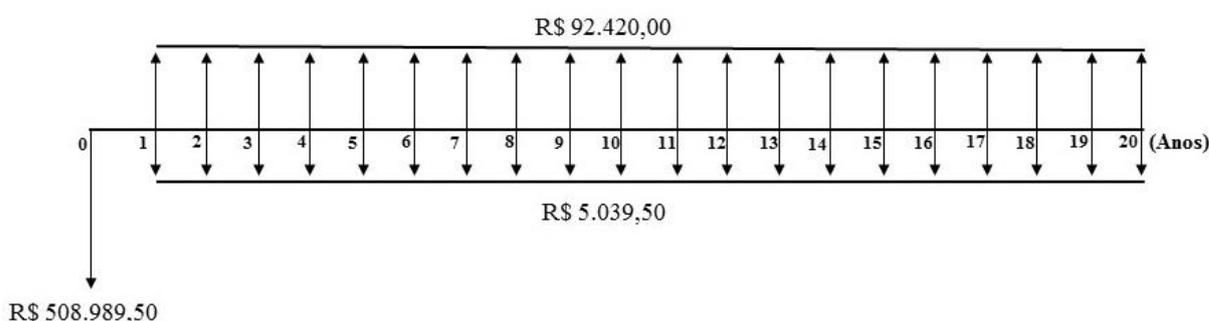
O custo de manutenção usualmente utilizado no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos é de 01% do valor investido na aquisição e instalação dos equipamentos. Portanto temos o valor de R\$ 5.039,50 de manutenção anual. Com isso, o custo final de investimento do sistema fotovoltaico é de **R\$ 508.989,50**.

### 8.3.1.1 Análise Financeira do Sistema Fotovoltaico

Para o cálculo dos indicadores financeiros, temos como entrada: Receitas ( $R_t$ ) = R\$ 92.420,00; Tempo de vida útil do sistema ( $t$ ) = 20 anos; Taxa de juros = 12% ao ano.

Na Figura 50 temos o fluxo de caixa do sistema. O VPL foi obtido através da Equação 1, onde o investimento foi de R\$ 508.989,50 e o custo de manutenção foi calculado como R\$ 5.039,50 (1% do custo inicial de investimento). Com esses valores de entrada, obtemos o valor de **VPL=R\$ 143.694,22** o que demonstra a viabilidade econômica do empreendimento ( $VPL > 0$ ).

Figura 50 - Fluxo de caixa para o sistema fotovoltaico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O cálculo da TIR através da Equação 2 resultou em uma **TIR=16,33%**. Como o objetivo da TIR é tornar o fluxo de receitas igual ao fluxo de custos ( $VPL=0$ ), para ser considerado viável o valor calculado deve ser superior à taxa de juros que reflete o custo de oportunidade do capital (TJLP). Comprovado isso, fica atestado a rentabilidade do sistema fotovoltaico para atender a demanda.

A relação benefício-custo dos investimentos é dada pela Equação 3, tendo como benefícios as receitas anuais e como custos os de operação e manutenção anuais acrescidos do custo de investimento. Obtemos para o sistema fotovoltaico um benefício líquido de R\$ 690.325,98 com um custo líquido de R\$ 546.631,76 resultando em uma  **$R_{b/c}=1,26$**  e atestando a viabilidade econômica do empreendimento. Para o sistema fotovoltaico o cálculo do *payback* de retorno ocorre em **10,61 anos**.

### 8.3.1.2 Análise Socioeconômica do Sistema Fotovoltaico

Com base nos parâmetros do fator de conversão, os valores de entrada para o cálculo dos preços econômicos do sistema fotovoltaico resultam em:

- Custo de investimento (I) = R\$ 414.012,05 (para FC=0,8134);
- Receitas (Rt) = R\$ 88.002,32 (para FC=0,9522);
- Manutenção (Ct) = R\$ 4.117,27 (para FC=0,817).

De posse desses valores de entrada, foi obtido um VPL=R\$ 212.562,60. A Taxa Interna de retorno resultou em TIR=19,71% com um *Payback* de 7,92 anos. A Relação Benefício Custo foi de  $R_{b/c}=1,48$ . Os dados comparativos da análise financeira e socioeconômica para o sistema fotovoltaico são apresentados na Tabela 19

Tabela 19 - Análise financeira e socioeconômica do sistema fotovoltaico.

Sistema Fotovoltaico	VPL (R\$)	TIR (%)	$R_{b/c}$	<i>Payback</i> (anos)
Análise Financeira	<b>143.694,22</b>	<b>16,33</b>	<b>1,26</b>	<b>10,61</b>
Análise Socioeconômica	<b>212.562,60</b>	<b>19,71</b>	<b>1,48</b>	<b>7,92</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 8.3.2 Sistema Biomassa

O custo do sistema biomassa para esse estudo foi adaptado de (DA SILVA e ROCHA, 2006), onde os autores realizaram uma análise completa do gaseificador da comunidade de Jenipaúba. Iremos aproveitar desse trabalho os dados referentes ao custo de instalação, operação e manutenção do sistema biomassa.

O custo de aquisição do gaseificador foi obtido em consulta à empresa Floragás do Brasil Ltda., com sede em Benevides (PA), que constrói gaseificadores com tecnologia regional na faixa de valores de potência entre 1 kW a 25 kW. O custo de geração do sistema biomassa é obtido pela somatória de: i) custos de investimento; ii) custo do combustível; e iii) custo de operação e manutenção. Abaixo a descrição de cada um desses itens.

#### i) Custos de Investimento:

Em consulta ao engenheiro responsável pela diretoria técnica e comercial da empresa Floragás do Brasil Ltda., foi informado o valor de custo de \$1.000,00/kW instalado.

Passando para real na cotação atualizada de fevereiro de 2015 (\$1,00 = R\$2,60), temos o valor de R\$ 2.600,00/kW instalado. Portanto para o gaseificador de 20 kW, o custo final do equipamento fica em R\$ 52.000,00.

Os demais dados foram retirados de Da Silva e Rocha (2006) com valores atualizados pela cotação do dólar atual, apresentando esses valores na Tabela 20 abaixo:

Tabela 20 - Custo do investimento para o sistema biomassa.

Item	Gaseificador	Grupo Gerador	Obras civis e casa de máquina	TOTAL (R\$)
Valor (R\$)	52.000,00	26.000,00	20.000,00	98.000,00

Fonte: Adaptado de Muniz (2013).

## ii) Custos de Operação e Combustível:

No custo de operação, incluiremos o custo do combustível, pois a aquisição da biomassa depende de força de trabalho de pessoal da comunidade.

Os gastos anuais com a operação foram definidos considerando turnos de trabalho de 6 horas diárias e um operador da usina por turno. Portanto, para um regime de operação de 12 horas, serão necessários 3 operadores, levando em consideração a contratação de um operador a mais para cobrir os dias de folga e mês de férias. Somando a isso mais um operador, referente à coleta da biomassa para alimentar e operar o gaseificador, temos um total de 4 operadores.

Utilizando como referência o piso salarial de janeiro de 2015 (R\$788,00), temos o custo de R\$ 28.368,00,00 por ano com três operadores trabalhando em regime de 12 horas por dia. O quarto operador será considerado no custo de combustível.

Para fins de cálculos estimados, iremos acrescentar 25% desse valor para incluir os encargos da legislação trabalhista em vigor. Temos então o custo final anual de operação do sistema biomassa em R\$ 35.460,00.

Com a operação do sistema com biomassa, precisamos em média 15% de óleo diesel para funcionamento do grupo gerador, pois o sistema de gaseificação substitui até 85% do diesel pelo gás de síntese (MUKUNDA, DASAPPA e SHRINIVASA, 1993). Levaremos em consideração o custo da biomassa equivalente ao custo de 01 operador, que será o responsável pela coleta da biomassa na comunidade.

Segundo Neto (2006), a operação do gaseificador consome em média 1 kg de biomassa para produzir 1 kWh de energia (1 kg/kWh). Isso significa que serão consumidos 20 kg/hora de biomassa. Com um regime de operação diário de 12 horas em média, o consumo diário de biomassa será de 240 kg/dia. O consumo anual de biomassa fica estimado em 87,6 toneladas, enquanto que o óleo diesel fica em 2.628 litros.

Tomando como referência o preço para o óleo diesel de R\$ 3,00/litro, valor praticado nos postos da região do Município de Abaetetuba em fevereiro de 2015, temos gastos anuais de

R\$ 7.884,00 com o combustível diesel e de R\$ 9.456,00 para operação do sistema biomassa (Tabela 21).

Tabela 21 - Custo de operação e consumo de combustível.

Custo de Operação e Combustível (Regime 12 horas/dia)			Custo anual (R\$)
Operadores	Quantidade = 3		<b>35.460,00</b>
Combustível	Consumo diário	Consumo anual	
Biomassa	240 kg	87,6 toneladas	<b>9.456,00</b>
Óleo Diesel	7,2 litros	2.628 litros	<b>7.884,00</b>
<b>TOTAL</b>			<b>52.800,00</b>

Fonte: Adaptado de Muniz (2013).

### iii) Custos de Manutenção:

Para os gastos anuais com a manutenção, é considerado o valor de 10% sobre o capital investido para aquisição dos equipamentos (gaseificador e grupo gerador = R\$78.000,00), para o regime diário de operação de 12 horas. O custo anual de manutenção de R\$ 7.800,00. A Tabela 22 mostra esses valores.

Tabela 22 - Custo de manutenção do sistema biomassa.

	Mensal	Anual	<b>TOTAL</b>
<b>Custo anual de Manutenção (R\$)</b>	650,00	7.800,00	<b>7.800,00</b>

Fonte: Adaptado de Muniz (2013).

Portanto, o custo final de investimento de geração para o sistema biomassa calculado através da soma dos itens (i), (ii) e (iii) obtidos acima. Abaixo, a Tabela 23 mostra esse resultado:

Tabela 23 - Custo de investimento de geração para o sistema biomassa.

Sistema Biomassa	Investimento	Operação e Combustível	Manutenção	<b>TOTAL</b>
<b>Custo de investimento de geração (R\$)</b>	<b>98.000,00</b>	<b>52.800,00</b>	<b>7.800,00</b>	<b>158.600,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

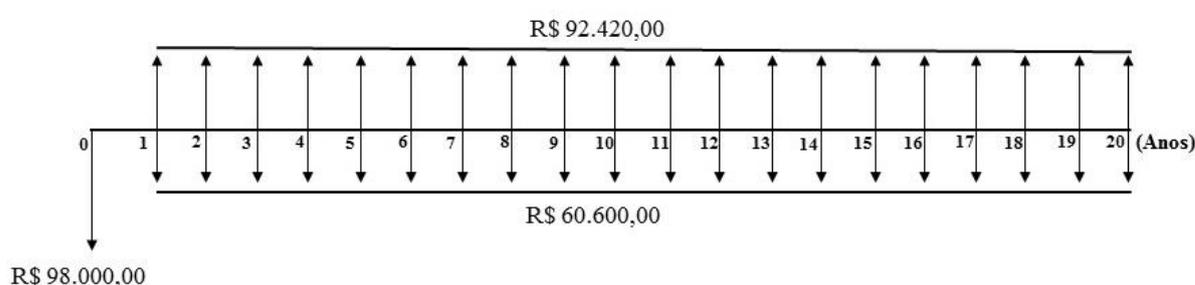
Para o sistema biomassa, o custo de investimento na geração resulta em R\$ 158.600,00 onde temos incluso o investimento do equipamento (gaseificador + grupo gerador), instalação, custo de operação (operadores + combustível) e custo de manutenção.

### 8.3.2.1 Análise Financeira do Sistema Biomassa

Para o sistema biomassa, os dados de entrada para o cálculo dos indicadores financeiros são: Receitas ( $R_t$ ) = R\$ 92.420,00; Tempo de vida útil do sistema ( $t$ ) = 20 anos; Taxa de juros = 12% ao ano.

O fluxo de caixa é mostrado na Figura 51. O valor presente líquido calculado resultou em **VPL=R\$ 141.677,70** para um investimento de R\$ 98.000,00 e um custo de operação, manutenção e combustível de R\$ 60.600,00.

Figura 51 - Fluxo de caixa para o sistema biomassa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A taxa interna de retorno resultou em **TIR=33,04%**, ficando bem acima da TJLP de 12%, evidenciando uma alta rentabilidade do sistema biomassa.

Para o sistema biomassa, obteve-se um benefício líquido de R\$ 690.325,98 com um custo líquido de R\$ 548.648,28. Com isso a relação benefício-custo ficou em  **$R_{b/c}=1,26$**  atestando a viabilidade econômica do empreendimento. O *payback* obtido foi de **3,97 anos**, mostrando um rápido retorno do investimento.

### 8.3.2.2 Análise Socioeconômica do Sistema Biomassa

Utilizando os fatores de conversão da Tabela 17, os cálculos dos preços econômicos do sistema biomassa resultam em:

- Custo de investimento ( $I$ ) = R\$ 79.713,20 (para  $FC=0,8134$ );
- Receitas ( $R_t$ ) = R\$ 88.002,32 (para  $FC=0,9522$ );
- Manutenção ( $C_t$ ) = R\$ 49.510,20 (para  $FC=0,817$ ).

Com os dados de entrada acima, a análise socioeconômica resultou um Valor Presente Líquido de **VPL=R\$ 207.801,52**. A Taxa Interna de retorno resultou em **TIR=48,27%** com uma Relação Benefício-Custo de  **$R_{b/c}=1,46$** . O *Payback* calculado foi de **2,54 anos**. A Tabela 24

apresenta os dados comparativos da análise financeira e socioeconômica para o sistema biomassa.

Tabela 24 - Análise financeira e socioeconômica para o sistema biomassa.

<b>Sistema Biomassa</b>	VPL (R\$)	TIR (%)	R <sub>b/c</sub>	Payback (anos)
Análise Financeira	<b>141.677,70</b>	<b>33,04</b>	<b>1,26</b>	<b>3,97</b>
Análise Socioeconômica	<b>207.801,52</b>	<b>48,27</b>	<b>1,46</b>	<b>2,54</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 8.3.3 Sistema Diesel

No sentido de compararmos os custos da energia, iremos considerar também os combustíveis fósseis. A comunidade já opera motores e geradores diesel no cotidiano, então levaremos em consideração também esse combustível. Como as receitas do sistema fotovoltaico e do sistema biomassa foram oriundas da economia do combustível fóssil (diesel), então para essa análise comparativa o sistema diesel não possui receita. Será então calculado apenas o custo de geração de energia sobre o enfoque financeiro e socioeconômico.

#### i) **Custo de Investimento:**

Em consulta a empresas nacionais fabricantes de grupos geradores diesel, encontramos o seguinte valor que atende às especificidades do projeto: Grupo gerador diesel = R\$ 44.000,00; Obras civis e casa de máquinas = R\$ 40.000,00; Custo total de investimento = R\$ 84.000,00.

#### ii) **Custo de Operação e Combustível:**

Para operação da agroindústria apenas com óleo diesel no regime de 12 horas diário, são necessários 48 litros/dia ou 17.520 litros/ano de diesel. Ao preço de R\$ 3,00/litro, temos o custo médio anual de diesel estimado em R\$ 52.560,00.

Esse regime de operação necessita de 3 operadores, nas mesmas condições do sistema biomassa (R\$ 35.460,00/ano). O custo total de operação e combustível é R\$ 88.020,00.

#### iii) **Custo de manutenção:**

Estimado em 10% do valor do capital investido na compra dos equipamentos, no caso o grupo gerador = R\$ 4.400,00.

O custo final de investimento de geração para o sistema diesel, é calculado através da soma dos itens (i), (ii) e (iii) obtidos acima. A Tabela 25 mostra esse resultado. O custo estimado de investimento de geração para o sistema diesel, incluindo investimento inicial, custos de operação, combustível e manutenção, é equivalente a R\$176.420,00.

Tabela 25 - Custo de investimento para o sistema diesel.

Sistema Diesel	Investimento	Operação e Combustível	Manutenção	TOTAL
<b>Custo de investimento de geração (R\$)</b>	<b>84.000,00</b>	<b>88.020,00</b>	<b>4.400,00</b>	<b>176.420,00</b>

Fonte: Adaptado de Muniz (2013).

### 8.3.4 Custos de Geração de Energia

Para o funcionamento da agroindústria, que representa uma carga de 20 kW em regime de operação de 12 horas/dia, temos uma demanda calculada de 240 kWh/dia de energia elétrica. Isso totaliza uma demanda anual de 87,6 MWh/ano de energia. Esse valor é base de cálculo para o custo da energia produzida por cada sistema estudado. Como foi levado em consideração o valor da vida útil do equipamento equivalente a 20 anos, temos um total de energia gerada ao longo desses 20 anos de 1.752 GWh.

#### 8.3.4.1 Custo de Energia do Sistema Fotovoltaico

Pela análise financeira, o custo de investimento ao final de 20 anos no sistema fotovoltaico é de R\$ 546.631,76. Para demanda energética calculada acima, resulta um custo de geração elétrica de R\$ 0,3120/kWh. Através da análise socioeconômica, para um custo de investimento ao final de 20 anos de R\$ 444.765,77 obtêm-se um custo de geração elétrica de R\$ 0,2539/kWh.

#### 8.3.4.2 Custo de Energia do Sistema Biomassa

Para o sistema biomassa, a análise financeira resulta em um custo de investimento ao final de 20 anos de R\$ 548.648,28. Sendo a demanda energética de 1.752 GWh, resulta em um custo de energia igual a R\$ 0,3132/kWh. A análise socioeconômica retorna um custo de energia de R\$ 0,2566/kWh para um custo de investimento ao final de 20 anos de R\$ 449.526,85.

#### 8.3.4.3 Custo de Energia do Sistema Diesel

Sob análise financeira, o custo de investimento ao final de 20 anos para o sistema diesel é calculado em R\$ 774.325,98. Com demanda energética de 1.752 GWh, obtêm-se um custo de energia igual a R\$ 0,4420/kWh. Para análise socioeconômica, os indicadores do sistema diesel ficam: investimento igual a R\$ 71.904,56 (FC=0,8134) e custo de operação, manutenção e

combustível igual a R\$ 75.507,14 (FC=0,817). Ao final de 20 anos, o custo de investimento fica R\$ 635.900,89. Com esses valores como indicadores de preço econômico, temos um custo de geração de energia de R\$ 0,3630/kWh.

### 8.3.5 Comparativo dos Sistemas

A Tabela 26 mostra os valores obtidos com o cálculo do custo de energia dos sistemas fotovoltaico, biomassa e diesel sob a ótica financeira e socioeconômica.

Tabela 26 - Custo de geração de energia.

Custo da energia (R\$/kWh)	Sistema Fotovoltaico	Sistema Biomassa	Sistema Diesel
Análise Financeira	<b>0,3120</b>	<b>0,3132</b>	<b>0,4420</b>
Análise Socioeconômica	<b>0,2539</b>	<b>0,2566</b>	<b>0,3630</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se no estudo do custo da energia produzida para cada sistema analisado, que o sistema biomassa é o mais competitivo, mesmo possuindo um custo de energia (R\$ 0,3132/kWh) um pouco maior que o sistema fotovoltaico (R\$ 0,3120/kWh), pois sua TIR de 32,25% é o dobro da TIR do sistema fotovoltaico (16,33%), enquanto que o sistema diesel possui um custo de energia mais elevado (R\$ 0,4420/kWh).

Apesar do VPL do sistema fotovoltaico ser maior do que o sistema biomassa, o que do ponto de vista de atrair investidores é mais relevante, seu *payback* é bem maior devido ao alto custo de investimento inicial da tecnologia solar, resultando em um tempo de retorno em torno de 11 anos para o sistema fotovoltaico, enquanto que o sistema biomassa resultou em um *payback* de 4 anos.

Com essa análise financeira realizada, demonstra-se a viabilidade econômica do sistema biomassa com base em gaseificação de caroço de açaí, para operação da agroindústria da comunidade de Jenipaúba. O sistema fotovoltaico também possui viabilidade socioeconômica como demonstrado, apesar de um retorno de investimento em prazo maior. O sistema eólico mostrou-se inviável tecnicamente falando, devido à baixa incidência de ventos e pouca disponibilidade de área de terra firme na região em estudo.

O sistema diesel mostrou-se possuir o maior custo de geração de energia entre os sistemas analisados, devido principalmente ao alto custo de obtenção do combustível fóssil na região, pois a dependência atual desse combustível é muito grande, o que eleva seu preço final ao consumidor.

A análise socioeconômica revela a diferença de valores que é pago em impostos e encargos tributários governamentais. Como o fator de correção abstrai desses encargos, temos para todos os sistemas analisados um *payback* reduzido, com aumento considerável no valor de VPL e da TIR, e uma melhoria na relação benefício-custo, evidenciando os altos custos de taxações tributárias que existem no país. Como exemplo no sistema biomassa, temos um *payback* inicial de 3,97 anos (financeiro) e de 2,54 anos para análise socioeconômica. A TIR do sistema biomassa varia de 33,07% para 48,27% o que torna o projeto muito mais atrativo do ponto de vista de investimentos, com um VPL variando de R\$ 141.677,70 para R\$ 207.801,52. Na Tabela 27 é apresentado os resultados financeiros e socioeconômicos, além dos custos de energia de cada sistema.

Tabela 27 - Comparativo financeiro e socioeconômico dos sistemas.

Sistema	Fotovoltaico		Biomassa		Diesel		
	Análise	Financeira	Socioeconômica	Financeira	Socioeconômica	Financ.	Socioec
VPL (R\$)		<b>143.694,22</b>	<b>212.562,60</b>	<b>141.677,70</b>	<b>207.801,52</b>	-----	
TIR (%)		<b>16,33</b>	<b>19,71</b>	<b>33,07</b>	<b>48,27</b>	-----	
R <sub>b/c</sub>		<b>1,26</b>	<b>1,48</b>	<b>1,26</b>	<b>1,46</b>	-----	
<i>Payback</i> (anos)		<b>10,61</b>	<b>7,92</b>	<b>3,97</b>	<b>2,54</b>	-----	
Custo da Energia (R\$/kWh)		<b>0,3132</b>	<b>0,2539</b>	<b>0,3143</b>	<b>0,2566</b>	<b>0,4420</b>	<b>0,3630</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

## **8.4 Estudo de Caso 2: Saneamento Ambiental com Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos**

Para dar um destino adequado aos resíduos sólidos urbanos, recuperar a área do lixão através de biorremediação, descontaminando o solo e o lençol freático que abastece a cidade, e concomitantemente reduzir a dependência fóssil do município, foi realizado o projeto básico de engenharia para o Município de São Sebastião da Boa Vista.

Diante dos resultados apresentados, é feito o levantamento de custo estimado de investimentos para o Projeto UAER-SSBV, devido ao fato de que variações sobre esses valores podem ocorrer no desenvolvimento do projeto executivo da usina. Para o cálculo mais preciso da taxa de retorno e custo médio da energia, é necessário o levantamento de outros parâmetros que o devido estudo não realizou, como o custo de coleta de resíduos, transporte e disposição final. Isso influi no resultado final, pois uma vez que esses parâmetros são despesas para a prefeitura, com a operação da usina tornam-se receitas, pois a cadeia produtiva do tratamento dos resíduos sólidos urbanos fica simplificada e os resíduos tornam-se matéria prima no processo. O que inicialmente é um problema, passa a ser solução, gerando ganhos econômicos e ambientais para o município.

### **8.4.1 Custos do Empreendimento**

No Projeto UAER-SSBV está contemplado os custos totais de implantação do empreendimento, que inclui as obras civis, os processos de licenciamento da tecnologia, equipamentos de pré-tratamento dos resíduos, reator de pirólise, sistema de filtragem dos gases, grupo gerador a gás de síntese, subestação para interligação à rede elétrica, linha de transmissão, transporte dos equipamentos até o local da instalação, comissionamentos e testes de operação. Também está incluso um programa de educação e saúde ambiental para a rede municipal de ensino, assim como a biorremediação do antigo lixão, com recuperação da área e descontaminação do solo para proteção do lençol freático que abastece o município.

#### **8.4.1.1 Custo Fixo e Variável de Operação e Manutenção**

Os custos de operação e manutenção (O&M) da UAER-SSBV podem ser divididos da seguinte forma:

- Custos Fixos: expresso em R\$/ano, composto pelos custos de operação e manutenção fixos da planta e incorrem independentemente do despacho da usina. Nestes custos são considerados: equipe residente na planta, manutenção de ferramentas, verificação de temperaturas, etc. Estima-se **custo de O&M Fixo de R\$ 55.200,00/ano**, sem considerar custos de mão de obra.

- Custos Variáveis: expressa em R\$/ano, esta parcela, composta pelos custos de operação, manutenção e consumíveis da planta, variando conforme a quantidade de resíduos tratados e a geração de energia elétrica. São exemplos de custos variáveis: óleo lubrificante, fornecimento e troca de peças consumíveis, água e aditivos, manutenção de periféricos e sistemas auxiliares etc.

Os custos variáveis são dependentes do tempo de operação da planta, isto é, quanto mais operar mais gastará em revisões do motor e partes móveis. O custo O&M Variável anual estimado é mostrado na Tabela 28, enquanto que a Tabela 29 resume o custo anual total com operação e manutenção.

Tabela 28 - Custo operação e manutenção variável anual.

ÍTEM	CUSTO (R\$/ANO)
Consumo de Eletricidade	9.000,00
Consumo de GLP na partida	1.200,00
Consumo de água	9.500,00
Manutenção - Planta pirólise	78.500,00
Manutenção - Grupos geradores	92.000,00
<b>Total</b>	<b>190.200,00</b>

Fonte: UAER-SSBV (2013).

Tabela 29 - Custos fixo e variável de O&amp;M anual.

Custo fixo (R\$/ano)	Custo variável (R\$/ano)	Custo total O&M (R\$/ano)
55.200,00	190.200,00	<b>245.400,00</b>

Fonte: UAER-SSBV (2013).

### 8.4.1.2 Custos de Implantação

Na estimativa do custo de implantação do empreendimento, está previsto no projeto básico de engenharia ações socioambientais através de um programa de educação e saúde ambiental. Também está contemplado a recuperação da área do lixão com a descontaminação do solo (biorremediação), conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 - Custo de implantação do empreendimento.

DESCRIÇÃO	CUSTO (R\$)
Ações Sócio Ambientais (programa de educação e saúde ambiental, capacitações e treinamento)	400.000,00
Biorremediação do lixão (recuperação e tratamento do solo contaminado)	500.000,00
Obras civis	310.000,00
Rasga sacos e separador magnético	370.000,00
Triturador de resíduos	420.000,00
Sistema de Alimentação de RDF	430.000,00
Reator de pirólise completo	7.800.000,00
Grupos geradores a gás	700.000,00
Subestação SE 13,8 kV, linha de transmissão e conexão ao sistema elétrico existente	280.000,00
Transporte e seguro	400.000,00
Montagem, comissionamento e testes	400.000,00
<b>Total</b>	<b>12.110.000,00</b>

Fonte: UAER-SSBV (2013).

### 8.4.2 Análise Financeira para o Sistema Pirólise

Um fato relevante para a análise de investimentos no sistema pirólise é a redução no consumo do óleo diesel pelo município, avaliado pelo projeto em 20% de economia (UAER-SSBV, 2013), reduzindo a dependência fóssil. Segundo Eletrobrás (2014), o consumo estimado de diesel para o município em 2015 é de 3.789.000 litros/ano. Tomando o custo médio do

combustível diesel cotado a R\$ 3,30/litro\*, temos uma despesa anual média de R\$ 12.503.700,00 com óleo diesel para geração elétrica no município. Levando em consideração a economia de 20% no consumo de diesel, equivale a uma despesa evitada de aproximadamente R\$ 2.500.000,00/ano no custo do combustível, que será utilizado como valor de receita nos cálculos.

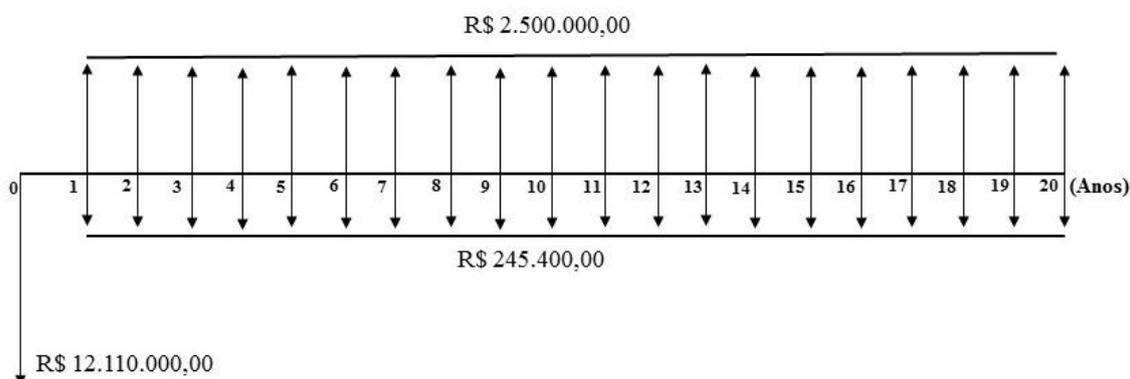
Temos então os seguintes valores de entrada:

- Investimento (I) = R\$ 12.110.000,00;
- Receitas ( $R_t$ ) = R\$ 2.500.000,00;
- Custos O&M ( $C_t$ ) = R\$ 245.400,00;
- Tempo de vida útil (t) = 20 anos;
- Taxa ( $i_m$ ) = 12%.

O fluxo de caixa para o sistema pirólise é mostrado na Figura 52. O valor presente líquido calculado resultou em **VPL=R\$ 4.730.607,60**. A taxa interna de retorno resultou em **TIR=17,93%**, ficando acima da TJLP de 12%, evidenciando a rentabilidade do sistema pirólise.

No cálculo da relação benefício-custo, obteve-se um benefício líquido de R\$ 18.673.609,06 com um custo líquido de R\$ 13.943.001,47 ao longo de 20 anos. Com isso a relação benefício-custo ficou em  **$R_{b/c}=1,34$**  atestando a viabilidade econômica do empreendimento. O *payback* obtido foi de **9,13 anos**, mostrando o retorno do investimento em menos de uma década. A Tabela 30 apresenta os valores calculados de forma sintética.

Figura 52 - Fluxo de caixa para o sistema pirólise.



Fonte: Elaborado pelo autor.

\* Cotação de preço feita em 25/01/2015 através do sítio: <http://www.precodoscombustiveis.com.br/> e em consulta ao Secretário de Meio Ambiente do Município. Esse valor é alto devido à localização do município, distante cerca de 12 horas de barco da capital Belém. Isso influi no preço final do diesel, pois o transporte do combustível até o posto acaba por consumir parte do próprio combustível.

Salienta-se que o retorno do investimento se dará em aproximadamente 9 anos, calculado apenas com receita da economia no combustível fóssil evitado, sem levar em consideração as demais receitas possíveis como a comercialização do biocarvão, a compensação da energia gerada e o tratamento e disposição final dos resíduos urbanos.

Tabela 31 - Análise financeira para o sistema pirólise.

	VPL (R\$)	TIR (%)	R <sub>b/c</sub>	Payback (anos)
<b>Sistema Pirólise</b>	<b>4.730.607,00</b>	<b>17,93</b>	<b>1,34</b>	<b>9,13</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 8.4.3 Análise Socioeconômica para o Sistema Pirólise

Com os fatores de conversão da Tabela 17, os indicadores financeiros do sistema pirólise, quando convertidos em preços econômicos, resultam em:

- Custo de investimento (I) = R\$ 9.850.274,00 (para FC=0,8134);
- Receitas (R<sub>t</sub>) = R\$ 2.380.500,00 (para FC=0,9522);
- Custos de operação e manutenção (C<sub>t</sub>) = R\$ 200.491,80 (para FC=0,817).

Com os dados de entrada acima, a análise socioeconômica do sistema pirólise resultou em um valor presente líquido (VPL) igual a R\$ 6.433.174,35. A taxa interna de retorno resultou em TIR=21,70% com uma relação benefício-custo de R<sub>b/c</sub>=1,57. O tempo de retorno do investimento calculado resultou em um *payback* de 6,9 anos.

A análise socioeconômica mostrou que para o sistema pirólise valem as conclusões dos sistemas fotovoltaico e biomassa, onde todos os indicadores financeiros melhoraram, tornando o projeto mais atrativo para investimentos. Isso decorre principalmente pelo fato da análise socioeconômica não trabalhar com os valores de mercado, onde parâmetros como tributação, bitributação, encargos financeiros, impostos entre outros não são levados em consideração.

### 8.4.4 Custo de Geração de Energia

Para cálculo do custo da energia elétrica gerada pelo sistema pirólise, foi considerado um regime de operação de 24 horas/dia, durante 355 dias/ano (com parada de 5 dias para manutenção da usina). Como a potência instalada da usina é de 200 kW, resulta em 1.704.000 kWh/ano (1,704 TWh/ano) de energia gerada.

Como o tempo de vida útil do equipamento foi assumido como 20 anos, temos um total de energia gerada de 34.080.000 kWh (34,080 TWh). Para um custo de investimento, operação

e manutenção acumulados ao longo de 20 anos de R\$ 13.943.001,47 temos o custo de geração de energia na análise financeira para o sistema pirólise equivalente a **R\$ 0,4091/kWh**.

Para o cálculo do custo de energia sobre a ótica da análise socioeconômica, temos um custo de investimento ao longo de 20 anos equivalente a R\$ 11.347.836,20. Isso resulta num custo de geração de energia para o sistema pirólise de **R\$ 0,3330/kWh**.

A Tabela 32 apresenta de forma sintetizada, para fins comparativos, os resultados finais das análises financeira e socioeconômica, assim como o custo da geração de energia do sistema pirólise.

Tabela 32 - Custo de geração de energia para o sistema pirólise.

<b>Sistema Pirólise</b>	<b>VPL (R\$)</b>	<b>TIR (%)</b>	<b>R<sub>b/c</sub></b>	<b>Payback (anos)</b>	<b>Custo da Energia (R\$/kWh)</b>
Análise Financeira	<b>4.730.607,00</b>	<b>17,93</b>	<b>1,34</b>	<b>9,13</b>	<b>0,4091</b>
Análise Socioeconômica	<b>6.433.174,35</b>	<b>21,70</b>	<b>1,57</b>	<b>6,9</b>	<b>0,3330</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 8.5 Considerações Finais

Os sistemas de energia com base em fontes renováveis e no aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos, como apresentados nos estudos de caso desse trabalho, mostraram-se viáveis do ponto de vista técnico, financeiro e socioeconômico. Os resultados encontrados, evidenciados nos indicadores calculados, apontam para projetos com alta rentabilidade, boa relação benefício-custo e tempo de retorno de investimentos em curto prazo.

No Estudo de Caso 1, ao realizar o levantamento do potencial energético da comunidade de Jenipauá, a energia da biomassa mostrou-se ser a mais promissora, tanto pela disponibilidade de recursos naturais (açai), quanto pela tecnologia social empregada para aproveitamento energético dessa biomassa (gaseificação).

A energia solar, apesar do grande potencial, ainda possui um custo alto de implantação em comunidades isoladas, devido ao alto investimento inicial e diante da dificuldade de logística de acesso às comunidades isoladas para manutenção e capacitação no uso dessa fonte. A energia eólica não apresenta índices satisfatórios para aplicações na região, devido às baixas incidências de ventos e falta de área de terra firme para instalação de parque eólico na região.

O uso da energia da biomassa agrega aos empreendimentos de energia benefícios sociais e ambientais. Entre os benefícios sociais que são inseridos na comunidade com o uso da energia

da biomassa, está o fato de que esse recurso energético natural promove o saneamento ambiental, uma vez que os resíduos da produção do açaí, que são descartados em várzeas, aterrados embaixo das casas ou lançados no rio, fermenta e apodrece, produzindo chorume que contribui na poluição do solo e da água, passam a ter um valor agregado que é o potencial energético dessa matéria prima.

O açaí, base alimentar da comunidade de Jenipauá, passa a ser valorizado não apenas como alimento, mas também como produtor de energia elétrica para uso da comunidade através do seu resíduo.

No Estudo de Caso 2, o objetivo foi solucionar os problemas energéticos e de saneamento ambiental do Município de São Sebastião da Boa Vista, visto que o município possui um lixão ao céu aberto de mais de 15 anos de existência e pertence ao sistema isolado, utilizando óleo diesel na geração elétrica para uma população de mais de 20 mil habitantes.

O lixão existente possui sinais de combustão espontânea do metano gerado pelo excesso de matéria orgânica. Localizado numa área distante menos de dois quilômetros do centro da cidade e próximo ao aeroporto (menos de 100 metros), prejudicando pouso e decolagens devido à presença de urubus e aves carniceiras. Está numa região cercada de nascentes de água, distante poucos metros do rio que banha a orla do município, possuindo uma área alagada ao lado de sua entrada (PGIRS-SSBV, 2012).

Segundo Chamon *et al.* (2013) e Glaser *et al.* (2009), temos três fontes básicas de receitas propiciadas com a usina: o tratamento e disposição final dos resíduos, a energia elétrica gerada e a produção de biocarvão, com grande valor de mercado.

No tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU), o poder público tem um gasto médio de R\$ 80,00/ton para tratamento e disposição final em aterros sanitários. É um valor elevado devido à própria manutenção custosa desse tipo de tecnologia. Para resíduos de serviço de saúde (RSS), esse valor é bem maior, podendo chegar a R\$ 800,00/ton de resíduos (ABRELPE, 2013).

Em relação a produção de energia e sua comercialização, temos hoje um amparo jurídico que vem evoluindo muito rapidamente no sentido de incentivar a chamada autoprodução de energia. A Resolução Normativa N° 482/2012 da ANEEL, regulamenta a microgeração (potência instalada  $\leq 100\text{kW}$ ) e minigeração (potência instalada  $> 100\text{kW}$  e  $\leq 1\text{ MW}$ ), estabelecendo condições para o acesso aos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2012b). A resolução prevê que a energia produzida poderá ser compensada do consumo do micro ou minigerador, através da cessão de forma gratuita dessa energia injetada na rede de distribuição, sendo posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica dessa

mesma unidade consumidora ou de outras unidades consumidoras de mesma titularidade do gerador, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

Nesse sentido podemos afirmar que a Resolução N° 482/2012 é considerada um marco para a descentralização da geração de energia no Brasil e que permite a conexão de capacidades de até 1MW na rede de distribuição, inclusive em baixa tensão. Essa condição proporciona uma alternativa para que algumas tecnologias para tratamento de resíduos com geração de energia tornem-se mais rentáveis, fortalecendo a viabilidade técnica e econômica de modelos que fazem o aproveitamento de resíduos sólidos como é o caso do projeto em estudo.

Finalizando, através desses dois exemplos, mostrou-se a viabilidade econômica das fontes renováveis de energia com base em biomassa e no aproveitamento energético de resíduos urbanos, em comparação com a geração convencional. Isso evidencia a vocação dos sistemas isolados para uso de geração distribuída através de microgeração com base em gaseificação para comunidades isoladas de baixa carga de consumo, e geração com pirólise lenta para municípios pertencentes aos sistemas isolados onde os aterros sanitários são inviáveis.

# Capítulo 9

## CONCLUSÃO

---

### 9.1 Contribuições

A Amazônia, com toda sua complexidade e a vastidão ambiental, necessita que seja colocado em primeiro lugar o conhecimento do seu contexto histórico e geográfico, incluído como elemento essencial no tratamento de qualquer política de planejamento voltada para a região. Além disso, os planejamentos devem obrigatoriamente serem realizados nos locais onde as ações serão aplicadas, para evitar erros efetuados no passado devido ao total desconhecimento da realidade local.

Um primeiro passo para o planejamento energético na Amazônia deve buscar a identificação de práticas tradicionais sustentáveis, que podem conduzir para auxiliar na concepção de uma estratégia econômica e durável. A percepção da destruição ambiental, pobreza e exclusão social causadas recentemente por grandes empreendimentos na região também ajuda na avaliação dos métodos que devem ser evitados.

O planejamento energético deve associar atividades produtivas ao Programa Luz para Todos, agregando valor às atividades extrativistas largamente praticadas na região. Simultaneamente, deve criar as condições para o uso produtivo da energia, o que também exige dos governos federal e estaduais a inserção dos conceitos de sustentabilidade aos programas de desenvolvimento econômico e social, com base na realidade amazônica e em respeito às comunidades tradicionais.

A identificação das cadeias produtivas adequadas à região e com potencial para reverter o quadro atual de pouca geração de renda e de postos de trabalho, é objetivo para ser alcançado por outros programas de governo, que de preferência devem ser implantados conjuntamente com a universalização dos serviços de energia. Mesmo porque a arrecadação correspondente

ao valor do serviço de energia tem relação direta com a sustentabilidade econômica dos novos sistemas.

Para não deixar tudo a cargo dos poderes públicos, uma opção é somente fornecer os recursos financeiros e deixar que a iniciativa privada encontre sozinha as soluções. Entretanto, para alcançar respostas equilibradas em todos os aspectos, a presença do Estado durante as primeiras fases é essencial, mesmo porque se tratam de populações com baixíssimos índices de escolaridade e, portanto, muito necessitadas de treinamento e acompanhamento. Inclusive, esse tipo de cuidado indica a formulação de projetos bem direcionados e monitorados, cujas informações obtidas terão qualidade suficiente para servir como parâmetro à replicação da ideia.

Mudanças culturais devem acontecer em conformidade ao desenvolvimento regional sustentável, uma vez que quando se considera a inserção de novas sistemáticas propostas que introduzem práticas com conteúdo tecnológico, o aprendizado da população deve vir acompanhado de metodologias de transformações culturais, programas de educação ambiental e cidadania.

Dentro dos estudos de caso apresentados, foram trabalhados os aspectos micro social (caso 1 – gaseificação em comunidade isolada) e macrosocial (caso 2 – pirólise em município do sistema isolado) de aplicação tecnológica em busca de soluções sustentáveis dentro do objeto de estudo da dissertação.

No primeiro caso, a realidade que vivem os moradores da comunidade estudada pode ser replicada para milhares de outras comunidades existentes na Amazônia, distantes muitas vezes centenas de quilômetros dos centros urbanos e desprovidas de benefícios básicos como tratamento de água, saneamento básico, energia elétrica, etc. Nessas localidades, os arranjos produtivos locais são inviabilizados pelo alto custo da energia gerada por fontes fósseis, e também o alto custo da energia de rede convencional, impedindo assim o pleno desenvolvimento humano e social.

Gerar energia no local, aproveitando os potenciais energéticos renováveis e promover o saneamento ambiental através do uso da biomassa residual para produção de energia é uma possibilidade viável para promoção da inclusão social e da melhoria de qualidade de vida. O exemplo utilizado, através dos sistemas de gaseificação de pequeno porte, mostrou ser competitivo com as demais fontes de energia, inclusive com um custo menor que a fonte fóssil.

No segundo caso, a solução proposta foi com base na problemática dos resíduos urbanos e também do alto custo de geração de energia dos sistemas isolados. Essa realidade é

compartilhada com outros municípios também pertencentes aos sistemas isolados na Região Norte, com limitações sociais e problemas ambientais equivalentes. A tecnologia proposta faz a aliança entre a energia e os resíduos, sendo possível de replicar em outras localidades, guardadas as devidas características de cada uma, sendo a mesma competitiva com outras formas de tratamento e disposição final de resíduos, com diversas entradas de receitas que tornam esse tipo de tecnologia atrativa ao investidor para o contexto brasileiro.

A necessidade agora é de políticas públicas compatíveis com a realidade da Amazônia, realizando um planejamento energético voltado para oferecer soluções sustentáveis para os sistemas isolados. O Programa Luz Para Todos pode ser implementado com base nas adaptações propostas e analisadas nesse trabalho, permitindo e facilitando a inclusão de atores não governamentais e sistemas comunitários de eletrificação rural com base nas tecnologias sociais existentes e na vocação natural da Amazônia para uso de seus recursos energéticos.

## 9.2 Lições aprendidas

Este estudo concluiu que o programa de eletrificação nacional existente não é suficiente para atingir as metas de universalização da energia na região, apesar dos esforços governamentais nesse sentido. A pesquisa propõe um novo caminho com base na geração descentralizada de energia com fontes renováveis utilizando biomassa residual para áreas remotas e resíduos urbanos para os municípios do sistema isolado, em complementariedade ao modelo empregado pelo Governo Federal que se baseia em expansão da rede convencional.

O desenvolvimento do trabalho mostrou como a iniciativa de eletrificação rural governamental mostrou ser eficaz na busca de acesso à eletricidade na sua primeira fase, caracterizada principalmente por três atributos. Em primeiro lugar, o reconhecimento do acesso à energia elétrica como um direito civil definiu a base para as metas de eletrificação rural no Brasil. Em segundo lugar, o reconhecimento do papel desempenhado pelo acesso à eletricidade na abordagem de alcançar metas de desenvolvimento humano, tem sido importante para a mobilização da vontade política e de definições de políticas públicas para promover a cobertura total a nível nacional e regional. Em terceiro lugar, uma abordagem de extensão da rede convencional tem sido fundamental para o alcance das metas de eletrificação nessa primeira fase.

Porém, o programa não foi igualmente bem-sucedido em todo o território nacional, principalmente na Região Norte. Quando analisado sobre a ótica populacional, o LPT é

considerado um caso de sucesso, pois levou eletricidade para praticamente 98% da população brasileira. No entanto, quando analisado sobre a ótica territorial, o LPT não pode ser enquadrado com êxito, pois quase 50% do território brasileiro não é atendido pelo programa. Em outras palavras, os 2% restantes da população brasileira sem acesso à eletrificação estão dispersos pelos 50% do território nacional que compreende a Amazônia.

Novos desafios surgiram quando a rede atingiu os seus limites físicos e econômicos, e o modelo tornou-se difícil e, em alguns momentos, inviável para as áreas remotas e os sistemas isolados. O estudo mostrou também como o LPT foi adaptado no decurso da sua execução, visando a cobertura total em áreas remotas da região amazônica. O governo brasileiro incorporou um novo conjunto de regras para a concepção, implementação e operação da geração de energia fora da rede. Em termos de estruturas institucionais, as regras incorporaram novos agentes no processo, abrindo oportunidades de investimento para a iniciativa privada e organizações não governamentais. Em termos de tecnologia, o novo esquema adicionou sistemas híbridos e fontes renováveis para os sistemas baseados em diesel tradicional. Em relação às estruturas de financiamento, o novo conjunto de regras inclui o capital, operação e subsídios ao consumo. Como resultado, o novo regime tem o potencial de aumentar o acesso à energia limpa, promover tecnologias de energia renovável e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> nas áreas remotas.

No entanto, questões permanecem em conexão com a operacionalização do novo regime proposto, porque não está claro como os novos agentes vão interagir com as comunidades, nem a forma como as tecnologias apropriadas serão entregues e operadas, para garantir não só o acesso à energia, mas também a provisão de eletricidade confiável.

Neste sentido, este estudo concluiu que as novas regras são importantes, mas não suficientes para atingir as metas de universalização da região amazônica. Para ajudar a superar as dificuldades e melhorar o planejamento energético na região amazônica, promovendo o desenvolvimento regional sustentável, o uso da geração de energia distribuída através de fontes renováveis de energia, com foco na energia da biomassa residual e no aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos é fundamental para o sucesso de programas de universalização à energia elétrica na Amazônia.

### 9.3 Trabalhos Futuros

Referente aos trabalhos futuros que possam contribuir para continuidade da pesquisa, a principal necessidade verificada é a consideração dos fatores ambientais para fins de cálculo do custo médio da energia produzida por cada sistema, fato esse que aprofundaria o presente trabalho e incluiria questões atuais como as alterações climáticas, sequestro de carbono e preservação ambiental. Parâmetros como pagamento por serviços ambientais devem ser incluídos em trabalhos decorrentes.

No estudo de caso 1, os impactos ambientais evitados pelo uso da tecnologia de gaseificação devem ser estimados num trabalho posterior, pois a energia da biomassa confere um novo paradigma no processo de ocupação da terra, valorizando o espaço físico e as culturas locais que fornecerão a matéria prima para o funcionamento do sistema. Também os impactos ambientais ocasionados por essa tecnologia devem ser estudados, como a produção de cinzas e alcatrão decorrentes da gaseificação de biomassa residual, com a correta destinação final dos mesmos.

No estudo de caso 2, uma melhoria da análise financeira e socioeconômica dos resultados deve ser realizada, levando em consideração os custos de transporte, tratamento e destinação final dos resíduos urbanos, assim como as receitas obtidas com a economia de energia e a comercialização do biocarvão obtido pelo processo de pirólise proposto. Também uma análise decorrente das reduções de emissão de carbono para atmosfera pelo uso da tecnologia em substituição parcial ao combustível fóssil deve ser considerada. Isso poderá causar um incremento na receita dos indicadores financeiros, propiciando um aumento dos valores calculados (VPL, TIR e  $R_{c/b}$ ) com redução do tempo de retorno do capital investido, o que pode tornar o sistema proposto mais atrativo aos investidores.

## REFERÊNCIAS

---

ABRELPE. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2013. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm)>.

ANDRADE, M. A. N. et al. **Biodigestores Rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental**. 4o. Encontro Internacional de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída. Campinas, SP: Unicamp. 2002.

ANEEL. **Resolução 350**, 1999. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res1999350.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2014.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3a. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008.

ANEEL. **Resolução Normativa 427**, 2011. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2011427.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2014.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 493**, 2012a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**, 2012b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2014.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=41&idPerfil=2>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

ANEEL. Banco de Informações de Geração. **Capacidade de Geração do Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=12&fase=3>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

ANGONESE, A. R. et al. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamentos dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.

BANCO MUNDIAL. Data. **The World Bank**, 2014. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC/countries?%20display=map>>. Acesso em: 3 dez. 2014.

BARBOSA, C. F. O. et al. **Situação da Geração Elétrica Através de Sistemas Híbridos no Estado do Pará e Perspectivas frente à Universalização da Energia Elétrica**. Belém, PA: GEDAE-UFPA, 2006.

BEN. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional Ano Base 2013**, 2014. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2014.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2015.

- BLANCO, C.; YVES, C.; MESQUITA, A. Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective. **Energy for sustainable development**, v. 12, p. 25-33, 2008.
- BORGES DA CUNHA, K.; WALTER, A.; REI, F. CDM implementation in Brazil's rural and isolated regions: The Amazonian case. **Climatic Change**, v. 84, p. 111–129.
- BRUNI, A. L. **Avaliação de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2008.
- BUARQUE, C. **Avaliação Econômica de Projetos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1984.
- BUARQUE, C.; OCHOA, H. J. **Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática**. 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991.
- CAMPOS, R. T.; DA ROZA, M. X. T.; PINHEIRO, J. C. V. Valoração socioeconômica da água em projetos públicos de irrigação. **Revista de Política Agrícola**, v. 3, n. Ano XXII, p. 73-87, Julho/Agosto/Setembro 2013.
- CAPRA, F. **As Conexões Ocultas**. São Paulo, SP: Pensamento-Cultrix, 2003.
- CASTILHOS JUNIOR, A. B. et al. **Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades (Coletânea de Trabalhos Técnicos)**. Florianópolis: Rima, ABES, 2002.
- CCEE. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**, 2012. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: 25 nov. 2014.
- CHAMON, R. C.; CARDOSO, R.; BARROS, C. F. **Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos - Introduzindo uma nova tecnologia para o cenário brasileiro: Pirólise Lenta a Tambor Rotativo**. Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente. Niterói: UFF. 2013.
- CHAUREY, A.; RANGANATHANA, M.; MOHANTYB, P. Electricity access for geographically disadvantaged rural communities – technology and policy insights. **Energy Policy**, v. 32, p. 1693–1705, 2004.
- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução no.316/2002**, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>>. Acesso em: 25 jan. 2015.
- CONTADOR, C. R. **Projetos Sociais: avaliação e prática**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- CONTI, L. **La pirolisi: il processo, I punti di forza, le opportunità**. Cagliari, Itália: Università degli Studi di Sassari, 2009.
- COSENZA, C. A. N. et al. **Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Produção de Energia: Análise de Legislação para Viabilidade Econômica de Soluções Conjuntas**. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende, RJ: FIRJAN. 2014.
- CUNHA, M. E. G. **Análise do setor de saneamento básico no aproveitamento energético de resíduos - o caso do Município de Campinas**. Tese de Doutorado. Campinas: UNICAMP. 2002.

- DA SILVA, M. V. M.; ROCHA, B. R. P. **Análise econômica de um gaseificador de 20 kW**. Encontro Internaconal de Energia no Meio Rural e Geração Descentralizada. Campinas: Unicamp. 2006.
- DE FIGUEIREDO, M. **Obstáculos e oportunidades para uma política de geração de energia com fontes alternativas - O programa de universalização e os sistemas isolados**. Dissertação de Mestrado. Salvador: UNIFACS. 2008.
- DE MELO, G. C. B. et al. **Avaliação do desempenho de um reator de pirólise no tratamento de uma amostra simulada de resíduos sólidos de serviço de saúde**. IX Seminário Nacional de Resíduos Sólidos. Palmas, TO: ABES. 2008.
- DE SÁ, A. L.; ZACK, M. B. . Z. J.; AMAMRANTE, O. A. C. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, DF: MME, 2001.
- DELÉAGE, J.; HÉMERY, D.; DEBEIR, J. **Uma História da Energia**. Brasília, DF: EdUnB, 1993.
- DI LASCIO, M.; BARRETO, E. **Energia e desenvolvimento sustentável para Amazônia rural Brasileira**. Brasília: Kaco Gráfica e Editora Ltda, 2009.
- DOMINGUES, P. C. M. **A interconexão elétrica dos sistemas isolados da Amazônia ao Sistema Interligado Nacional**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: UFSC. 2003.
- DUARTE, A. R. A proposal of electrical power supply to Brazilian Amazon remote communities. **Biomass and bioenergy**, v. 34, p. 1314-1320, 2010.
- DUVIGNEAUD, P. **A Síntese Ecológica**. Lisboa, Portugal: Instituto Piaget, 1980.
- ELETROBRÁS. **Plano Anual de Operação para os Sistemas Isolados 2015**. Grupo Técnico Operacional da Região Norte. Rio de Janeiro. 2014.
- EPE. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2007.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014**, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 26 jan. 2015.
- EUROPEAN COMMISSION. **Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration**. Integrated Pollution Prevention and Control. [S.l.]. 2006.
- FAAJ, A. et al. **Novas Tecnologias para os Vetores Modernos de Energia da Biomassa**. In: Uso da Biomassa para produção de Energia na Indústria Brasileira. Campinas: UNICAMP, 2005.
- FRANÇA, F. M. C.; HOLANDA JUNIOR, E. V.; SOUSA NETO, J. M. Análise da viabilidade financeira e econômica do modelo de exploração de ovinos e caprinos no Ceará por meio do sistema agrossilvipastoril. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, Abril/Junho 2011. 287-297. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/899797>>.

- GALINDO, M. F. G. **Universal Electricity Access in Remotes Areas - Building a pathway toward universalization in the Brazilian Amazon**. Tese de Doutorado. Stockholm, Sweden: KTH School of Industrial Engineering and Management. 2014.
- GLASER, B. et al. Biochar is Carbon Negative. **Nature Geoscience**, v. 2, n. 2, 2009.
- GOMÉZ, M. F.; SANCHES-PEREIRA, A.; SILVEIRA, S. Technology for social inclusion: the case of electricity access in the Brazilian Amazon. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and environment systems**, 1, 2013. 237-259.
- GOMÉZ, M. F.; SILVEIRA, S. Rural electrification of the Brazilian Amazon. **Achievements and lessons**, v. 38, n. 10, p. 6251-6260, 2010.
- GONÇALVES, C. K. **Pirólise e Combustão de Resíduos Plásticos**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da USP. 2007.
- GONZALES, W. A. **Soluções Energéticas para a Amazônia. Biodiesel e Óleo Vegetal in Natura**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.
- GRIMONI, J. A. B.; GALVÃO, L. C. R.; UDAETA, M. E. M. **Iniciação a conceitos de sistemas energéticos para o desenvolvimento limpo**. São Paulo: EDUSP, 2004.
- HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma abordagem tecnológica**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 2004.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatísticas**, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Acesso em: 02 dez. 2014.
- INESC. **Relatório do Projeto MEAPA – Metodologias Integradas para o Mapeamento de Energias Alternativas no Estado do Pará**. Instituto de Engenharia e Sistema de Computação. Porto, Portugal. 1999.
- KIRUBAKARAN, V. et al. Review on Gasification of Biomass. **Renewable and Sustainable Energy reviews**, v. 13, p. 179-186, 2009.
- LEFF, E. **Ecologia y Capital**. Coyoacán, México: Siglo XXI editores, 1994.
- MAIA, C. M. B. F.; MADARI, B. E. & N. E. Advances in Biochar Research in Brazil. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, 5, n. Special Issue 1, 2011. 53-58.
- MDS. Ministério de Desenvolvimento Social e Combate à Fome. **CadÚnico – Cadastro Único para Programas Sociais**, 2013. Disponível em: <[http://aplicacoes.mds.gov.br/sagirms/METRO/metro\\_ds.php?p\\_id=56](http://aplicacoes.mds.gov.br/sagirms/METRO/metro_ds.php?p_id=56)>. Acesso em: 06 maio 2014.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Lei 12305**, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 31 ago. 2014.
- MME. Programa Luz Para Todos. **Decreto 4873**, 2003. Disponível em: <<http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/legislacao.asp>>. Acesso em: 12 out. 2014.

MME. Programa Luz Para Todos. **Manual de Projetos Especiais**, 2009. Disponível em: <<http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Manual%20de%20Projetos%20Especiais.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2014.

MME. **Luz Para Todos, um marco histórico - 10 milhões de brasileiros saíram da escuridão**. Brasília: Barbarabela Editora Gráfica, 2010.

MME. Luz Para Todos. **Manual de Operacionalização LPT 2011 a 2014**, 2011. Disponível em: <<http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/documentos.asp>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

MME. Luz Para Todos. **Manual de Projetos Especiais 2011-2014**, 2013. Disponível em: <[http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Manual\\_de\\_Projetos\\_Especiais2011-2014.pdf](http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Manual_de_Projetos_Especiais2011-2014.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2014.

MONTEIRO, J. H. **Planejamento Energético para Pequenas Comunidades da Amazônia: Um Estudo de Caso na Comunidade Quilombola de Jenipaúba - Abaetetuba**. Dissertação de Mestrado. Belém: UFPA. 2008.

MUKUNDA, H. S.; DASAPPA, S.; SHRINIVASA, U. **Open-top wood gasifiers**. In: *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*. Washington: Island Press, 1993.

MUNIZ, R. N. **Pedagogia da Energia**. 6o. Encontro Internacional de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída. Campinas: Unicamp. 2006.

MUNIZ, R. N. **Gaseificação de Biomassa Residuária em Comunidades Isoladas na Amazônia: Estudo de Caso na Comunidade Quilombola de Jenipaúba no Estado do Pará**. Universidade Federal do Pará. Belém. 2013.

MUNIZ, R. N.; ESTRÁZULAS, M. **Energia Lúdica**. 5o. Encontro Internacional de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída. Campinas: Unicamp. 2004.

NETO, O. B. B. **Atendimento de Energia Elétrica Domiciliar Para Comunidades Isoladas de Baixa Potência do Interior do Estado do Pará Através de um Gaseificador de 1 kW**. Dissertação de Mestrado. Belém: UFPA. 2006.

OLADE; CEPAL; GTZ. **Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe**. Quito, Peru: OLADE, 1997.

ONS. Operador Nacional do Sistema. **Mapas do SIN**, 2014. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/mapas\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx)>. Acesso em: 25 nov. 2014.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Energy for a Sustainable Future**, 2010. Disponível em: <<http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/Documents/AGECC%20summary%20report%5B1%5D.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

PASTERNAK, A. D. Lawrence Livermore National Laboratory (USDOE). **Global Energy Futures and Human Development - A Framework for Analysis**, 2000. Disponível em: <<http://www.llnl.gov/tid/lof/documents/pdf/239193.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, SP: INPE, 2006.

PGIRS-SSBV. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Prefeitura Municipal de São Sebastião da Boa Vista - Secretaria Municipal de Meio Ambiente. São Sebastião da Boa Vista. 2012.

PINHO, J. T. et al. **Sistemas Híbridos Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PNUD. **Human Development Reports 2014**. New York: United Nations Development Programme, 2014.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei 10438**, 2002. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/L10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm)>. Acesso em: 02 dez. 2014.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. **Lei 12212**, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.htm)>.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei 12305**, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 27 mar. 2014.

REICHERT, F. R. **Relatório Tecnologias para Aproveitamento Energético dos Resíduos**. INNOVA Energias Renováveis. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

REZENDE, E. I. P. et al. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 426-433, 2011.

ROCHA, B. R. P.; SILVA, I. M. O.; PINHEIRO, E. C. L. **Mapeamento de Alternativas Energéticas na Ilha do Marajó**. Anais do 3o. Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas: Unicamp. 2000.

ROSA, V. H. S. **Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável**. Tese de Doutorado do Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 2007. p. 440.

SANTANA, A. C. **Elementos de Economia, Agronegócio e Desenvolvimento Local**. Belém: UFRA, 2005.

SEOP. **Projeto Promoção de Estudos de Viabilidade para Projeto, Construção e Instalação de Sistemas de Gaseificação de Biomassa na Comunidade Quilombola de Janipaúba em Abaetetuba**. Secretaria de Estado de Obras Públicas. Belém. 2007.

SILVA, S. B. **Dimensionamento Ótimo de Sistemas Híbridos, com geração fotovoltaica e célula a combustível, para atendimento a comunidades isoladas na Amazônia**. Tese de Doutorado. Brasília, DF: UnB. 2010.

SOLARGIS. **Guidelines for elaboration of regional Integration Plans for Decentralized Electricity Production with Renewable Energies**. The SOLARGIS Handbook: [s.n.], 1996.

SRIDHAR, G. et al. **Case Studies on Small Scale Biomass Gasifier Based Decentralized Energy Generation Systems**. Bangalore, Índia: Indian Institute of Science, 2005.

TA-LUFT. **Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift Zum Bundes - Immissionsschutzgesetz (TA-Luft)**. Technische Anleitung Zur Reinhaltung Der Luft. Germany. 1986.

UAER-SSBV. **Projeto Básico de Engenharia Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos de São Sebastião da Boa Vista**. Prefeitura Municipal de São Sebastião da Boa Vista - Secretaria Municipal de Meio Ambiente. São Sebastião da Boa Vista. 2013.

UNDP, FJP & IPEA. United Nations Development Programme. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**, 2013. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/consulta>>.

VASCONCELLOS, G. F.; VIDAL, J. W. B. **Poder dos Trópicos: Meditação sobre a Alienação Energética na Cultura Brasileira**. São Paulo: Sol e Chuva, 1998.

VIDAL, J. W. B. **O Esfacelamento da Nação**. 2ª edição. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 1994.

VIEIRA, G. E. G. et al. O processo de pirólise como alternativa para aproveitamento do potencial energético do lodo de esgoto - uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, 2011.