



UFSM

Dissertação de Mestrado

**A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O PANORAMA
BRASILEIRO: ONDE ENCONTRAR SOLUÇÕES
PARA A CRISE DE ENERGIA?**

Gustavo Chiapinotto da Silva

PPGEP

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O PANORAMA
BRASILEIRO: ONDE ENCONTRAR SOLUÇÕES
PARA A CRISE DE ENERGIA?**

por

Gustavo Chiapinotto da Silva

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Qualidade e Produtividade, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia de Produção.

PPGEP

Santa Maria, RS, Brasil

2005

S586e Silva, Gustavo Chiapinotto da
A eficiência energética e o panorama brasileiro :
onde encontrar soluções para a crise de energia ? /
Gustavo Chiapinotto da Silva. - Santa Maria, 2005.
xii, 94, [94] f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Maria, 2005

1. Energia Elétrica - Problemas – Crise de energia -
Brasil 2. Engenharia de Produção – Setor Elétrico
3. Energia – Potenciais Energéticos 4. Energia – Geração
de energia 5. Energia - Economia 5. Fontes de Energia
6. Energia - Meio Ambiente I. Título.

CDU 621.31 (81)

CDU 621.311 Geração de Energia Elétrica

Ficha catalográfica elaborada por
Cristiane Silva Santos CRB-10/1671
Biblioteca Central da UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O PANORAMA
BRASILEIRO: ONDE ENCONTRAR SOLUÇÕES
PARA A CRISE DE ENERGIA?**

Elaborada por
Gustavo Chiapinotto da Silva

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ronaldo Hoffmann
(Presidente/Orientador)

Felix Alberto Farret

Djalma Dias da Silveira

Santa Maria, 31 de maio de 2005.

**Todo conhecimento humano
é incerto, inexato e parcial.**
(Bertrand Russel)

Dedico esta dissertação à minha sempre amada esposa Anie, grande incentivadora do meu trabalho, aos meus “quatro” pais e “quatro” irmãos, que amo muito e a todos aqueles que têm interesse em tornar nosso mundo melhor, sem prejudicar o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

À minha amada esposa **Anie**, pelo amor, carinho, paciência, compreensão e incentivo durante todo o tempo.

Aos meus pais **Anderson** e **Maria Cecília**, e também aos meus “segundos pais” **Aldrovando** e **Elza**, pelo auxílio, apoio, carinho e “preocupação” que sempre me dispensaram.

Aos meus irmãos **Andressa** e **Tiago**, aos “manos do coração” **Nikelen** e **Luis Augusto** e também à minha prima **Ana Paula**, que muito contribuíram com sua ajuda, conhecimentos e apoio no desenrolar das atividades discentes.

Ao orientador **Ronaldo**, pela paciência, tranquilidade e sabedoria com que atendeu a todas as demandas que despontaram durante o trabalho.

Aos professores **Farret** e **Djalma**, por aceitarem participar desta etapa tão importante, dando a honra de avaliar este trabalho.

Enfim, para todas as pessoas que, direta ou indiretamente, auxiliaram, contribuíram, incentivaram e se interessaram por este trabalho, o meu mais profundo e sincero “muito obrigado!”.

Gustavo Chiapinotto da Silva.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 A motivação	1
1.2 Objetivo geral.....	3
1.3 Objetivos específicos	3
1.4 A estrutura do trabalho.....	3
2 O PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL.....	6
2.1 A mudança do conceito.....	6
2.2 O “susto energético” no Brasil.....	10
2.3 A visão geral das políticas energéticas no mundo	13
3 ENERGIA, AMBIENTE E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	29
3.1 A Energia Eólica	32
3.2 O Gás Natural	37
3.3 A Energia Solar	43
3.4 A Energia do Hidrogênio	47
3.5 Biomassa	50
3.6 Micro e Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	53
3.7 A Geração Distribuída	56
3.8 O Protocolo de Kyoto	59
4 O UNIVERSO DE ESTUDO	63

4.1 A delimitação setorial	63
4.2 A delimitação regional.....	68
4.3 A delimitação energético-ambiental	69
4.4 Os limites do estudo.....	69
5 RESULTADOS E CONCLUSÕES	70
5.1 Criação de Centros Municipais de Geração de Energia Elétrica	71
5.2 Utilização da biomassa como fonte de energia.....	74
5.3 Geração distribuída em postos de gás natural.....	79
5.4 Conclusões	83
5.5 Contribuições	85
5.6 Sugestões.....	87
6 REFERÊNCIAS	89
6.1 Bibliografia	89
6.2 Outras referências	93

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabelas

Tabela 1 – Pontuações dos setores econômicos e nota calculada.....	67
--	----

Quadros

Quadro 1 – Resumo das principais políticas energéticas observadas.....	27
Quadro 2 – Relação de parques eólicos instalados.....	35
Quadro 3 – Gases considerados como (<i>GreenHouse Gás</i> – <i>GHG</i>) no Protocolo de Kyoto.....	60
Quadro 4 – Resumo dos principais compromissos e metas firmados no Protocolo de Kyoto.....	61
Quadro 5 – Estrutura de indicadores de sustentabilidade.....	64
Quadro 6 – Definição dos pesos para composição das escalas qualitativas.....	65
Quadro 7 – Definição da escala qualitativa e atribuição de valores para ponderação.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de relação entre as variáveis globais mais focadas atualmente.	29
Figura 2 – Hierarquia das necessidades de Maslow.	30
Figura 3 – Foto de uma turbina de eixo horizontal.....	33
Figura 4 – Mapa dos estados americanos com aproveitamentos eólicos em escala industrial.....	34
Figura 5 - Mapa eólico do Rio Grande do Sul.....	36
Figura 6 – Gás associado (esquerda) e gás não associado (direita).....	39
Figura 7 – Mapas dos gasodutos Argentina-Brasil (circulado) e GASBOL.	40
Figura 8 – Diagrama do fluxo de energia em uma turbina a gás natural.	41
Figura 9 – Fluxo de energia de um motor a gás.	42
Figura 10 – Painéis solares de aquecimento do Wild River State Park.	46
Figura 11 – Representação básica de uma célula de combustível.	47
Figura 12 – Fluxo de energia de uma célula combustível a gás.	48
Figura 13 – Esquema da estrutura não-sustentável da vila de Longju, antes do projeto.....	49
Figura 14 – Esquema de estrutura sustentável da Vila de Longju, após o projeto.	50
Figura 15 – Principais rotas de conversão de biomassa em energia.	51
Figura 16 – Modelos básicos de biodigestores: domo fixo (esquerda) e domo flutuante (direita).....	52
Figura 17 – Foto de um biodigestor de domo flutuante em um complexo do projeto SULABH.	53

Figura 18 – Estrutura da oferta de eletricidade no Brasil e no Mundo.	54
Figura 19 – Pareto das notas dos setores econômicos. Em verde os setores escolhidos.	67
Figura 20 – Mapa indicativo da microrregião de Santa Maria – Rio Grande do Sul	68
Figura 21 – Esquema simplificado de um CMGEE com interligação ao sistema elétrico.	74
Figura 22 – Esquema simplificado de um CMGEE baseado em biomassa.	76
Figura 23 – Representação gráfica do paradigma atual nos postos de gás natural no Brasil.	81
Figura 24 – Representação gráfica da sugestão de aproveitamento em postos de gás natural.	82

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CMGEE	Centros Municipais de Geração de Energia Elétrica
CRGEE	Centros Regionais de Geração de Energia Elétrica
FMI	Fundo Monetário Internacional
GASBOL	Gasoduto Bolívia-Brasil
GHG	Greenhouse Gás
HTU	Hydrothermal Upgrading
LGED	Local Government Engineering Department
MCH	Micro Central Hidrelétrica
MME	Ministério de Minas e Energia do Brasil
MMUA	Minnesota Municipal Utilities Association
MSET	Mandatory Sustainable Energy Target
NEC	National Electricity Corporation
NFFO	Non-Fossil Fuel Obligation
NRCAN	Natural Resources of Canada
OEE	Office of Energy Efficiency
PAIR	Perda Auditiva Induzida pelo Ruído
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDE	Plano Decenal de Expansão
PIB	Produto Interno Bruto
PPP	Parcerias Público-Privadas
PROINFA	Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RO	Renewable Obligation
SEDA	Sustainable Energy Development Authority
UEE	Usina Eólio-Elétrica
UE	Usina Eólica
PE	Parque Eólico

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O PANORAMA BRASILEIRO: ONDE ENCONTRAR SOLUÇÕES PARA A CRISE DE ENERGIA?

Autor: Gustavo Chiapinotto da Silva

Orientador: Ronaldo Hoffmann

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 31 de maio de 2005.

Este trabalho apresenta sugestões de aproveitamentos de potenciais energéticos renováveis, adaptadas de aplicações já realizadas em outros países, a partir da revisão da literatura sobre a composição histórica do cenário energético nacional, culminando na crise energética de 2001 e sobre as políticas energéticas aplicadas em diversos países no mundo, buscando um padrão comum relacionado ao uso de fontes renováveis e às diretrizes do Protocolo de Kyoto. A análise, também na revisão da literatura, das fontes renováveis de energia mais usuais: eólica, solar, hidráulica, biomassa, gás natural e hidrogênio; o estudo das principais características e vantagens da geração distribuída e a observação das principais diretrizes estabelecidas no Protocolo de Kyoto, juntamente com os exemplos de aplicação citados, tornaram possível a concretização das sugestões propostas e a sua avaliação geral, no sentido de definir, tão claramente quanto possível, as principais vantagens, desvantagens e meios de mitigação dos problemas. A delimitação do estudo foi desenvolvida de modo a determinar corretamente quais as fontes renováveis de energia candidatas à aplicação, quais os setores econômicos que receberiam estes aproveitamentos e a região geográfica na qual o estudo se desenvolve. A apresentação das propostas discute as principais vantagens que levaram à sua escolha, suas desvantagens e meios de contorná-las, abrindo uma oportunidade para desenvolvimentos posteriores sobre o assunto, na busca de outras soluções para o problema energia/desenvolvimento/meio-ambiente.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O PANORAMA BRASILEIRO: ONDE ENCONTRAR SOLUÇÕES PARA A CRISE DE ENERGIA?

Author: da Silva, Gustavo Chiapinotto

Advisor: Hoffmann, Ronaldo

Local and date: Santa Maria, may 31, 2005.

This work presents renewable energetic potentials application proposals, adapted from another already implemented in other countries, from the literature review about the historical compound of the national energetic scenario, it is culminating on the 2001's energetic crisis and about energy policies applied on other countries, addressing a common pattern related to use of renewables and the Kyoto's directives. The analysis, also on literature review, on the most common renewables: wind, solar, hydraulics, biomass, natural gas and hydrogen; the study of main characteristics and advantages of distributed generation and the observation of the Kyoto's main directives established have promoted, jointly with application examples named, have made possible the consolidation of proposed suggestions and overall evaluation, in sense to define, as clear as possible, the main advantages, disadvantages and problems mitigation means. The study limitation was developed addressing the correct determination which renewable sources are candidate to use, which economic sectors would receive those applications and the geographical region on this study develops itself. The proposals presentation discusses the main advantages that lead the choice, the disadvantages and avoidance means, opening an opportunity to further developments on this subject, addressing solutions to the problem energy-development-ambient.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A motivação

A situação do sistema energético brasileiro tem sido muito discutida nestes últimos anos. Foram levantadas várias questões tratando basicamente dos investimentos em geração, tendo sido realizados ou não, da capacidade de geração *versus* potencial hidráulico disponível e do aumento de consumo em relação ao aumento de produção de energia.

O assunto culminou com a crise energética e o racionamento de energia em algumas regiões do país, mobilizando diversos órgãos e empresas na busca de uma explicação para o que aconteceu e também na tentativa de encontrar soluções para o problema. O governo brasileiro propôs algumas medidas para solucionar o déficit energético: aumento nas verbas e incentivos à pesquisa de outros meios de obtenção de energia, tais como geração eólica, aproveitamento solar, biodiesel e energia nuclear. Mas, até que ponto esta iniciativa é válida? Como será aplicado este conhecimento no dia-a-dia da população brasileira? Qual o impacto da implantação destas formas alternativas de geração de energia na produção industrial? Quais serão os efeitos no meio ambiente?

Vários países passaram por crises energéticas e tomaram suas medidas corretivas, boas ou ruins, com suas respectivas relações

eficiência/custo/ambiente, mais ou menos adequadas. Atualmente estão disponíveis no mercado diversas formas de geração de energia elétrica com características diferentes e adaptadas a realidades diferentes, sendo implantadas com sucesso em muitos países.

Considerando a atual reestruturação industrial e energética no mundo inteiro, as diretivas propostas pelo Protocolo de Kyoto e a política energética brasileira, torna-se importante o estudo de meios de minimização dos impactos ambientais causados pela emissão de gás carbônico na atmosfera. É certo que para eliminar o déficit de energia é preciso ou aumentar a capacidade de geração de energia elétrica ou reduzir seu consumo.

É sabido que para aumentar esta capacidade de geração são necessários grandes investimentos na construção de centrais elétricas ou expansão das existentes. A iniciativa emergencial do governo de criar um “Seguro Energia” para custear a construção de centrais termoeletricas apresenta-se como uma solução fácil e, por isso, tentadora. Porém deve-se atentar para outro fator de igual importância: o meio ambiente. É importante avaliar o impacto ambiental que essa medida pode provocar.

O que impede o Brasil de buscar uma solução para o déficit energético que apresente uma relação mais adequada entre os fatores sociais, econômicos, ambientais e tecnológicos? Em um país tão extenso e diverso como o Brasil o que impede a adoção de diferentes medidas, ajustadas para cada região e que possam suprir as reais necessidades de energia observadas até então?

São algumas questões que podem ainda não ter sido tratadas de maneira adequada ou, talvez, a preocupação com a solução imediata para a crise de energia tenha desviado a atenção sobre esses outros aspectos.

1.2 Objetivo geral

Identificar alternativas energéticas aplicáveis em três setores econômicos, que sejam mais adequadas à realidade econômica, social e ambiental de uma região, como solução para o aumento da capacidade energética e redução dos impactos ambientais e sociais.

1.3 Objetivos específicos

- Definir os critérios para delimitação do estudo, incluindo a forma de escolha dos setores econômicos e as fontes alternativas de energia consideradas no escopo deste trabalho.
- Identificar os setores econômicos de estudo mais suscetíveis à implantação de soluções, segundo os critérios estabelecidos.
- Apresentar as propostas de aproveitamentos energéticos, justificando sua aplicabilidade também pelos critérios definidos.

1.4 A estrutura do trabalho

O desenvolvimento do estudo se dá através de uma pesquisa bibliográfica básica, qualitativa e exploratória, visando atingir os objetivos propostos, pela busca de uma relação dinâmica entre as

aplicações existentes no mundo real e suas novas possibilidades, gerando conhecimentos úteis para uma possível aplicação prática no futuro.

O primeiro capítulo trata da primeira exploração do estudo, desenvolvendo os questionamentos motivadores da pesquisa, seus objetivos geral e específicos e apresentando a forma de desenvolvimento do trabalho.

O segundo capítulo traz uma seqüência histórica, desde as primeiras movimentações para a reforma no setor de energia, passando pelo período de seca no Brasil, o conseqüente déficit energético e as medidas emergenciais tomadas e apresentando, por fim, políticas energéticas desenvolvidas em diversos países no mundo.

O terceiro capítulo apresenta um breve referencial teórico sobre as principais fontes de energias renováveis, suas aplicações, geração distribuída e o Protocolo de Kyoto, assuntos importantes na seqüência do estudo.

O quarto capítulo delimita o escopo do trabalho, definindo os critérios delimitadores, as possibilidades consideradas e o método de escolha dos setores econômicos, indicando os escolhidos, a região considerada e as possibilidades energéticas passíveis de utilização. Todos os dados numéricos observados sofrem uma análise estatística simplificada, esta utilizada somente como apoio na tomada de decisões no decorrer do estudo.

O quinto capítulo propõe as soluções consideradas, sua discussão e argumentação de escolha, encerrando o trabalho com as

considerações finais do autor. Enquanto que o sexto e último capítulo apresenta as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

2 O PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

2.1 A mudança do conceito

Em 1999 o Chile passou por uma crise energética muito semelhante à ocorrida no Brasil em 2001: segundo Balbontín (1999), a escassez de chuvas no ano de 1998, a estratégia de empregar geração hidrelétrica em larga escala, a ausência de um plano emergencial em casos de falta de água nas usinas, a não operacionalização de centrais com ciclo combinado e as políticas pouco claras e indefinidas com relação à crise e à informação da população, foram algumas das causas desta crise que se instalou naquele ano.

A população chilena se deparou com o racionamento de energia, instituído pelo governo como medida emergencial para redução do déficit energético, enquanto não houvesse a restituição dos níveis hídricos e não se concretizasse o plano de implantação de novas centrais térmicas para geração de energia elétrica. O resultado do racionamento, como não podia ser diferente, foi uma redução no crescimento econômico e uma conseqüente redução do Produto Interno Bruto (PIB).

O impacto negativo foi ainda maior ao somarem-se os efeitos indiretos sobre a produção de diversos setores econômicos, devido aos prestadores de serviços manterem seus serviços numa economia onde tal setor representava 60% da produção nacional. Os consumidores

residenciais também sofreram muito com a crise, pois como a legislação que regulamentava o setor elétrico incluía apenas alguns aspectos do código de defesa do consumidor – o que tornou a sua inter-relação muito débil – a maior parcela de reajuste ficou com esse setor de consumo.

A distribuição de energia em nível de usuário apresentava várias falhas: a informação que se obrigava a dar ao consumidor era claramente insuficiente para que este pudesse tomar uma decisão adequada de consumo; a normalização técnica constituía-se um ente difuso e ineficaz; a reparação e a indenização de danos provocados por um suprimento ineficiente de energia não estavam adequadamente regulamentadas; e não existiam, à época, normas que garantissem o direito à educação para um consumo responsável de energia, entre outras falhas e inconsistências (Balbontín, 1999).

Outro episódio coincidente se deu na Califórnia e Estados vizinhos em 2001: para Conti, Terry & Schoeberlein (2001) a escassez de chuvas, a lentidão do setor elétrico na expansão da capacidade energética, o aumento da demanda de energia e a ausência de políticas contra o desperdício de energia, levaram a uma situação de blecautes freqüentes e aumento no preço da energia elétrica naquele ano. Toda aquela realidade levou aos efeitos já esperados: grandes perdas financeiras nos diversos setores econômicos.

O governo da Califórnia procurou minimizar o problema acelerando os trâmites para implantação de novas centrais geradoras, de grande e pequeno porte, incentivando as concessionárias de energia e outras empresas a construírem centrais hidrelétricas e termoeletricas

para suprir totalmente a demanda de energia nos três anos seguintes. Implantou também uma política de aumento de tarifa energética juntamente com um programa de conservação de energia, o que não isentou a população de sofrer cortes de energia (Conti, Terry & Schoeberlein, 2001).

Outros países, segundo o World Bank (2001), sofreram as conseqüências, da escassez de chuvas, na sua matriz energética e economia. A Tanzânia de 1994 a 2000 passou por três grandes secas e Uganda e Quênia, em 2000, tiveram problemas também pelas secas recorrentes. Todos eles sujeitaram-se a cortes nos fornecimentos de energia elétrica e foram obrigados a tomar uma atitude para reverter esta situação que se apresentava. Zekeyo *apud* Wamukonya (2002) traz mais um caso: a *National Electricity Corporation* (NEC), de Camarões, praticou frequentemente cortes de energia entre 1997 e 1999, em várias partes do País devido ao baixo nível de água de seus reservatórios.

Esses episódios foram semelhantes ao acontecido em 2001 no Brasil. Alguns detalhes coincidentes podem ser percebidos em todas as situações: o predomínio de centrais hidrelétricas com sua conseqüente dependência climática, a necessidade de medidas drásticas, como o racionamento, para reduzir o consumo e tentar minimizar o déficit energético, o estabelecimento de um plano de implantação de centrais de geração térmica e os efeitos negativos sobre vários setores econômicos.

Porém, o movimento de reforma do setor energético cresceu e se espalhou muito nos últimos 15 anos, período no qual mais de 30

países iniciaram seus processos de reforma (Besant-Jones & Tenenbaum *apud* Wamukonya, 2002). Não somente por problemas estruturais e de dependência climática, mas também pela visão ideal de um regime competitivo: onde as forças de mercado suplantariam leis antigas e instrumentos reguladores desnecessários e obsoletos, como acreditava Norlander (2001).

Esta idéia de que a regulação do mercado através da livre competição proporcionaria desenvolvimento econômico foi defendida já em 1994 pelo Fundo Monetário Internacional (FMI) e pelo Banco Mundial, que “uniformizaram” a estrutura da reforma energética com a adoção de um modelo de sistema energético baseado em empresas privadas para cada programa de assistência estrutural que desenvolvessem pelo mundo, como percebeu Palast *apud* Wamukonya (2002).

A consolidação das reformas pelos diversos países do mundo não era a ação principal, mas foi inserida como uma parte de um programa de desenvolvimento estrutural mais amplo, que visava à eliminação do paradigma de “desenvolvimento estatal” para dar lugar ao desenvolvimento de economias abertas e competitivas (Wamukonya, 2002). Ou seja, um movimento em favor da globalização e com vistas a reduzir a participação dos governos em alguns mercados de interesse – o mercado energético entre esses – e incentivar o desenvolvimento econômico com base na lógica observada por Schulpen & Gibbon *apud* Wamukonya (2002):

- A redução da pobreza é o principal objetivo do desenvolvimento;

- A linha central do desenvolvimento é o crescimento econômico;
- O desenvolvimento econômico é maior e mais rápido através da iniciativa privada;
- O governo tem a responsabilidade de desenvolver o setor privado e garantir que este crescimento contribua para a redução da pobreza.

Desta forma, no Brasil e em vários países em desenvolvimento a reforma do setor energético foi sendo realizada seguindo a política iniciada pelo Banco Mundial e FMI a partir de 1994, adequando-se às estruturas já estabelecidas nos países mais desenvolvidos.

A partir daí uma sucessão de fatos criou no Brasil um cenário propício a um colapso em 2001, forçando o governo e órgãos reguladores a tomar medidas rápidas para tentar minimizar as conseqüências do fenômeno – chamado na época de “apagão”. Mas como se desenrolou este fenômeno?

2.2 O “susto energético” no Brasil

De acordo com a CASHEE (2001) o Brasil já estava sujeito a riscos, devido à debilidade do seu sistema elétrico, desde o início do ano 2000. Falhas na comunicação entre os órgãos ligados ao setor energético e o governo teriam induzido não-especialistas do próprio governo a não dar a devida importância aos fatos no momento, agravando assim a situação no ano seguinte.

O aumento de consumo, por si só, não foi responsável pelo déficit, pois de acordo com dados do Plano Decenal de Expansão (PDE) 1998 a 2007, a diferença entre o crescimento previsto e o real no período 1998-2001 foi inferior a 1%. O problema estava na probabilidade de déficit energético, que poderia ser estimada – em meados de 1999 – em torno de 14% para o ano 2000, valor muito superior aos 5% tradicionalmente adotados pelo setor elétrico. Uma vulnerabilidade que poderia levar o Ministério de Minas e Energia (MME) a desencadear medidas preventivas já em 1999 (CASHEE, 2001).

As condições hídricas adversas tiveram somente o efeito de precipitar a crise devido ao desequilíbrio já existente entre oferta e demanda de energia. Desequilíbrio este provocado pelos atrasos na entrada em operação de obras de geração e transmissão programadas e a não construção de obras previstas no PDE 98-07, levando a um efeito acumulado de 22.000 GWh de energia não disponibilizada, o que poderia elevar o nível de armazenamento das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste de 32% para 47% (CASHEE, 2001).

O Governo Brasileiro decidiu tomar outras medidas além do racionamento: Geração Emergencial, a implantação do Programa Emergencial de Termoelétricas e o Programa de Leilão de Capacidade, o primeiro realizado pela Eletrobrás através de uma série de gestões para identificar e contratar geração emergencial. O segundo, com esforços concentrados em cerca de 20 projetos, para entrada antecipada de ciclo simples em algumas usinas, com a Petrobrás – através do gás natural – sendo vista como solução para o

andamento do programa. O terceiro – através da Resolução n.º 560 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – estabelecia critérios e diretrizes para um processo competitivo de seleção de ofertas de potência adicional de 2500MW levando o MME a promover a compra emergencial desta capacidade térmica, repassando o custo aos consumidores através do Encargo de Serviços do Sistema.

Nenhuma das medidas foi efetivamente implantada por impasses entre a ANEEL e a Eletrobrás, em relação à Geração Emergencial, pois elas não quiseram arcar com os custos desta compra emergencial. Houve impasse também no Programa Emergencial de Termoelétricas, entre ANEEL, Petrobrás, MME e Ministério da Fazenda, com relação ao repasse do ajuste cambial do valor do gás natural, estabelecido em dólar, para os consumidores, já que a tarifa de energia no setor elétrico só pode ser reajustada anualmente. Por fim, o Leilão de Capacidades não foi executado porque estava paralisado devido a impasses contratuais de Angra II (CASHEE, 2001).

A situação energética do país trouxe muita apreensão a diversos setores econômicos, provocando uma desaceleração geral na economia do país, aumentando tarifas e custos e, conseqüentemente, reduzindo investimentos pelo aumento do chamado “Risco Brasil” para os investidores externos. Com o racionamento de energia em 2001 verificou-se também que a redução no consumo de energia trouxe redução do crescimento econômico em diversos setores, acarretando também o agravamento de outro problema social, o desemprego.

Frente a esta situação surge uma questão importante: Como minimizar a probabilidade de um novo acontecimento como este? E, em consequência disso, como conjugar medidas para evitar o problema com o desenvolvimento econômico, social e ambiental?

2.3 A visão geral das políticas energéticas no mundo

Na Europa o primeiro passo para ratificar o Protocolo de Kyoto foi dado com o estabelecimento de uma política única para os países da União Europeia, com as diretrizes básicas de elevar a participação das fontes renováveis de energia de 6%, em 1997, para 12%, em 2012, e também melhorar a eficiência do seu sistema elétrico. Esta política de conservação de energia surgiu com o objetivo de formar uma instituição ou organismo encarregado de coordenar e motivar a sociedade para desenvolver ações de eficiência energética, de forma descentralizada, em diversos países. Numa segunda etapa foi adotada uma nova forma de organização do setor de energia. Um conjunto de medidas foi elaborado para promover a produção independente de energia, incluindo novas formas de geração de energia como, por exemplo: energia solar, eólica e PCH (THERMIE, 1996 apud Martins, 1999).

Deste cenário presente na Europa pode-se observar que, numa análise a meio termo do plano traçado para 2012, há alguns pontos principais que devem ser tratados com maior atenção para que as metas propostas sejam atingidas ao final do período (Blok, 2005):

- Maior continuidade nas políticas energéticas individuais, com o desenvolvimento ou a manutenção de incentivos – como

isenção de impostos e/ou subsídios – de forma a favorecer a utilização de fontes de energia renováveis frente às fontes convencionais, economicamente mais competitivas.

- Desenvolvimento de um sistema de cotas de energia, obrigando a implantação de fontes renováveis em um percentual de participação mínimo na malha energética.
- Estimular o mercado voluntário de energias renováveis, disponibilizando recursos financeiros sob forma de financiamentos com pagamentos em longo prazo, podendo estimular também o desenvolvimento econômico localizado.
- Considerar as fontes de energia baseadas em biomassa no foco de ação dos governos e não simplesmente energia solar e eólica. Trabalhando na geração de calor e combustíveis como foco imediato para biomassa, há possibilidade de melhorar os índices de utilização racional da energia, aproximando assim o estágio energético atual do objetivo de aumento de eficiência energética almejado.

Na Austrália, o governo federal instituiu uma política que, em linhas gerais, obriga a participação de fontes de energia renováveis na rede energética em um percentual de 2% até 2010. Um grupo formado por diversas associações ligadas ao ramo de energia alternativa e a *Sustainable Energy Development Authority* (SEDA), um órgão do governo direcionado às energias renováveis, elaborou um relatório com 26 recomendações para o desenvolvimento energético sustentável do país e o atendimento das diretrizes traçadas no protocolo de Kyoto.

A ROUNDTABLE (2002) acredita que a *Mandatory Sustainable Energy Target* (MSET) é uma boa política de desenvolvimento para energias renováveis, porém acredita também que o governo australiano foi mais cauteloso que o necessário na definição da MSET por dois motivos principais: sua evolução lenta em comparação com outros países que aderiram ao protocolo de Kyoto e já tomaram suas medidas para atender suas propostas e pela própria avaliação da MSET, que sinaliza, a meio-termo da meta planejada, um aumento de somente 0,5% na participação das fontes renováveis na matriz energética australiana, em vez dos 2% planejados até 2010.

Para contornar esta situação, a ROUNDTABLE (2002) sugere seis táticas de atuação do governo:

- 1) Reduzir a emissão de gases na atmosfera através da introdução, em etapas, de metas de consumo de energia;
- 2) Melhorar a cadeia de planejamento e processos de aprovação de projetos para energia sustentável, através das várias jurisdições australianas;
- 3) Promover incentivos econômicos apropriados para projetos de energia renovável;
- 4) Modificar o Código Nacional de Eletricidade para adaptá-lo à nova visão da energia sustentável;
- 5) Ratificar as propostas do protocolo de Kyoto;
- 6) Aumentar a conscientização pública sobre energia sustentável.

Todas têm grande importância num objetivo geral de desenvolvimento sustentável e conseqüente redução de emissões gasosas na atmosfera. Pode-se perceber que as táticas 1 e 2 estão fortemente ligadas à estrutura do sistema energético australiano – primeiro ponto a ser modificado – em seguida, as táticas 3 e 4 se ocupam de criar políticas direcionadas a incentivar o desenvolvimento sustentável, consolidando assim um cenário mais apropriado para a 5ª tática, que traz modificações efetivas baseadas no protocolo de Kyoto – como, por exemplo, a implantação das cotas de carbono – e, por fim, reforçar o desenvolvimento sustentável através de políticas de conscientização e conformação da opinião pública à idéia da necessidade ambiental de crescimento energético sustentável, realizadas em 6, última tática da seqüência proposta.

No Reino Unido, por volta de 1990, as políticas de utilização de energia renovável iniciaram-se com a *Non-Fossil Fuel Obligation* (NFFO), voltada para fomentar o desenvolvimento das tecnologias nucleares e subsidiada pelo aumento das tarifas de energia fóssil. Esta iniciativa abriu uma porta para as energias renováveis e também para a tecnologia nuclear, sob a alcunha “não-fóssil”.

Durante o período 90-98 as tecnologias renováveis não obtiveram grande crescimento pela estrutura altamente competitiva da NFFO e, após sucessivas revisões das regras da própria NFFO, o Governo do Reino Unido percebeu este desenvolvimento mais lento que o esperado inicialmente, tomando assim suas medidas.

Surge em 2002 a *Renewable Obligation* (RO) que obrigava fornecedores de energia a comprar e fornecer certa quantidade de

energia elétrica gerada por fontes renováveis. Assim, os fornecedores tornam-se obrigados a fornecer anualmente 3% do total de energia ofertado provindo de fontes renováveis e trazendo algumas vantagens, tais como a diversidade de oferta de energia e a redução do custo de energia em comparação com a NFFO (Mitchell & Connor, 2004).

No Canadá, com a crise energética na década de 70, o governo deu início a uma grande quantidade de programas que visavam racionalizar os gastos públicos, mas que basearam inúmeras técnicas de conservação de energia. Os novos programas buscam a eficiência energética nos setores de uso final da energia — edificações, indústria, transportes, etc. — em conjunto com novas formas de geração de energia, aliando-se também à política nacional de combate ao efeito estufa (Martins, 1999).

O Governo Canadense desenvolveu políticas fortemente voltadas ao desenvolvimento sustentável com uma visão competitiva de mercado. Guiada pela necessidade de assegurar o crescimento contínuo de um mercado energético competitivo e inovador, pelo fornecimento de energia segura e confiável para todos e pela garantia da produção e uso da energia respeitando o meio ambiente, a política energética no Canadá sofre revisões periódicas pelo *Natural Resources of Canada* (NRCAN) — órgão do governo responsável pelas políticas energéticas — com base nas avaliações do *Office of Energy Efficiency* (OEE).

As principais medidas políticas utilizadas pelo OEE para favorecer o aumento da eficiência do uso final da energia são (IEA, 2000):

- Liderança do Governo através da iniciativa de redução das emissões em sua própria estrutura;
- Programas informativos para alertar os consumidores para os benefícios da eficiência energética e aumentar a conscientização, aceitação e adoção de novas práticas e tecnologias eficientes;
- Programas voluntários para dar suporte a consumidores na melhoria de sua eficiência energética;
- Incentivos financeiros diretos para encorajar investimentos em novas construções energeticamente eficientes e em reformas voltadas à maior eficiência de energia e;
- Regulamentos para implantar padrões mínimos de desempenho de modo a eliminar produtos de baixa eficiência do mercado.

Desta forma, o Canadá obteve um crescimento do consumo de energia, entre 1990 e 2001, de 14% em vez do crescimento de 25% que poderia ter acontecido sem as melhorias na eficiência energética em todo o país. Também havia um compromisso do governo em reduzir até 2005 as emissões de gases na atmosfera em 20% no mínimo e com o forte trabalho na eficiência energética, já em 2002 as emissões haviam reduzido em 24% (OEE, 2003).

Na Ásia, especificamente no Japão, a energia elétrica originada da energia solar tem sido largamente utilizada, num índice crescente deste o ano de 1992. Seguido pela Europa, o governo japonês programa políticas de utilização de energia solar devido ao baixo

impacto ambiental, aumento da eficiência dos painéis fotovoltaicos e redução contínua dos custos de fabricação dos mesmos (Oliveira & Zilles, 2001).

Aproximadamente 90% das emissões de gases do Japão são provenientes do setor energético, devido ao fato da base energética do Japão ainda estar situada no uso do petróleo e carvão para geração de energia. Atualmente as políticas energéticas estão voltadas para atender aos compromissos firmados no protocolo de Kyoto e há um grande esforço por parte do Governo Japonês para atingir os objetivos definidos.

As políticas de desenvolvimento de fontes de energia alternativas são direcionadas para, em primeiro lugar, reduzir a dependência da matriz energética das fontes baseadas em óleo e carvão; em segundo lugar fomentar a ampliação da base energética de gás e nuclear e, por fim, desenvolver a tecnologia e o uso de fontes renováveis, tais como energia solar, eólica e biomassa.

A maior parte do empenho em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia está aplicada na redução de custos e melhoria de desempenho de sistemas fotovoltaicos nas seguintes áreas: células e módulos solares avançados; tecnologia de sistemas fotovoltaicos para utilização em massa; tecnologias solares inovadoras e tecnologias avançadas para fabricação de sistemas solares para geração de energia (IEA, 2003).

Durante a primeira crise do petróleo, por volta de 1973, Suécia e Finlândia decidiram mudar suas políticas energéticas na busca de

alternativas mais independentes do combustível fóssil. Inicialmente, a alternativa de energia nuclear foi a mais atrativa e conquistou a maioria envolvida no assunto, tanto pela alternativa óbvia ao petróleo – exceto nos setores de transportes – quanto pelo benefício de evitar maior exploração dos rios do norte da Suécia.

Em seguida a política energética voltou-se para as fontes renováveis, em especial energia eólica e biomassa, na implantação do primeiro *Energy Programme* em 1975 na Suécia e 1979 na Finlândia e que estimulava a pesquisa e desenvolvimento destas fontes renováveis. A energia eólica obteve um grande crescimento através de investimentos e subsídios para produção a partir de 1991 aproveitando oportunamente a “maré renovável” iniciada anteriormente.

A reforma do setor energético em ambos os países seguiu os mesmos passos dos demais países já citados, tendo a abertura do mercado energético se dado por volta de 1996 a 1998. Com a nova estrutura competitiva do mercado, as políticas energéticas tiveram de ser adaptadas para garantir a sobrevivência das fontes renováveis, daí surgindo um sistema de “cotas” para promover a implantação e utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

Em paralelo a este cenário, desde os idos de 70, programas de pesquisa e desenvolvimento voltados à melhoria da eficiência energética nos setores de consumo foram um fator chave nas políticas energéticas nos dois países até a atualidade (Ericsson *et alii*, 2004).

Taiwan apresenta uma realidade diferente: importando mais de 95% dos combustíveis utilizados para geração de energia e

experimentando um grande crescimento industrial e econômico nas últimas décadas, sofre com a grande carga ambiental e a dependência energética atreladas a este crescimento.

Pressionado pelo movimento dos países em desenvolvimento na elaboração de políticas orientadas a ratificar o Protocolo de Kyoto, o Governo de Taiwan estabeleceu algumas políticas no sentido de mitigar as emissões de gases (dióxido de carbono e metano) e promover o desenvolvimento econômico e sustentável. Os principais aspectos da política energética, em linhas gerais, são: incluir a produção de energia limpa, mitigação das emissões gasosas e reforço da pesquisa e desenvolvimento sobre energia renovável.

Na busca de promover o uso de energias renováveis e manter o desenvolvimento sustentável da economia, energia e ambiente o governo de Taiwan adotou o *Renewable Energy Development Plan* em 2002 que, entre diversas ações, destaca o custo fixado por lei de 0,06 US\$/kWh para quem consome eletricidade de fontes renováveis e subsídios para reduzir os custos de produção e utilização de fontes renováveis (Tsai *et alii*, 2004).

Sem uma política governamental definida, o Paquistão atualmente sofre com a falta de energia. Os recursos energéticos convencionais são limitados e a produção não consegue acompanhar o ritmo de crescimento da demanda. Atualmente, dos 100% de necessidade energética no país, 60% é atendida por combustíveis fósseis, 36% por hidrelétricas e 1% por usinas nucleares, com um *déficit* de 3%. O maior responsável por emissões de carbono na atmosfera é o setor energético, o que gera um enorme potencial de

desenvolvimento de medidas mitigadoras e a grande diversidade de terreno e condições climáticas propicia um potencial maior para a implantação de fontes renováveis, em especial solar, eólica e hidráulica. (Muneer *et alii*, 2005).

O Chile possui seu mercado energético predominantemente ocupado por empresas privadas e, após 1990, direcionou suas políticas para diversificar o *mix* energético de uma realidade predominantemente hídrica – em grande parte devido aos problemas já comentados – para um sistema com grande participação de gás natural e assim manter suas emissões de carbono na atmosfera em níveis relativamente baixos.

A Comissão de Energia Chilena estabeleceu algumas diretrizes específicas para promover o desenvolvimento sustentável do setor de energia:

- As políticas devem ser guiadas para a promoção da eficiência energética;
- O desenvolvimento energético deve garantir a proteção do ambiente;
- Investimentos privados devem compor a fonte principal de capital para a expansão da matriz energética e
- Igualdade social: redução da pobreza através da geração de empregos na expansão energética e fornecimento de serviços básicos de energia e também promover a eletrificação rural utilizando fontes renováveis em áreas isoladas.

Com estas orientações para buscar a redução das ameaças ambientais espera-se o uso crescente de combustíveis alternativos – e renováveis – no setor energético, devido ao fato, também, de que há um aumento contínuo do volume de importação de gás natural da Argentina para suprir as necessidades energéticas do país (APEREC, 2003).

A Índia – na realidade de um país em desenvolvimento – mostra uma visão diferente do setor energético: o principal objetivo para a próxima década é elevar a viabilidade financeira do setor energético através de uma reforma estrutural do setor. Isto coloca em choque dois contextos: a reforma do setor energético em si e a iniciativa de aumentar o fornecimento de energia para todos os vilarejos do país.

Estes contextos podem parecer divergentes, tanto pela necessidade urgente de melhorar o desempenho econômico do sistema elétrico, quanto pela enorme população pobre espalhada pelo país. Para buscar resolver esta questão o governo, através do Ministério da Energia, lançou a *Rural Electricity Supply Technology Mission*, que visa acelerar a eletrificação rural pela ampliação do sistema elétrico e pela implantação da geração distribuída e encorajar o gerenciamento descentralizado, através de cooperativas e organizações não governamentais (Chaurey *et alii*, 2004).

Na Turquia o desenvolvimento energético é gerido e financiado pelo governo desde a sua independência, em 1923. Nos últimos anos uma busca pela reforma do setor energético, para adequar-se aos demais países da União Européia, foi colocada em marcha acelerada.

A Constituição turca não possuía, até então, nenhuma lei que implantasse a idéia de privatização do setor de energia.

Com esse movimento para maior liberalização do setor e aumento da sua competitividade, o governo turco implantou uma série de políticas energética que objetivam:

- Atender à demanda energética utilizando recursos energéticos nacionais com maior prioridade;
- Desenvolver as fontes de energia existentes e ao mesmo tempo acelerar a penetração de fontes renováveis e novas;
- Diversificar as fontes de energia e evitar a dependência de importações de uma única fonte ou país;
- Encorajar os investimentos do setor privado e acelerar a capacidade de construção e de privatização na indústria energética;
- Aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia;
- Aumentar a eficiência energética das transformações e do uso final da energia;
- Proteger o ambiente e a saúde pública e
- Utilizar a posição geopolítica da Turquia para estabelecer o país como área chave de trânsito do comércio de óleo e gás.

As políticas de energia renovável na Turquia estão sendo melhoradas. O Ministério de Energia e Recursos Naturais está preparando um projeto de lei que permite certos tipos de energia renovável – em especial geotérmica, eólica, solar, marés e biogás –

serem implantados e explorados por entidades privadas e prevendo incentivos para esta exploração. Outra medida foi facilitar a tomada de capital para financiar a pesquisa e desenvolvimento de novas fontes de energia e para melhoria tecnológica das existentes. Embora os valores disponíveis não sejam muito altos, esta iniciativa não é avaliada somente em termos de cifras, mas também em capacidade de transferência de conhecimento (Kaya, 2005).

Na Espanha, como resposta às novas condições do setor energético no mundo, as políticas energéticas prometem a integração dos aspectos ambientais da energia com a proteção ambiental presente nas leis do setor energético. Com a aprovação do Plano de Promoção das Energias Renováveis, o governo da Espanha está tomando medidas para garantir que até 2012, 12% da matriz energética seja composta por fontes renováveis de energia. Também com respeito ao plano, foi assumido o compromisso de não aumentar as descargas de gases, conservando os níveis em até 15% em 2010, tendo como referência os níveis de 1990, visando atender às diretrizes estabelecidas no Protocolo de Kyoto.

Para atingir estes objetivos o governo espanhol criou vários programas e instituições com a finalidade de promover o desenvolvimento e o uso de recursos e sistemas para geração de energia, para propor soluções aos problemas ambientais criados por companhias espanholas, para promover a eficiência energética e o uso racional da energia e para promover a diversificação das fontes de energia.

Também foram adotadas medidas econômicas para estipular valores de tarifas energéticas segundo o tipo de energia gerada e fornecida ao mercado, diferenciando e incentivando assim o desenvolvimento das fontes renováveis.

Com estas e outras medidas tomadas, a matriz energética espanhola atualmente conta com o crescimento constante de aproveitamentos hidráulicos – centrais hidrelétricas – de grande porte (além de 10MW) e pequeno porte (até 10MW). O reconhecimento explícito das fontes renováveis no sistema energético da Espanha foi um fator chave para o crescimento continuado das centrais hidrelétricas no país e também responsável pela boa perspectiva em relação aos compromissos ambientais assumidos (Montes *et alii*, 2005).

Desenvolvidos ou em desenvolvimento, diversos países já incluíram em suas políticas objetivos ambientais, de diversificação das matrizes energéticas, de ampliação da cobertura de energia em seus territórios e de desenvolvimento e utilização de fontes de energia renováveis. Políticas generalistas, porém sua implantação nos níveis mais fundamentais já surte efeitos, tornando-se exemplos para a política brasileira.

O Quadro 1 mostra um resumo das políticas energéticas observadas em alguns países.

Quadro 1 – Resumo das principais políticas energéticas observadas

Local	Políticas
União Européia	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a participação das fontes renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Desenvolvimento de incentivos ○ Sistema de cotas de energia ○ Disponibilizar recursos financeiros • Melhorar a eficiência do sistema elétrico <ul style="list-style-type: none"> ○ Focar ação nas fontes baseadas em biomassa • Reorganizar o setor de energia
Austrália	<ul style="list-style-type: none"> • Obriga a participação das fontes renováveis
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a participação das fontes renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Criação da <i>Renewable Obligation</i>
Canadá	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a eficiência do sistema elétrico <ul style="list-style-type: none"> ○ Redução das emissões nas plantas públicas ○ Programas de conscientização e suporte ○ Incentivos financeiros ○ Criação de padrões mínimos de desempenho
Japão	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a participação das fontes renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Política de uso de energia solar ○ Pesquisas sobre energia solar
Finlândia	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a participação das fontes renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Pesquisa e desenvolvimento ○ Incentivos financeiros ○ Sistema de cotas de energia • Melhorar a eficiência do sistema elétrico <ul style="list-style-type: none"> ○ Pesquisa e desenvolvimento
Taiwan	<ul style="list-style-type: none"> • Mitigar as emissões gasosas na atmosfera • Aumentar a participação das fontes renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Pesquisa e Desenvolvimento ○ Preço fixo para consumo de energias renováveis ○ Subsídios para reduzir custos de produção
Chile	<ul style="list-style-type: none"> • Reorganizar o setor de energia <ul style="list-style-type: none"> ○ Incentivar o capital privado como fonte de recursos ○ Diversificar a matriz energética
Índia	<ul style="list-style-type: none"> • Reorganizar o setor de energia <ul style="list-style-type: none"> ○ Implantação da geração distribuída ○ Eletrificação rural ○ Encorajar o gerenciamento descentralizado
Turquia	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a participação das fontes renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Desenvolvimento de incentivos ○ Sistema de cotas de energia ○ Disponibilizar recursos financeiros
Espanha	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a participação das fontes renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Desenvolvimento de incentivos ○ Sistema de cotas de energia ○ Estipular valores para tipos de energia ○ Disponibilizar recursos financeiros • Melhorar a eficiência do sistema elétrico • Reorganizar o setor de energia

Fonte: Elaboração própria.

No Brasil já existem políticas e iniciativas voltadas para estes objetivos ambientais, porém de certa forma ainda há uma lacuna a ser preenchida: diversos setores econômicos e populações isoladas geograficamente não têm acesso ou capital para dispor de energia em suas habitações. Surgem então algumas questões: algum método já aplicado em outra situação pode ser bem sucedido neste tipo de caso? Qual é a situação mais adequada para se trabalhar primeiramente? Quais são, hoje, as fontes renováveis de energia mais comuns? Quais destas se aplicam à realidade de uma região específica?

3 ENERGIA, AMBIENTE E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Conforme Rogner & Popescu (WEA, 2000), a vida é um processo contínuo de conversão e transformação de energia. E a humanidade está incluída involuntariamente neste processo. Ainda mais nos dias atuais, marcados pela tríade ENERGIA–DESENVOLVIMENTO–AMBIENTE (Figura 1), em que a pressão pela redução dos efeitos ambientais negativos dos processos produtivos é cada vez maior.

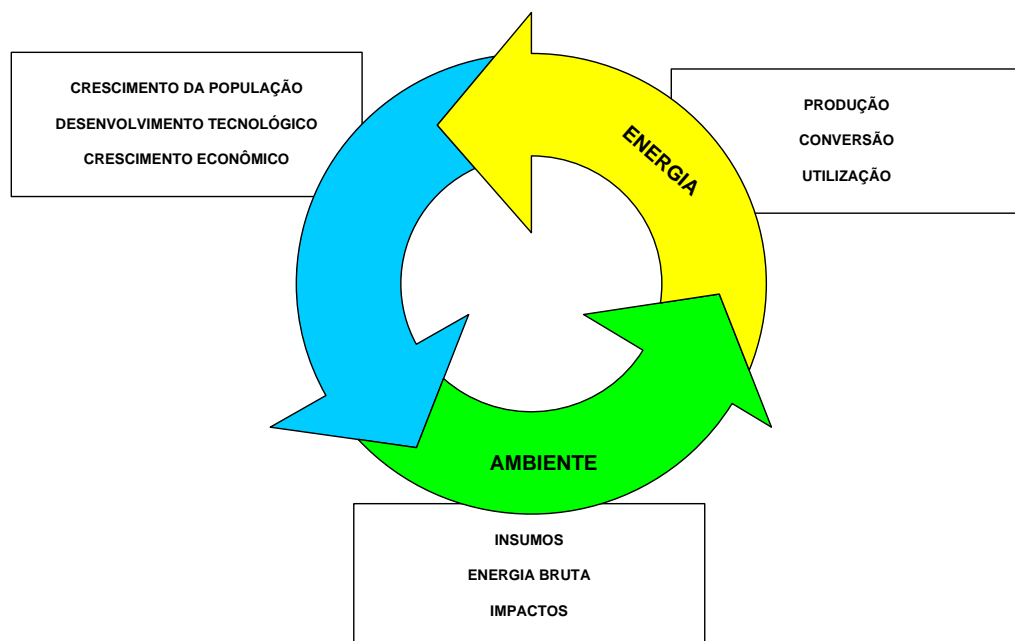


Figura 1 – Diagrama de relação entre as variáveis globais mais focadas atualmente.
FONTE: Elaboração própria.

Segundo Maslow (1970), o ser humano apresenta cinco necessidades fundamentais, a saber: fisiológicas, segurança, sociais, estima e auto-realização; que o motivam e o impelem – em uma determinada hierarquia (ver Figura 2) – a desenvolver suas atividades, laborais ou não, durante todo o seu ciclo vital.

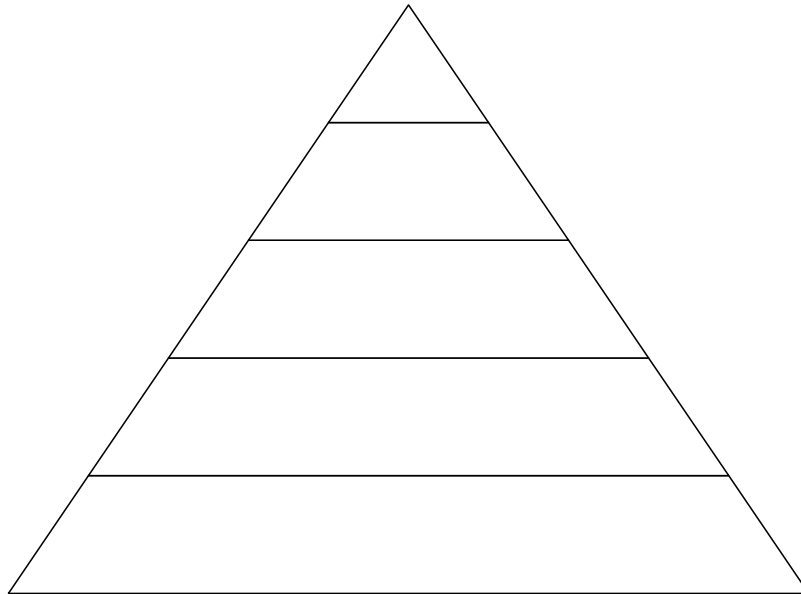


Figura 2 – Hierarquia das necessidades de Maslow.
Fonte: Elaboração própria.

O crescimento da população humana e o seu conseqüente desenvolvimento econômico e tecnológico, voltado à satisfação destas necessidades – desde as mais básicas do ser humano, como a alimentação, até aquelas voltadas unicamente à sua satisfação pessoal, como um *hobby* ou um bom livro – tem ligação direta com a produção de bens duráveis ou de consumo que, por sua vez, têm ligação com os processos produtivos necessários à sua própria fabricação.

Estes processos produtivos, em crescente desenvolvimento tecnológico, ocasionam a construção de novas instalações industriais

que demandam quantidades de energia, predominantemente sob a forma de eletricidade, a serem fornecidas em sua operação. Energia esta que tem de ser convertida a partir de outra forma, mais bruta, disponível na natureza.

Porém, os processos de produção, conversão e utilização da energia em suas várias formas sempre geram subprodutos ou emissões indesejáveis ao meio-ambiente, mesmo que sob a forma de calor dissipado, que devem ter seus impactos mitigados para atender às novas diretrizes ambientais discutidas globalmente (Rogner & Popescu, WEA, 2000).

Mas nem sempre a utilização de “processos energéticos” ambientalmente favoráveis é passível de viabilidade econômica e, sendo assim, são preteridos em favor de alternativas técnicas economicamente mais atrativas. O crescimento econômico é um objetivo comum perseguido na exploração da energia e pode ser considerado como um desafio na utilização da energia proveniente de fontes renováveis.

Atualmente existem várias formas de aproveitamento dos recursos renováveis disponíveis no ambiente que concatenam os benefícios ambientais, o desenvolvimento tecnológico e o desempenho econômico de modo a atender fatores ambientais, sociais, econômicos e políticos, como: redução da pobreza, oportunidades de trabalho, mitigação de emissões de poluentes, qualidade de vida, distribuição de alimentos, entre outros.

Entre as diversas tecnologias de produção de energia baseadas em fontes alternativas, destaca-se aquelas que, atualmente, são utilizadas em maior escala no mundo, tanto pela sua tecnologia consolidada, quanto pela sua popularidade e relativa aplicabilidade econômica: eólica, solar, biomassa, hidráulica, gás natural e hidrogênio.

3.1 A Energia Eólica

Uma “corrente de ar, mais ou menos forte, provocada pela diferença de pressão entre várias camadas ou zonas da atmosfera e que se desloca em certa direção”, segundo o Dicionário Universal da Língua Portuguesa (DULP, 2005), é definida como **vento**. O vento constitui-se uma fonte de energia mecânica que pode ser aproveitada devidamente para a geração de energia elétrica. Esta energia é chamada de energia eólica – do grego Eolo, deus dos ventos, referente àquilo que se relaciona com os ventos (DULP, 2005) – e atualmente é uma das mais populares fontes de energia renovável sob pesquisa e exploração econômica no mundo.

A utilização da energia dos ventos é feita desde os tempos da Grécia antiga, nos barcos de pesca e de guerra, passando pelos moinhos de grãos na Holanda antes da Revolução Industrial e pelos cata-ventos para bombeamento de água nas propriedades rurais (UCS, 2004), até as atuais turbinas eólicas, que geram eletricidade em capacidades variando de alguns quilowatts até protótipos de 6MW de potência.

As turbinas eólicas modernas possuem diferentes formas construtivas e em dimensões que variam conforme a sua capacidade de geração de energia. Atualmente o modelo mais comum é a turbina de eixo horizontal, em que o eixo de rotação das pás é paralelo ao terreno (ver Figura 3).

Diante da tendência mundial de favorecer a produção de energia através de fontes renováveis e das pressões para redução das emissões de gases na atmosfera, a energia eólica vem tomando seu lugar de destaque como uma alternativa limpa e livre de emissões atmosféricas. Seus custos de implantação e operação vêm sendo reduzidos com o desenvolvimento tecnológico e o aumento da escala de produção, podendo ser considerada, mesmo no Brasil, como uma possibilidade de geração de energia rentável e ambientalmente limpa.



Figura 3 – Foto de uma turbina de eixo horizontal.
Fonte: Union of Concerned Scientists (UCS, 2004).

Segundo a *Minnesota Municipal Utilities Association* (MMUA, 1999), o desempenho econômico da produção de energia eólica depende fortemente de distribuição anual do vento. Desta forma, áreas com velocidades médias menores do que 5,5 m/s à altura da turbina eólica (geralmente acima de 50m) geralmente não são consideradas economicamente como fortes candidatas a aproveitamentos eólicos.

Como exemplo, a Figura 4 mostra a situação de parques eólicos em escala industrial (AWEA, 2004), compostos por turbinas eólicas em quantidades que variam de uma a quinze turbinas por parque, nos Estados Unidos. Embora os Estados Unidos estejam no topo do ranking de emissões gasosas (NET, 2002) e apresentem políticas energéticas lentas, a utilização da energia eólica tem se desenvolvido de forma rápida e eficiente em aproveitamentos eólicos com capacidades abaixo de 15MW.

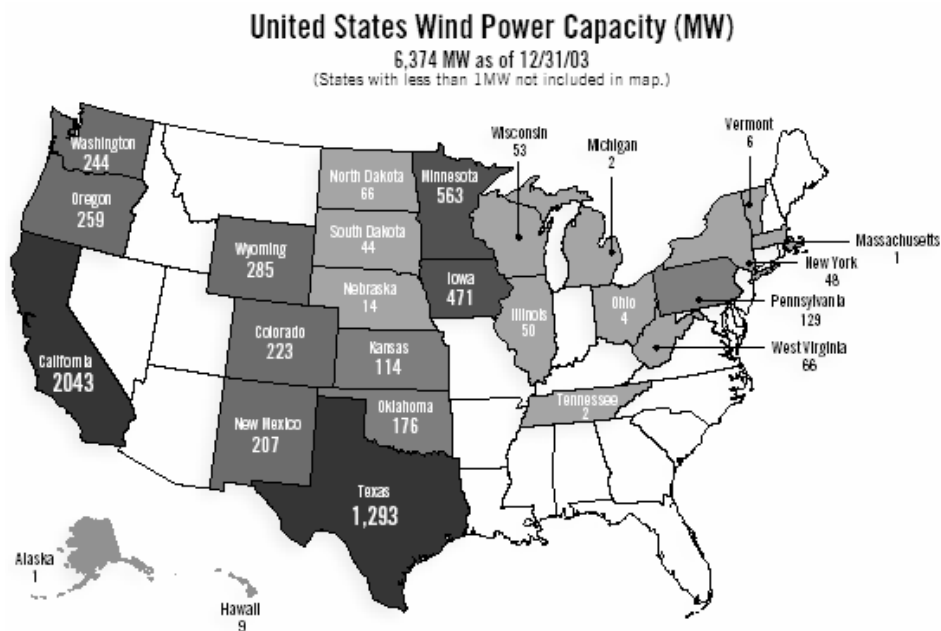


Figura 4 – Mapa dos estados americanos com aproveitamentos eólicos em escala industrial
Fonte: Wind Power Outlook (AWEA, 2004).

No Brasil, a energia eólica encontra-se em fase inicial, com parques de geração modestos, se comparados com os existentes nos países europeus. O Quadro 2 apresenta os nomes dos parques eólicos, sua localização e capacidade máxima de potência.

Quadro 2 – Relação de parques eólicos instalados

Parque	Estado	Capacidade
UEE Taíba	Ceará	5MW
UEE Prainha	Ceará	10MW
PE Mucuripe	Ceará	2,4MW
UEE Palmas	Paraná	2,5MW
UE Bom Jardim da Serra	Santa Catarina	600kW
UE Horizonte	Santa Catarina	4,8MW
UE Macau	Rio Grande do Norte	1,8MW

Fonte: Wobben do Brasil (WOB BEN, 2005)

No Rio Grande do Sul há um potencial eólico economicamente utilizável e já existem projetos eólicos aprovados aguardando a liberação dos recursos do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) para sua implantação. Segundo o Atlas Eólico RS (SEMC, 2002), o Rio Grande do Sul possui potencial eólico em diversas regiões: região sul/campanha, litoral e região norte, conforme se pode observar na Figura 5.

Como já indicado pela MMUA (1999), a partir de uma velocidade média do vento a 30m de altura, da ordem de 5,5m/s, é verificada a viabilidade comercial da implantação de aproveitamentos eólicos, pela Figura 5 – considerando as tecnologias de eixo horizontal disponíveis – pode-se observar as regiões economicamente atrativas, aumentando o limiar de consideração para 6m/s a 50m.

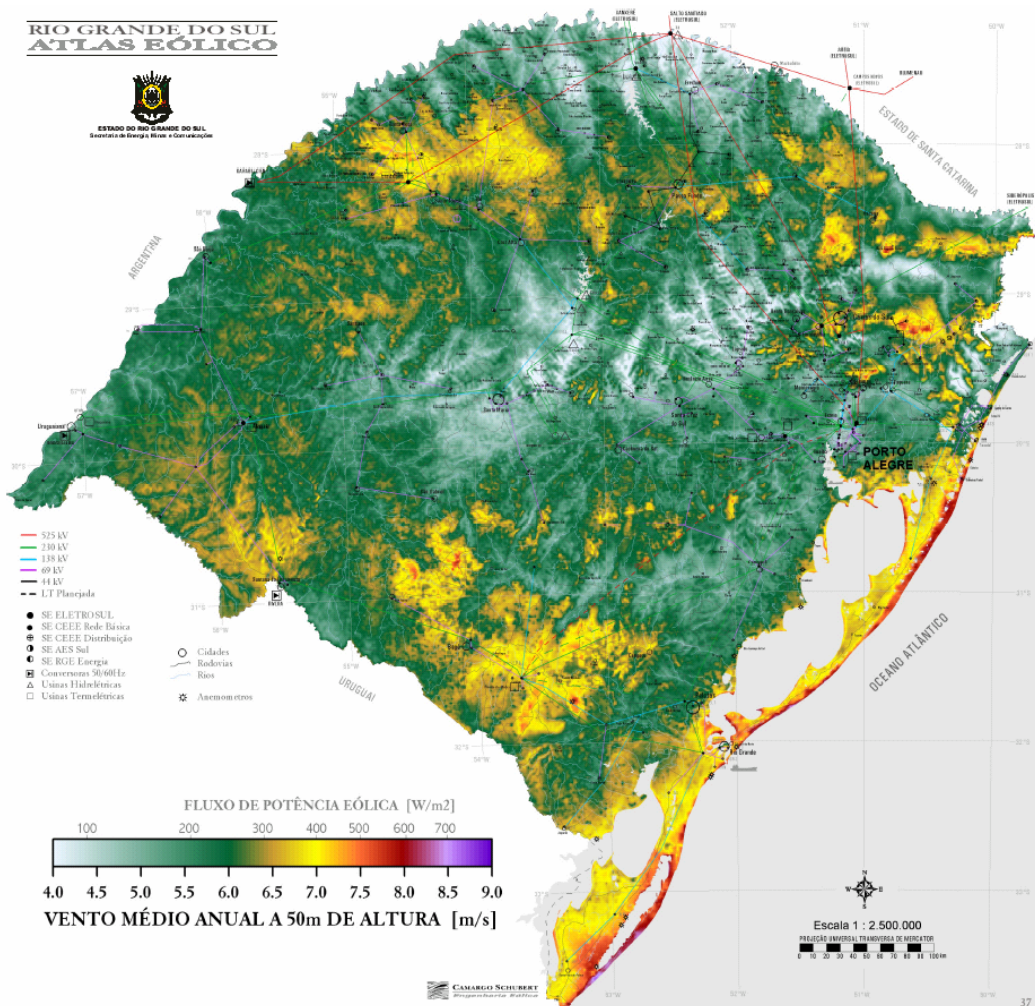


Figura 5 - Mapa eólico do Rio Grande do Sul.
 Fonte: Atlas Eólico RS (SEMC, 2002).

É conveniente observar que o limite indicado como mínimo para início de uma análise de viabilidade para implantação de sistemas de conversão eólico-elétrica não garante, em si, a viabilidade. Esta deve ser avaliada segundo outros métodos¹.

Duas aplicações bem sucedidas da energia eólica em pequena escala foram implantadas no Egito², pela Sociedade de Energia Solar Egípcia: duas turbinas eólicas gerando em média 300 a 560kWh por

¹ Para maiores informações sobre métodos de avaliação da viabilidade em parques eólicos, consultar MMUA, 1999.

² Para uma visão geral do projeto no Egito, consultar EBRAHIMIAN (2003) página 32.

mês e atendendo a cerca de setenta habitantes de uma comunidade rural egípcia (Ebrahimian, 2003).

O trabalho desenvolvido, segundo Ebrahimian (2003), proporcionou a melhora da qualidade de vida, especificamente pela geração de eletricidade resultar na redução da utilização de querosene e outros meios de iluminação nas residências e na possibilidade de refrigeração de alimentos e medicamentos.

3.2 O Gás Natural

O gás natural, combustível fóssil encontrado em rochas porosas no subsolo, é formado basicamente pela decomposição de matérias orgânicas (em geral pré-históricas) soterradas em grandes profundidades ou em pântanos, sob a água, podendo estar associado ou não ao petróleo (UCS, 2003).

É composto por gases inorgânicos e hidrocarbonetos saturados, predominando o metano e, em menores quantidades o propano e o butano, entre outros. Geralmente apresenta baixos teores de nitrogênio, dióxido de carbono, água e compostos de enxofre, permanecendo no estado gasoso sob pressão atmosférica e temperatura ambiente.

A extração do gás natural é muito semelhante à do petróleo, devido ao fato de que o gás encontra-se, na maioria das vezes, dissolvido no próprio petróleo ou formando bolsas de gás sobre os reservatórios petrolíferos (PGE, 2000).

No passado, o gás natural não era considerado uma alternativa energética pela ausência de tecnologia desenvolvida para sua utilização e também pelas dificuldades de transportar o gás das zonas de extração até os mercados consumidores. Nos idos das décadas de 50 e 60, uma grande rede de gasodutos foi construída nos Estados Unidos, cobrindo até a década de 80 mais de um milhão de milhas de extensão e com mais linhas em construção.

A principal vantagem do gás natural é a combustão mais limpa, resultando em emissões gasosas à atmosfera reduzidas em relação aos demais combustíveis fósseis. Se comparado com o carvão mineral, o gás natural emite, para cada unidade de energia produzida, 43% a menos carbono e para o óleo diesel, emite cerca de 30% a menos de carbono. O gás natural também não produz resíduos sólidos na combustão, ao contrário das toneladas de cinzas geradas nas plantas termelétricas a carvão mineral e, devido aos seus baixos teores de contaminantes, apresenta reduzida emissão atmosférica de dióxido de enxofre e particulados (UCS, 2003).

Porém, mesmo apresentando baixas emissões de carbono quando queimado, o gás natural em si, isto é, incombusto, é considerado uma alta emissão de carbono quando liberado na atmosfera. Seu “potencial de estufa” na captura do calor na atmosfera é 58 vezes maior do que o dióxido de carbono na mesma quantidade. O gás natural também apresenta, na sua combustão, óxidos de nitrogênio (NO_x), causadores de chuvas ácidas e *smog*³ (UCS, 2003).

³ *Smog* – forma contracta de *smoke* (fumaça) e *fog* (neblina); mistura de neblina e fumaça. (Michaelis, 2001)

Atualmente há duas classificações para o gás natural encontrado em reservas petrolíferas, segundo o PGE (2000): o gás associado e o gás não associado. O primeiro é aquele que se encontra no reservatório dissolvido junto com o petróleo ou formando uma capa gasosa entre o leito de petróleo e a cobertura rochosa. O segundo é aquele que se encontra livre no reservatório ou junto a pequenas quantidades de petróleo (ver Figura 6).

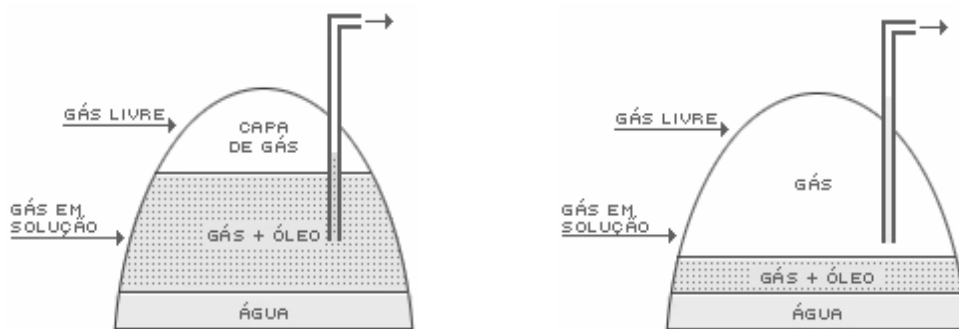


Figura 6 – Gás associado (esquerda) e gás não associado (direita).
Fonte: Portal GásEnergia (PGE, 2000).

O gás não associado é a forma mais viável comercialmente de extração, devido à grande quantidade de gás em seu estado praticamente final para uso e pela alta concentração de propano e hidrocarbonetos mais pesados. O gás associado requer tecnologia mais desenvolvida e, conseqüentemente, mais cara, para sua extração e separação, sendo normalmente reinjetado nos reservatórios ou queimado nos poços de extração de petróleo (PGE, 2000).

Nos dias de hoje, o transporte do gás natural em grande escala é feito através de gasodutos e, especificamente no Brasil, é realizado por empresas que não comercializam o gás. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), as transportadoras devem se responsabilizar exclusivamente pelos serviços de transporte desde a produção do gás

até o ponto de entrega, não lhes sendo permitido comprar ou vender o produto, com exceção dos volumes necessários para consumo próprio (PGE, 2000).

Para este estudo, é de interesse observar o trecho circulado da Figura 7, que mostra o Gasoduto Uruguaiana - Porto Alegre, com 605 km de extensão e diâmetro de 24 polegadas.

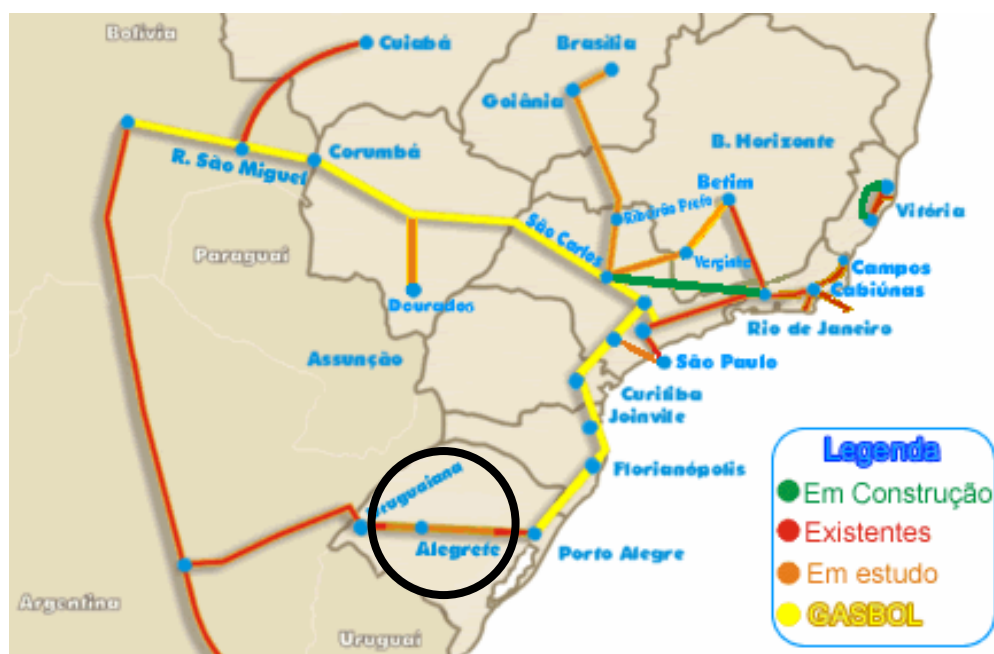


Figura 7 – Mapas dos gasodutos Argentina-Brasil (circulado) e GASBOL.
Fonte: Mapa de gasodutos (GASNET, 2004).

Também chamado de Gasoduto Argentina-Brasil, encontra-se concluído nas extremidades, porém ainda está em estudos para implantação do trecho central. Com capacidade prevista de 12 milhões de m³/dia, o gasoduto será interligado ao gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) em Porto Alegre e contribuirá no abastecimento da região sul e sudeste.

A utilização do gás natural para fins de produção de energia elétrica é feita fundamentalmente de três formas: turbo alternadores,

conjuntos motor-gerador e células de combustível. As turbinas a gás são mais comuns em sistemas de geração de grande porte, podendo atingir até 250MW, como por exemplo, a Usina Termoelétrica de Uruguaiana, que utiliza duas turbinas a gás para gerar 352MW. O calor proveniente da combustão é recuperado em dois geradores de vapor para alimentar uma turbina a vapor, gerando mais 187MW. Uma turbina a vapor adicional pode ser utilizada, somando mais 78MW à capacidade total da planta. (POWER, 2005)

A Figura 8 mostra um diagrama simplificado do fluxo de energia em uma turbina a gás, onde é possível observar que, do poder calorífico do gás natural, apenas uma pequena parte da energia é recuperável sob forma de energia mecânica para conversão em eletricidade, sendo o restante liberado sob forma de calor.



Figura 8 – Diagrama do fluxo de energia em uma turbina a gás natural.
Fonte: Adaptado da apostila do curso do CTGás (CTGÁS, 2002).

Os motores a gás são utilizados em sua maioria na propulsão de veículos, podendo ser alimentados com gás natural, propano ou metano; também podem ter construção *dual fuel*, operando com gás

natural e/ou diesel. Trabalhando comercialmente com potências de 20kW até 15MW, são utilizados na produção de energia elétrica, principalmente formando grupos geradores em instalações industriais como parte de sistemas UPS – *Uninterruptible Power Systems* (CTGÁS, 2002).

Os motores que se utilizam unicamente do gás para seu funcionamento operam no Ciclo Otto, no qual a ignição da mistura gás/ar é feita através de faiscamento (velas). Já os motores gás/diesel trabalham no Ciclo Diesel, com a ignição dada pela injeção de diesel na mistura ar/gás pressurizada (CTGÁS, 2002). A Figura 9 mostra o fluxo de energia de um motor a gás. Enquanto as turbinas dissipam a maior parte da energia térmica na exaustão, um motor dissipa esta energia parte na exaustão e parte na refrigeração das camisas (água) e circuito auxiliar.



Figura 9 – Fluxo de energia de um motor a gás.
Fonte: Adaptado da apostila do curso do CTGás (CTGÁS, 2002).

Os aproveitamentos baseados em células de combustível apresentam vantagens de produzir energia elétrica de alta qualidade

ambiental, com eficiências variáveis segundo a tecnologia aplicada. A utilização de gás natural em células de combustível é discutida com mais detalhe nos aproveitamentos de energia do Hidrogênio.

3.3 A Energia Solar

O calor e a luz provenientes do sol, para a vida no planeta, constituem-se uma fonte de energia necessária e, conforme Rogner & Popescu (WEA, 2000), virtualmente interminável e de um potencial energético teórico maior do que três vezes a necessidade energética global.

Este potencial, por diversas razões, apresenta-se menor para utilização em fins energéticos, destaca-se entre elas (WEA, 2000):

- Variações temporais: a quantidade de energia solar disponível em um dado ponto da superfície terrestre está sujeita às variações do dia, através do movimento de rotação da Terra, e sazonais, pela sua translação em torno do Sol, tornando a disponibilidade de potência máxima estimada de 1kW/m^2 em meros $0,1$ a $0,3\text{kW/m}^2$ de densidade média de potência;
- Variação geográfica: áreas próximas ao equador recebem mais energia solar do que áreas polares. Porém, as tecnologias atuais permitem “seguir” o sol para manter a incidência de energia em níveis mais altos e também utilizar a reflexão da luz na neve para aumentar a coleta de energia nas regiões polares;

- Variações climáticas: o clima é outro fator importante na densidade média de potência disponível, devido ao fato de que condições climáticas desfavoráveis como, por exemplo, céu nublado ou chuvas, reduzem a incidência de energia solar sobre a superfície terrestre a níveis próximos de zero, dificultando o aproveitamento elétrico nestes períodos;
- Disponibilidade de terreno: os aproveitamentos energéticos solares necessitam de grandes áreas de terra disponíveis para geração comercial de energia elétrica. Nestes casos, mesmo que o potencial solar seja considerado alto, a indisponibilidade de área para instalação dos coletores solares torna o projeto inviável tecnicamente.

O uso desta energia solar disponível pode se dar de diversas formas: diretamente, para aquecimento de água e habitações, resfriamento, secagem, destilação e energia elétrica; e indiretamente, através da energia eólica, hidráulica, fotossíntese e conversão microbiológica de matéria orgânica em combustíveis líquidos (Farret, 1999), alguns destes discutidos à parte.

Basicamente, o aproveitamento direto da energia solar para eletricidade se dá por dois tipos de tecnologia (Farret, 1999 e WEA, 2000): a conversão da energia luminosa do sol diretamente em eletricidade através de células fotovoltaicas e o aproveitamento da radiação solar (luz e calor) para geração de vapor em ciclos térmicos de geração de eletricidade em larga escala.

As células fotovoltaicas são construídas com cristais, como LiNbO_3 , BaTiO_3 e LiTaO_3 , que apresentam *efeito fotovoltaico*. O efeito fotovoltaico, segundo Laplante (2000), é um fenômeno fotoelétrico que alguns cristais apresentam no qual a incidência de luz sobre sua estrutura provoca a geração de uma corrente elétrica ao longo de certa direção nos mesmos, levando à acumulação de cargas em suas superfícies e, conseqüentemente, à geração de uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos nesta superfície.

Embora os custos da energia solar ainda representem uma limitação na disseminação da sua utilização, já existe uma grande quantidade de aproveitamentos solares em pequena escala, contribuindo na geração de energia elétrica e calor, como se pode ver em seguida.

Em Minnesota, EUA, o Departamento Estadual de Energia iniciou, em 2003, um programa de retorno financeiro para consumidores que tenham sistemas de energia solar injetando energia no sistema elétrico. Cada consumidor habilitado poderia receber de US\$2.000,00 até US\$8.000,00 mensais, a uma taxa de US\$2.000,00 por kWh injetado, até o limite de 4kWh, no sistema elétrico (TMP, 2003).

Outro exemplo de aplicação, utilizando a energia solar para aquecimento, é o do *Wild River State Park*, também em Minnesota, onde foram substituídos, em 1998, os sistemas a diesel para aquecimento de água por sistemas de pré-aquecimento solar e aquecimento final com propano líquido.

O sistema funciona com uma bomba (movida por um painel solar) que recalca a água até o reservatório de aquecimento. Esta água então passa pelos coletores solares, aquecendo até 87°C nos dias de semana e chegando até 27°C nos fins de semana (devido ao maior movimento). Durante a semana não é necessário utilizar o sistema de aquecimento, deixando o seu uso somente para os fins de semana e por um curto período de tempo, já que a água encontra-se pré-aquecida (TMP, 2003).

O ponto importante neste segundo aproveitamento é a temperatura que se pode obter no sistema de aquecimento solar: cerca de 87°C. Em períodos de inverno (Figura 10), a temperatura máxima cai, porém não fica abaixo de 20°C. O que torna viável a sua utilização em outras regiões com temperaturas médias anuais mais altas, reduzindo ainda mais a necessidade de aquecimento adicional.



Figura 10 – Painéis solares de aquecimento do Wild River State Park.
Fonte: Resumo do projeto Wild River State Park (TMP, 2003).

3.4 A Energia do Hidrogênio

As células de combustível apresentam-se, nos dias de hoje, como uma alternativa tecnológica para geração de eletricidade com alta eficiência e mínimas emissões ambientais. Sua tecnologia tem se desenvolvido nos últimos anos, mas seu princípio de funcionamento havia sido demonstrado ainda no século XIX por William Grove, na Royal Institution de Londres (Farret, 1999).

A célula de combustível se utiliza da combinação química do Hidrogênio (H_2) e do Oxigênio (O_2) para gerar energia elétrica, energia térmica, sob a forma de calor e água. A diversidade de tecnologias para realizar esta combinação apresenta basicamente a mesma estrutura (Figura 11): dois eletrodos porosos (catodo e anodo) revestidos em uma das faces por uma camada de catalisador (platina ou níquel) e separados por um eletrólito (permite o movimento dos íons entre os eletrodos).

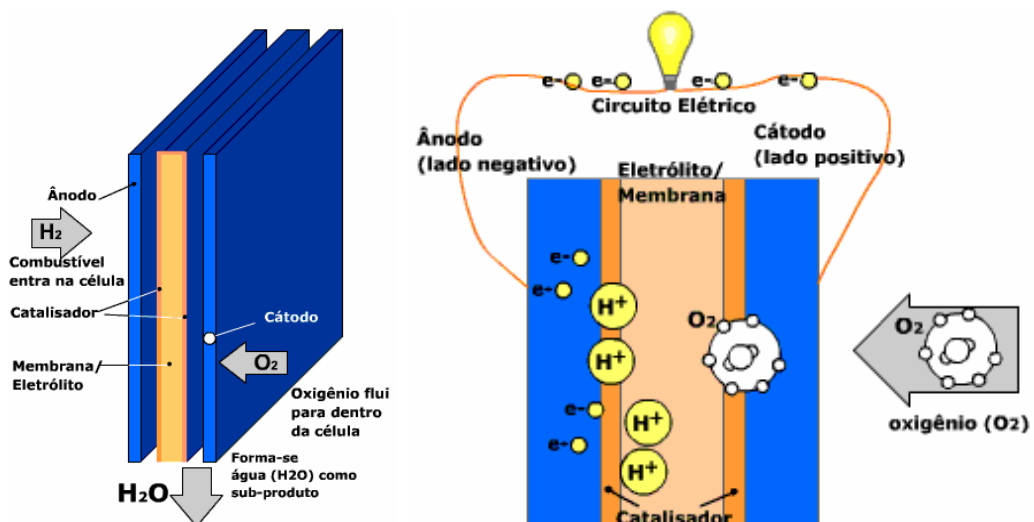


Figura 11 – Representação básica de uma célula de combustível.
Fonte: PCE (2004).

Podem ser utilizados diversos combustíveis como fonte de hidrogênio: gasolina, gás natural, biogás, etanol, diesel, metanol, água, entre outros (PCE, 2004), desde que exista um processo de extração deste hidrogênio dos combustíveis, comumente chamado de reformador.

O rendimento máximo teórico alcançado por uma célula de combustível é cerca de 70% (Farret, 1999), porém o rendimento mais alto somente pode ser alcançado utilizando H_2 em altas concentrações. Atualmente o custo do hidrogênio reformado é alto, desta forma, alternativas mais econômicas, como etanol e gás natural, são preferidas em implantações comerciais, porém o rendimento cai para níveis abaixo de 44% pela utilização de reformadores de hidrogênio e outros equipamentos auxiliares (Farret, 1999).

A Figura 12 mostra o fluxo de energia simplificado em uma célula de combustível moderna, com a utilização de gás natural na sua alimentação.



Figura 12 – Fluxo de energia de uma célula combustível a gás.

Fonte: Adaptado da apostila do curso do CTGás (CTGÁS, 2002).

Conforme o CTGÁS (2002), a energia total obtida de uma célula de combustível – incluindo energia elétrica, térmica de utilização e térmica de realimentação – pode chegar a 91% da energia disponível, utilizando-se da tecnologia disponível.

Um exemplo de aplicação de células de combustível é o projeto da Vila de Longju, situada em Guanghan – China, que compreende a utilização sustentável de energia elétrica e biogás, gerados respectivamente por células de combustível e biodigestores (ICSD, 2002). Um projeto que partiu da estrutura convencional de um povoado não-sustentável, conforme mostra a Figura 13, desenvolvendo uma estrutura sustentável – Figura 14 – e com um índice de poluição muito mais baixo.

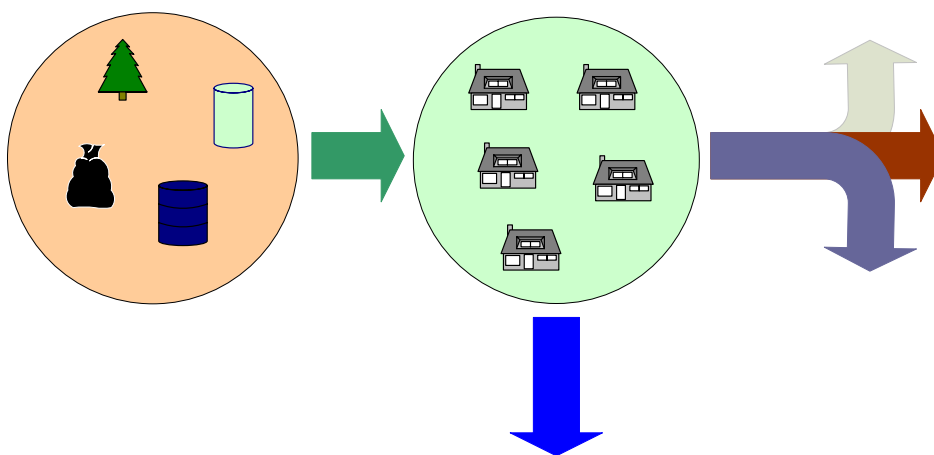


Figura 13 – Esquema da estrutura não-sustentável da vila de Longju, antes do projeto.
Fonte: Apresentação do projeto Guanghan (ICSD, 2001).

O projeto Longju foi desenvolvido para aproveitar os potenciais de biomassa disponíveis na vila na geração de biogás, eletricidade,

água potável e água quente. A escolha de uma célula de combustível para gerar eletricidade, apesar do custo alto em comparação com outros meios, foi baseada no benefício geral agregado com a tecnologia: geração de eletricidade, calor, água quente e potável, emissão de carbono insignificante e maior rendimento se comparado com outras possibilidades como, por exemplo, geradores diesel (ICSD, 2002).

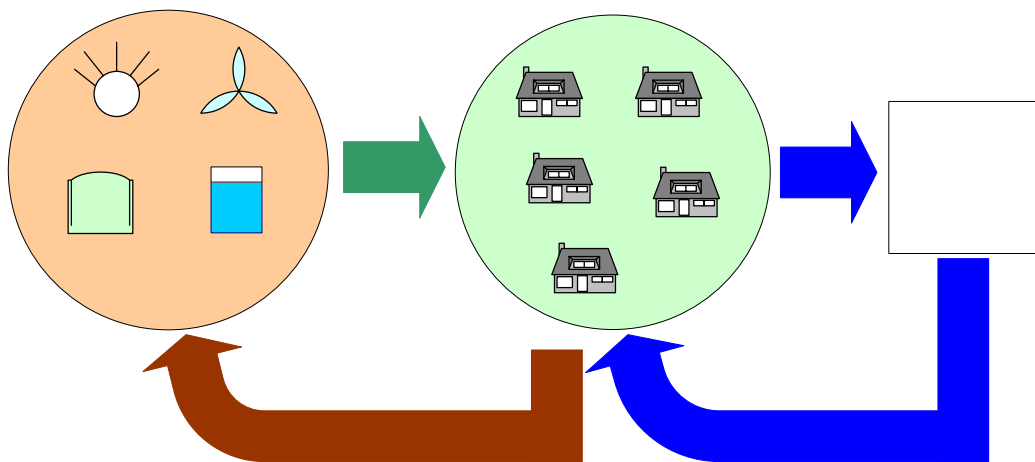


Figura 14 – Esquema de estrutura sustentável da Vila de Longju, após o projeto.
Fonte: Apresentação do projeto Guanghan (ICSD, 2001).

3.5 Biomassa

Atualmente as tecnologias de utilização de biomassa na geração de energia são variadas e todas apresentam seus pontos fortes e fracos, conforme a utilização final dos potenciais energéticos resultantes e a quantidade de matéria orgânica disponível para conversão nestes potenciais.

ENTRADAS

SOLAR **EÓLICA**

As fontes de biomassa podem ser classificadas, de acordo com o WEA (2000), em madeiras, não-madeiras, lixo processado,

BIOMASSA **ÁGUA**

combustível processado e resíduos animais. Estes recursos de biomassa podem ser convertidos em combustíveis ou eletricidade de diversas formas. Atualmente os principais focos de desenvolvimento de aproveitamento de biomassa estão na produção de biocombustíveis (álcool, biodiesel e biogás), eletricidade e calor, como em sistemas de cogeração, aproveitando o biogás ou a biomassa em si sob algum processo físico de modificação para gerar energia elétrica e calor (Figura 15).

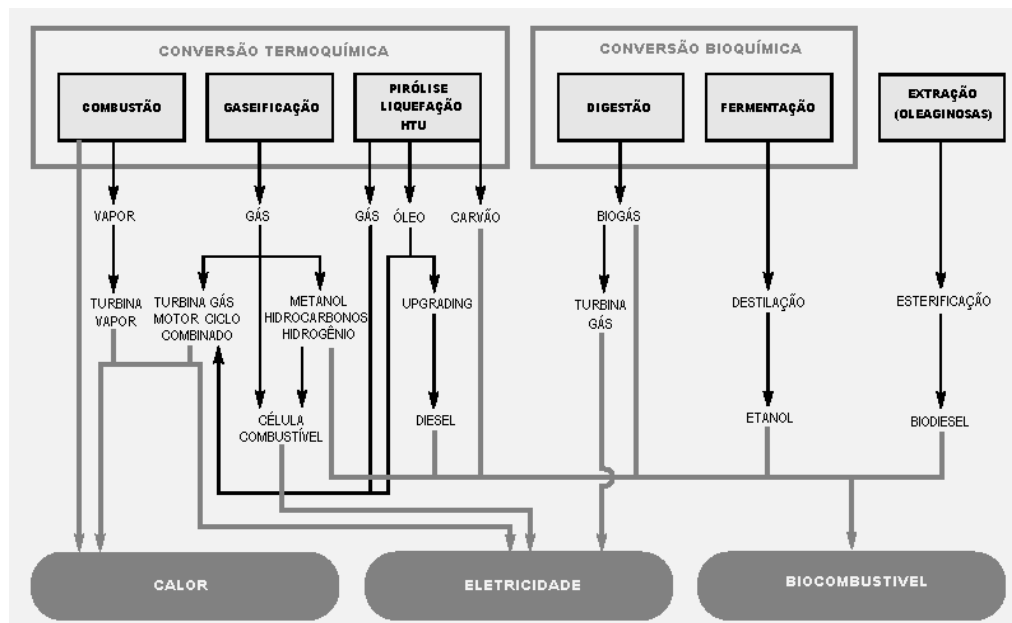


Figura 15 – Principais rotas de conversão de biomassa em energia.
 FONTE: Adaptado do World Energy Assessment (WEA, 2000).

A conversão de biomassa em energia – mesmo que realizável por vários meios – resume-se, principalmente por motivos financeiros, às aplicações de gaseificação em larga escala, biodigestão, produção de etanol, biodiesel de oleaginosas e combustão direta. Outras técnicas, como pirólise, liquefação e *Hydrothermal Upgrading* (HTU), ainda apresentam custos muito altos para aplicações em escala comercial.

Em países como Índia e China, o principal método de obtenção de energia, depois da combustão direta, é a biodigestão dos resíduos – esterco de animais, lixo, fezes humanas, entre outros (WEA, 2000).

A Figura 16 mostra dois modelos de biodigestores: domo fixo (também conhecido como modelo chinês) e domo flutuante (modelo indiano); mais comumente utilizados em sistemas de digestão anaeróbica que buscam baixo custo e manejo simplificado (Gustavsson, 2000).

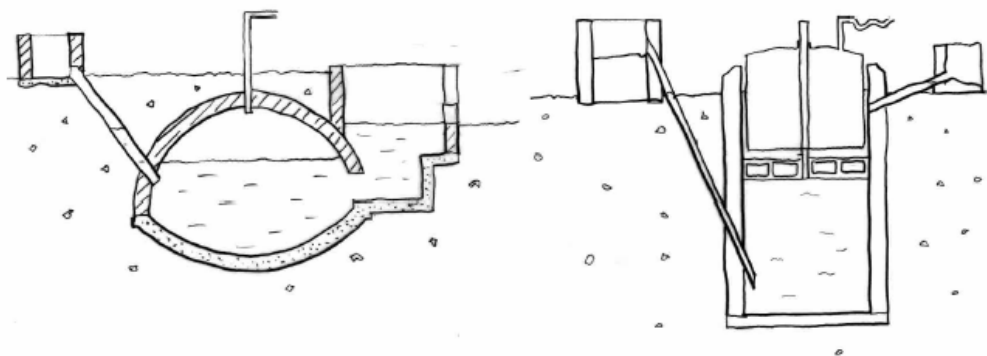


Figura 16 – Modelos básicos de biodigestores: domo fixo (esquerda) e domo flutuante (direita).
Fonte: Adaptado de Mathias Gustavsson (GUSTAVSSON, 2000).

Na Índia, uma organização chamada Sulabh International Social Service Organization desenvolveu um sistema de banheiros públicos com redirecionamento dos resíduos para sistemas de tratamento de baixo custo, aproveitando o resíduo como fertilizante e o biogás para fins energéticos: aquecimento, iluminação e geração de energia elétrica. (SULABH, 2005)

O Projeto teve início em 1974 com um complexo público de banho, banheiros e lavanderia, conhecido como Sulabh Shauchalaya Complex. Atualmente, o projeto conta com 3.100 complexos, espalhados em 641 cidades da Índia. A base da tecnologia de

tratamento dos resíduos humanos é realizada através de biodigestores de domo flutuante (Figura 17), enterrados no solo (SULABH, 2005).



Figura 17 – Foto de um biodigestor de domo flutuante em um complexo do projeto SULABH.
Fonte: Sulabh International Social Service Organization (SULABH, 2005).

Outra iniciativa importante é o projeto de desenvolvimento bioenergético em Bangladesh: o LGED Biogás Programme. O LGED (Local Government Engineering Department) já construiu, desde 1992, 61 biodigestores em orfanatos, hospitais, escolas, entre outros, para solucionar problemas de saneamento e utilizar o biogás como fonte alternativa de energia (LGED, 2002).

3.6 Micro e Pequenas Centrais Hidrelétricas

Uma central hidrelétrica converte a energia potencial da água, em uma elevação maior, em eletricidade através da passagem desta água através de uma turbina, descarregando-a em um ponto de cota mais baixa. A energia cinética da água durante sua queda gira a turbina e esta, através de um eixo, transfere esta energia a um gerador, que produz, desta forma, energia elétrica. (TMP, 2003)

Basicamente, as centrais hidrelétricas podem ser construídas para aproveitar o fluxo natural do rio – conhecidas por centrais a fio de água – ou armazenar a água em um reservatório nos períodos de excesso de água para utilizá-la nos períodos de pouca água – chamadas centrais com reservatório de acumulação.

De acordo com o TMP (2003), a geração hidroelétrica é a tecnologia renovável mais bem desenvolvida atualmente e é a mais confiável, exceto em períodos de forte seca ou gelo. Apresentando uma eficiência geral por volta de 80%, a geração hidrelétrica é mais eficiente do que a geração térmica (carvão, gás natural ou outro combustível).

No Brasil, a geração hídrica tem um peso muito significativo no *mix* energético, respondendo por 74,7% da oferta total de energia, em 2002 (MME, 2003). A Figura 18 mostra a diferença entre a matriz energética brasileira e a matriz mundial: na primeira, a predominância da geração hídrica é visível e na segunda, apesar da diferença de período, a predominância térmica – carvão, gás natural e petróleo – é forte.

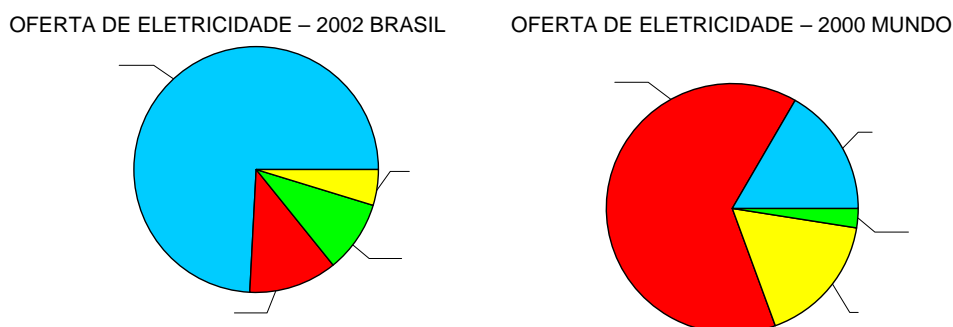


Figura 18 – Estrutura da oferta de eletricidade no Brasil e no Mundo.
Fonte: Balanço Energético Nacional 2003 (MME, 2003).

Uma central hidrelétrica é considerada Pequena Central Hidrelétrica (PCH) quando a sua capacidade instalada é menor ou igual a 30MW, conforme o critério estabelecido pelo MME. Para uma Micro Central Hidrelétrica (MCH), o limite máximo de capacidade é de 100kW, considerando a escolha de Farret (1999) baseada na indicação da Eletrobrás.

Em Kerala, Índia, um projeto de MCH foi desenvolvido pela Mallanadu Development Society consiste em duas turbinas Pelton⁴ com geradores síncronos de 10kW a 50 hz. Com um custo de instalação de US\$22.000,00, o projeto atualmente fornece energia a cerca de 200 habitantes do vilarejo de Thulappaly. Gerando energia no inverno, nos períodos de 05h00min-06h30min e 18h30min-22h30min, a MCH fornece 16kW de potência aos habitantes, para uso em iluminação, bombeamento de água, televisão e rádio.

No verão, com a redução da quantidade de água disponível, é utilizado um gerador diesel de 15kW para suprir a demanda de energia. Os benefícios obtidos com o projeto variam desde a proteção ambiental, pela preocupação dos habitantes em conservar a vegetação e o rio para manter sua energia, passando pela economia de querosene (utilizado antes na iluminação) até os benefícios de saúde pública e qualidade de vida, pela redução das emissões de gases nas habitações (Ebrahimian, 2003).

⁴ Para informações sobre dimensionamento de turbinas Pelton, consultar FARRET (1999), p.47.

3.7 A Geração Distribuída

Ao tratar do assunto Geração Distribuída, inicialmente deve-se observar o problema da eletrificação rural. O foco das políticas de eletrificação rural entre 1970 e 1990 estava voltado à conexão de vilarejos e áreas remotas ao sistema elétrico interligado. Esta visão, comum a diversos países no mundo, concentrava-se na expansão gradativa da malha energética, eventualmente controlado por estatais, para solucionar o problema do atendimento energético e, conseqüentemente, promover o desenvolvimento econômico das áreas rurais mais remotas (WEA, 2000).

Porém, diversos estudos apontam para um fator importante no sucesso econômico de um determinado planejamento: somente a eletrificação não garante, em si, o desenvolvimento econômico. Além disso, a visão “centralista” de interligar áreas remotas ao sistema elétrico apresenta, segundo Goldemberg (WEA, 2000), outros fatores importantes que devem ser considerados:

- As áreas remotas com menores populações são as últimas a receber energia.
- Muitos locais mais afastados experimentam custos mais altos de transmissão e distribuição de energia elétrica.
- A capacidade das linhas de transmissão é pouco aproveitada pela baixa população atendida.
- A densidade de potência e os níveis de demanda são muito baixos.

- As comunidades atendidas tendem a ter um perfil de demanda pouco diversificado, caracterizado por picos definidos de consumo.
- As perdas nas linhas de transmissão tendem a ser maiores.
- A extensão incremental do sistema elétrico, em vez da extensão adaptada para minimizar perdas, tende a tornar as linhas mais suscetíveis a defeitos elétricos, aumentando ainda mais as perdas no sistema.
- A dispersão dos consumidores implica em linhas extensas para atender poucas cargas, o que implica em maiores custos de manutenção para as distribuidoras de energia.

Uma nova perspectiva vem sendo estudada, com o objetivo de minimizar os problemas decorrentes da expansão do sistema elétrico no atendimento das áreas mais isoladas: a geração descentralizada de energia elétrica. No atendimento de consumidores remotos, com baixas cargas, altamente dispersos e com perfis semelhantes, a geração distribuída se insere como alternativa viável, evitando a maior parte dos problemas observados no sistema centralizado, porém apresenta seus problemas, conforme Goldemberg indica (WEA 2000):

- A geração distribuída é desenvolvida basicamente através de geradores diesel, PCH, MCH, painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e geradores a biogás.
- Os altos custos de operação e manutenção dos grupos geradores diesel tornam-se uma barreira à sua implantação, juntamente com os as emissões de poluentes no ambiente.

- Embora os pequenos aproveitamentos hídricos sejam mais viáveis economicamente, como geralmente são sistemas a fio de água, ficam muito suscetíveis à disponibilidade de água e, conseqüentemente, suscetíveis aos fatores climáticos.
- A energia solar é viável em relação a custos em baixas potências, na ordem de centenas de Watts, em aplicações de corrente contínua. Em escalas maiores, como os conjuntos diesel, os custos tornam-se o principal obstáculo, devido às maiores quantidades de coletores solares e também à necessidade de utilização de inversores para obtenção de correntes alternadas.
- As turbinas eólicas representam uma alternativa interessante em matéria de custos, seja em aproveitamentos de pequena escala (centenas de watts), seja em escalas maiores (até alguns megawatts). Porém só são passíveis de aproveitamento com disponibilidade de vento. Sistemas híbridos eólica/solar/diesel podem ser implantados para minimizar as dependências climáticas e manter os custos em níveis atrativos.
- Aproveitamentos de biomassa apresentam custos de implantação mais altos, porém a produção de energia apresenta custos mais baixos que, aliados às tecnologias atuais, permitem a utilização do biogás ou da biomassa na geração de energia com maior rendimento.

A mudança do foco da geração centralizada para a geração distribuída, indiferente da configuração, tende para os mesmos

resultados: fornecimento de energia de fontes mais diversificadas, desenvolvimento de sistemas de energia sustentáveis, solução de problemas e barreiras de interconexão dos sistemas e maior competitividade para os consumidores (Clark & Isherwood, 2004).

Clark & Isherwood (2004) acreditam que a geração distribuída pode ser conseguida nas comunidades através de uma combinação de esforços para melhorar ou combinar as tecnologias mais avançadas de geração de energia (como solar e células de combustível) tanto sozinhas quanto em conjunto, para criar novas oportunidades de negócios e desenvolvimento econômico. Para tanto, os sistemas distribuídos devem ser sistêmicos e o governo e o setor público têm uma função importante: planejar e desenvolver um conjunto de regras voltadas à redução de custos e melhora da eficiência de sistemas que utilizam estas novas tecnologias. Outras ações, como financiamentos, políticas de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias, sistemas de subsídio de custos, entre outros, podem ser utilizados como ferramentas no fomento da geração distribuída.

3.8 O Protocolo de Kyoto

Marcando uma etapa importante na redução das emissões de gases de efeito estufa (*GreenHouse Gas – GHG* – ver Quadro 3) na atmosfera, o Protocolo de Kyoto estabelece um compromisso entre vários países de adotar políticas e implantar projetos de redução das emissões destes gases em um determinado percentual em relação aos níveis de 1990 entre 2008 e 2012.

Quadro 3 – Gases considerados como (*GreenHouse Gás – GHG*) no Protocolo de Kyoto

Gás	Fórmula
Dióxido de Carbono	CO ₂
Metano	CH ₄
Oxido Nitroso	N ₂ O
Hidrofluorcarbonos	HFCs
Perfluorcarbonos	PFCs
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆

Fonte: Elaboração própria

Para melhor entender os compromissos assumidos, convém observar alguns pontos importantes do protocolo, em que cada país, para reduzir as emissões de gases e promover o desenvolvimento sustentável, deve (UNFCCC, 1992):

- 1) Implantar e/ou elaborar políticas e medidas para:
 - a. Aumentar a eficiência energética em setores relevantes da economia;
 - b. Proteger e melhorar os meios de absorção e armazenagem dos gases não cobertos pelo Protocolo de Montreal;
 - c. Promover o gerenciamento sustentável das florestas e da agricultura;
 - d. Pesquisar, promover, desenvolver e utilizar formas de energia renovável;
 - e. Reduzir progressivamente os incentivos financeiros a plantas geradoras de GHG;
 - f. Limitar e/ou reduzir as emissões de metano na atmosfera, promovendo a sua utilização como fonte de energia e melhorando a gestão dos resíduos geradores de metano;

- 2) Estabelecer políticas, medidas e projetos, comprovando seus resultados, para reduzir as emissões de gases de efeito estufa em índices estabelecidos individualmente em relação à emissão de gases verificada em 1990.
- 3) Através da estimativa das cotas de carbono individuais verificadas em 1990 e das reduções estabelecidas, os países comprometidos podem negociar as quantidades de cotas de carbono não utilizadas – os créditos de carbono – com outros países que não obtiveram o sucesso esperado.
- 4) O primeiro período considerado para vigência das limitações e reduções quantificadas pelo Protocolo de Kyoto compreende os anos de 2008 a 2012.

O Quadro 4 mostra um resumo básico das principais diretrizes estabelecidas nos artigos do Protocolo de Kyoto, que foram pactuadas entre os países participantes.

Quadro 4 – Resumo dos principais compromissos e metas firmados no Protocolo de Kyoto

Diretrizes	Metas
<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a eficiência energética nos setores relevantes da economia de cada país • Garantir a proteção e o aumento de sorvedouros e reservatórios de GHG • Promover práticas de gerenciamento sustentável de florestas • Promover métodos sustentáveis de agricultura • Estimular a pesquisa, desenvolvimento, promoção e aumento do uso de fontes de energia renováveis • Garantir a redução progressiva de incentivos e subsídios em todos os setores emissores de GHG • Encorajar reformas, políticas e medidas para limitar ou reduzir emissões de GHG 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir as emissões de GHG para 5% abaixo dos níveis observados em 1990 no período de compromisso: 2008 a 2012. • Mostrar, em 2005, progressos demonstráveis dos compromissos assumidos no Protocolo de Kyoto

Fonte: Elaboração própria.

Do ponto de vista energético e ambiental, o Protocolo de Kyoto representa um referencial para o desenvolvimento das fontes

renováveis de energia e à sua utilização em larga escala no mundo, através do estabelecimento de compromissos ambientais que fomentam políticas de desenvolvimento sustentável nos principais países desenvolvidos do mundo.

4 O UNIVERSO DE ESTUDO

Para propor as alternativas energéticas aplicáveis em uma realidade política brasileira – objeto principal deste trabalho – é importante esclarecer sua delimitação para estudo. O universo aplicável é amplo e diversificado e o estabelecimento de limites neste universo reduz as possibilidades de aplicação, segundo critérios bem definidos, a um número realizável de opções, estas, selecionáveis e passíveis de argumentação.

No escopo deste trabalho, é realizada a delimitação sob três aspectos, identificando claramente o objeto de estudo para o desenvolvimento do conhecimento sobre o mesmo. São os aspectos: setorial, regional e energético-ambiental.

4.1 A delimitação setorial

A definição dos setores econômicos mais suscetíveis ao estudo de aproveitamentos energéticos é a principal delimitação de escopo do trabalho. O objetivo desta delimitação é selecionar uma pequena quantidade de setores econômicos, num limite máximo de três, para o foco do trabalho.

Para auxiliar a escolha dos setores, foram selecionados alguns indicadores, baseados na estrutura proposta por Oliveira (2004). O trabalho de Oliveira desenvolve 10 indicadores, categorizados em

cinco dimensões de estudo, com pontuações qualitativas, conforme mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Estrutura de indicadores de sustentabilidade

DIMENSÃO	NOME	DESCRIÇÃO	ESCALA
AMBIENTAL	INDICADOR 1	Contribuição para a mitigação das mudanças climáticas globais	-3 a +3
	INDICADOR 2	Contribuição para a sustentabilidade ambiental local	
SOCIAL	INDICADOR 3	Contribuição para a geração líquida de empregos	
	INDICADOR 4	Contribuição para melhoria do IDH	
ECONÔMICA	INDICADOR 5	Custo-efetividade	
	INDICADOR 6	Contribuição para redução de custos e obtenção de potenciais benefícios	
TECNOLÓGICA	INDICADOR 7	Contribuição para a auto-suficiência tecnológica	
	INDICADOR 8	Potencial de inovação tecnológica	
OPERACIONAL CULTURAL	INDICADOR 9	Possibilidade de Implantação e Operação do Empreendimento	
	INDICADOR 10	Possibilidades de integração regional e articulação com outros setores	

Fonte: Adaptado da Tese de Doutorado de Luciano B. Oliveira (Oliveira, 2004).

Serão utilizados apenas alguns dos indicadores apresentados, especificamente: indicadores 1, 3, 5, 6, 9 e 10. Para priorizar os setores econômicos candidatos à utilização de fontes alternativas segundo os critérios estabelecidos, não considerando todo o grau de complexidade impresso por Oliveira (2004).

É importante observar que Oliveira deixa claro que a escolha e avaliação dos indicadores dependem da experiência do analista, não sendo possível saber com certeza se aqueles escolhidos são, de fato, melhores que os indicadores preteridos. Como o foco deste trabalho está voltado para as propostas de aproveitamentos energéticos e o método de escolha dos alvos para aplicação é uma ferramenta secundária no desenvolvimento do estudo, os indicadores

quantitativos não são utilizados na avaliação dos setores econômicos candidatos.

Deste modo, a modificação da escala de valores proposta foi realizada, no sentido de adaptar os indicadores a uma análise qualitativa baseada nos conceitos de escalas qualitativas de Likert (1932), conforme se pode observar no Quadro 6.

Quadro 6 – Definição dos pesos para composição das escalas qualitativas.

IMPORTÂNCIA	FATOR	VALOR ORIGINAL	VALOR ADOTADO
MUITO IMPORTANTE	1,6	+3	+5
		+1	+2
		0	0
		-1	-2
		-3	-5
IMPORTANTE	1,0	+3	+3
		+1	+1
		0	0
		-1	-1
		-3	-3
POUCO IMPORTANTE	0,6	+3	+2
		+1	+1
		0	0
		-1	-1
		-3	-2

Fonte: Elaboração própria.

O peso de cada indicador na composição da nota dos setores econômicos sob escolha já está considerado na escala definida (Quadro 7), sendo esta nota, então, calculada através da soma dos valores de todos os indicadores para cada setor analisado. Os indicadores com maiores somatórios são aqueles com maiores potenciais qualitativos para implantação de aproveitamentos de fontes alternativas de energia.

Quadro 7 – Definição da escala qualitativa e atribuição de valores para ponderação.

INDICADOR	FATOR DE ANÁLISE	FORMA QUALITATIVA	VALOR
INDICADOR 1	Contribuição para a mitigação das mudanças climáticas globais	Alto potencial de reaproveitamento	+5
		Redução de emissão de gases	+2
		Sem alterações significativas	0
		Aumento da emissão de gases	-2
		Alto potencial de resíduos nocivos	-5
INDICADOR 3	Contribuição para a geração líquida de empregos	Muito positiva no setor e na comunidade	+3
		Positiva somente no Setor	+1
		Não contribui	0
		Negativa somente no setor	-1
		Muito negativa no setor e na comunidade	-3
INDICADOR 5	Custo-efetividade	Efetividade certamente maior que custo	+3
		Efetividade esperada maior que custo	+1
		Efetividade igual a custo	0
		Efetividade esperada menor que custo	-1
		Efetividade certamente menor que custo	-3
INDICADOR 6	Contribuição em custos/benefícios contingentes	Redução de gastos com saúde pública e indenizações a atingidos	+2
		Redução de gastos com indenizações	+1
		Sem alterações nos gastos	0
		Aumento de gastos com indenizações	-1
		Aumento de gastos com saúde pública e indenizações	-2
INDICADOR 9	Possibilidade de Implantação e Operação	Curto prazo	+3
		Médio prazo	+1
		Longo prazo	0
		Sem planta piloto	-1
		Início do investimento em tecnologia	-3
INDICADOR 10	Possibilidades de integração regional e articulação com outros setores	Integração positiva regional	+2
		Integração positiva local	+1
		Sem integração	0
		Integração negativa local	-1
		Integração negativa regional	-2

Fonte: Elaboração própria

As notas estabelecidas estão representadas na Tabela 1, bem como os setores sob estudo e seus respectivos resultados. Todos os setores são ordenados graficamente em um Diagrama de Pareto⁵ a partir de suas notas, para facilitar, desta forma, a identificação dos três setores de maior potencial de aplicação.

⁵ Surgiu da observação de Vilfredo Pareto (1848-1923) generalizada por J. M. Juran, tornando-se o Princípio de Pareto e resultando numa distribuição gráfica em ordem decrescente, muito utilizada para visualização gráfica de prioridades. Para maiores informações, consultar Campos (1999).

Tabela 1 – Pontuações dos setores econômicos e nota calculada.

Setor	Pontuação por indicador						Soma
	1	3	5	6	9	10	
Pequenos produtores rurais	0	1	0	0	0	0	1
Postos de combustível	5	1	3	1	3	2	15
Prédios e estabelecimentos públicos	2	3	1	2	3	2	13
Estabelecimentos industriais	2	1	-1	3	3	2	10
Residências	-2	0	-1	0	-1	0	-4
Depósitos de lixo	5	3	3	3	1	2	17
Prestação de serviços	0	0	-1	0	-3	0	-4
Estabelecimentos comerciais	-2	0	-3	0	-3	0	-8

Fonte: Elaboração própria.

Os setores escolhidos para trabalho (conforme a Figura 19) são: depósitos de lixo, postos de combustíveis e prédios e estabelecimentos públicos.

O não enquadramento dos demais setores considerados, por apresentarem menor grau de aplicabilidade de acordo com os critérios estabelecidos, não exclui os mesmos da aplicabilidade de utilização de potenciais renováveis. Porém, na delimitação deste trabalho, não serão considerados.

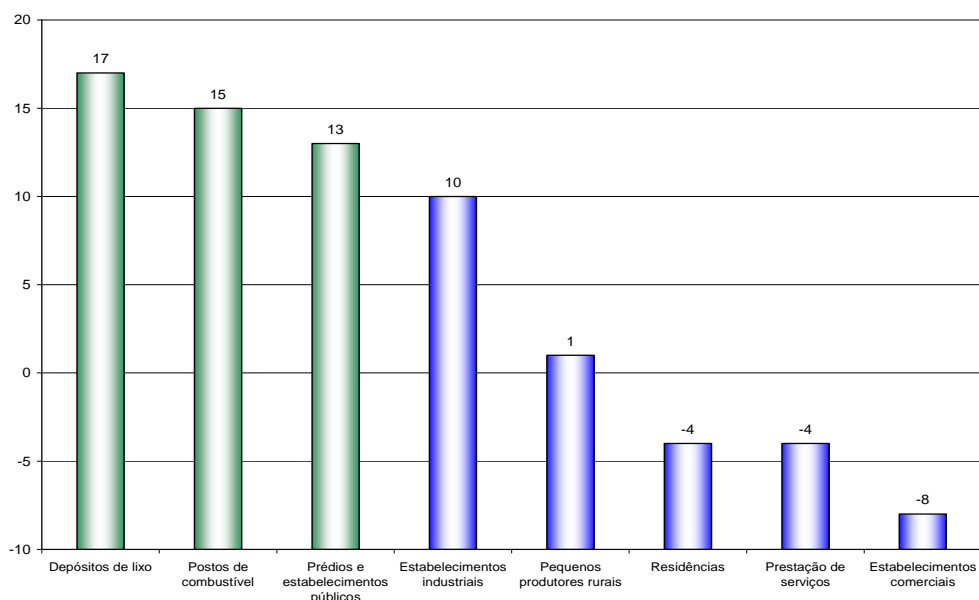


Figura 19 – Pareto das notas dos setores econômicos. Em verde os setores escolhidos.

Fonte: Elaboração própria.

4.2 A delimitação regional

A delimitação regional objetiva estabelecer um limite geográfico, definindo áreas de aplicação do trabalho de modo a restringir as inúmeras alternativas disponíveis.

A região geográfica delimitada é a microrregião de Santa Maria⁶, Rio Grande do Sul, Brasil, apresentada na Figura 20. Sendo que os setores selecionados para estudo devem situar-se, ou possuir forte tendência de se instalarem, na região delimitada.



Figura 20 – Mapa indicativo da microrregião de Santa Maria – Rio Grande do Sul
Fonte: IBGE – Mapas de divisões territoriais (IBGE, 2001).

⁶ Composta pelos municípios: Santa Maria, Cacequi, Dilermando de Aguiar, Itaara, Jaguari, Mata, Nova Esperança do Sul, São Martinho da Serra, São Pedro do Sul, São Sepé, São Vicente do Sul, Toropi e Vila Nova do Sul, segundo o IBGE (2001).

4.3 A delimitação energético-ambiental

Para buscar alternativas energéticas aplicáveis em conformidade com as diretrizes principais estabelecidas no Protocolo de Kyoto, já analisadas, é importante não somente a delimitação dos tipos de aproveitamentos energéticos objetos de estudo, mas também incluir uma visão orientada ao meio ambiente, através do desenvolvimento sustentável e da redução das emissões gasosas na atmosfera, tão comuns nas plantas de geração de energia elétrica baseadas em fontes convencionais de energia.

O estudo deve ser conduzido buscando a utilização de potenciais energéticos renováveis passíveis de utilização, em maior ou menor grau, sem considerar a fundo neste trabalho a viabilidade de sua implantação e/ou utilização. Os potenciais energéticos considerados para avaliação são: hídricos, eólicos, solares, biomassa e gás natural.

4.4 Os limites do estudo

Após considerar os três delimitadores e seus critérios, o estudo está devidamente delimitado: ficando restrito aos **depósitos de lixo, postos de combustíveis e prédios e estabelecimentos públicos, situados na microrregião de Santa Maria, Rio Grande do Sul, onde serão identificadas soluções entre que se enquadrem entre os aproveitamentos hídricos, eólicos, solares, de biomassa e gás natural.**

5 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O estudo das políticas energéticas do Brasil e de diversos países do mundo possibilitou a identificação de padrões de atuação: a busca da diversificação das matrizes energéticas, o interesse em ratificar o Protocolo de Kyoto e ações para mitigar os efeitos das crises no setor elétrico. Segundo esses padrões, as políticas públicas implantadas nos diversos países buscam, em maior ou menor grau, a utilização de fontes alternativas de energia em seus sistemas elétricos.

O desenvolvimento sustentável, através das políticas mundiais, é um objetivo a ser alcançado. Este desenvolvimento deve promover o crescimento humano, social, econômico e tecnológico, buscando sempre a integração com o meio ambiente, de forma simbiótica, garantindo algumas necessidades fundamentais como: eliminação da pobreza, garantia da qualidade de vida, eliminação da fome, garantia de moradia, entre outras.

No Brasil, boa parte da população encontra-se em uma faixa econômica de pobreza, conduzindo seu dia-a-dia entre fome, desemprego, baixa qualidade de vida, falta de moradia, enfim, justamente na situação que deveria ser o foco principal a ser considerado no desenvolvimento sustentável.

O fator energético tem um papel fundamental neste ponto: o atendimento energético a custo reduzido pode proporcionar melhor

qualidade de vida a esta população menos favorecida e as oportunidades de emprego geradas por este atendimento energético, absorvendo a mão-de-obra desta mesma população, pode promover o crescimento econômico e social de toda uma região outrora estagnada.

Sendo assim, após observar vários exemplos de utilização de fontes alternativas de energia e as políticas de incentivo ao uso destas fontes em diversos países, pode-se direcionar o assunto dos aproveitamentos de fontes alternativas de energia em três sugestões aplicáveis na região de Santa Maria: a criação de Centros Municipais de Geração de Energia Elétrica, a utilização da biomassa como fonte de energia e a geração distribuída em postos de gás natural.

Para melhor caracterizar as sugestões, os aproveitamentos energéticos a partir dos **depósitos de lixo** e dos **prédios e estabelecimentos públicos** são considerados como partes integrantes de um meta grupo, chamado aqui de **municipalidades**.

5.1 Criação de Centros Municipais de Geração de Energia Elétrica

A criação de Centros Municipais de Geração de Energia Elétrica (CMGEE) é uma alternativa para aproveitamento de potenciais alternativos de energia presentes em uma região específica. Estes CMGEE podem ser implantados pelo governo municipal, por cooperativas de energia, pela iniciativa privada, por organizações não governamentais ou até mesmo por Parcerias Público-Privadas (PPP).

Os CMGEE podem alcançar satisfatoriamente os objetivos atualmente visados por diversos países do mundo, que já têm políticas

energéticas voltadas à ratificação do Protocolo de Kyoto. Também podem colaborar no desenvolvimento sustentável de uma comunidade, visando o crescimento econômico local e a melhora das condições sociais nos seus arredores.

Vantagens: *contribuição na matriz energética*, pela interligação no sistema elétrico e diversificação das fontes de energia utilizadas; *geração de empregos*, para a operação das plantas de geração; *desenvolvimento econômico* através da venda da energia gerada; *desenvolvimento tecnológico*, através da pesquisa para solução de dificuldades e criação de novas soluções; *desenvolvimento social*, como consequência da geração de empregos e melhora da economia, proporcionando a melhora da qualidade de vida da população local; e *preservação ambiental*, com a utilização de fontes alternativas de energia de forma sustentável.

Os CMGEE podem tornar-se alternativas viáveis para aproveitamento energético, desde que alguns pontos importantes sejam observados:

Potenciais aplicáveis na região alvo: o ponto mais importante a se observar na implantação de CMGEE é, com grande segurança, a determinação dos potenciais energéticos disponíveis na região alvo e a sua disponibilidade em quantidade suficiente para permitir seu aproveitamento para geração de energia elétrica.

Fatores estruturais: a localização da planta, sua interligação com o sistema elétrico, o acesso aos potenciais utilizados, a legislação, a tecnologia disponível, a logística, as políticas de incentivo, entre

outros fatores, devem ser considerados para a implantação dos CMGEE.

Fatores econômicos: a viabilidade econômica e o retorno financeiro de um empreendimento deste porte são decisivos, principalmente quando o aporte de capital privado é necessário. Para acelerar o retorno financeiro de um CMGEE, há a possibilidade de estender a sua atuação, num âmbito mais regional, para vários municípios, criando assim um Centro Regional de Geração de Energia Elétrica (CRGEE). Outro ponto importante no universo econômico de análise é a implantação de políticas de incentivo ao consumo da energia fornecida pelos CMGEE/CRGEE, como incentivos fiscais, subsídios das tarifas de energia, entre várias alternativas.

Fatores ideológicos: a consciência política regional deve estar voltada aos benefícios dos CMGEE e, juntamente com a população, fomentar este tipo de aplicação. Atualmente é deveras necessário que se “compre” idéias voltadas ao desenvolvimento sustentável. A mudança dos paradigmas presentes na consciência energética atual é uma iniciativa importante, principalmente no sentido de viabilizar economicamente a implantação e operação dos CMGEE.

A Figura 21 mostra uma representação simplificada da estrutura de um CMGEE utilizando energia eólica, solar e biomassa para a geração de energia. É importante observar que um CMGEE pode ser composto por vários tipos de aproveitamentos energéticos ou por apenas um tipo, não dependendo das fontes em si, mas sim da disponibilidade e potencial das mesmas, como já comentado.

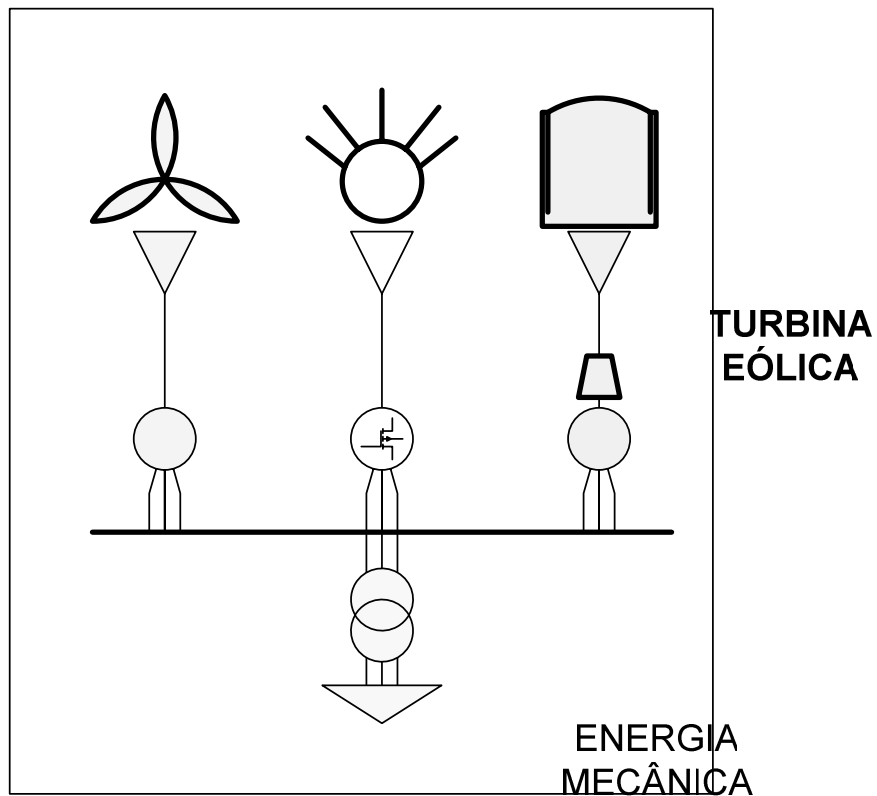


Figura 21 – Esquema simplificado de um CMGEE com interligação ao sistema elétrico.
 Fonte: Elaboração própria.

5.2 Utilização da biomassa como fonte de energia

Na região de Santa Maria não há, atualmente, aproveitamentos que se utilizem da biomassa proveniente das atividades humanas nos centros urbanos. Este tipo de biomassa, caracterizado pelos dejetos humanos e pelo lixo orgânico proveniente da preparação de alimentos, representa, em sua forma natural, dois problemas muito comuns nas zonas urbanas: a disposição do lixo urbano e o tratamento de esgotos.

A proposta de aproveitamento da biomassa, para a região de Santa Maria, envolve a criação de um CMGEE a partir de digestores anaeróbicos utilizando os resíduos orgânicos (dejetos e lixo)

provenientes das municipalidades. Um CMGEE deste tipo pode trazer, além das vantagens já apresentadas, os seguintes benefícios:

- Maior sustentabilidade do processo energético através da reutilização parcial dos resíduos como nova entrada energética;
- Redução dos impactos ambientais, pela redução da carga orgânica dos resíduos e redução das emissões gasosas pela utilização do biogás na geração de energia;
- Tratamento dos efluentes e resíduos orgânicos provenientes das municipalidades, com a conversão dos dejetos humanos e do lixo orgânico em biogás e biofertilizante.
- Melhora nas condições de saneamento locais, devido ao fato de que a digestão anaeróbica da matéria orgânica reduz muito a população de agentes patogênicos nos resíduos;
- Redução do volume de lixo acumulado em depósitos de lixo, pela separação da matéria orgânica e materiais recicláveis;
- Desenvolvimento do setor primário, com a utilização do biofertilizante como incentivo à produção de alimentos orgânicos.

A biomassa disponível nas municipalidades, com adequada separação, pode ser utilizada para a geração de energia elétrica. A Figura 22 apresenta uma possibilidade da aplicação da biomassa em um CMGEE, apresentando os principais pontos do processo.

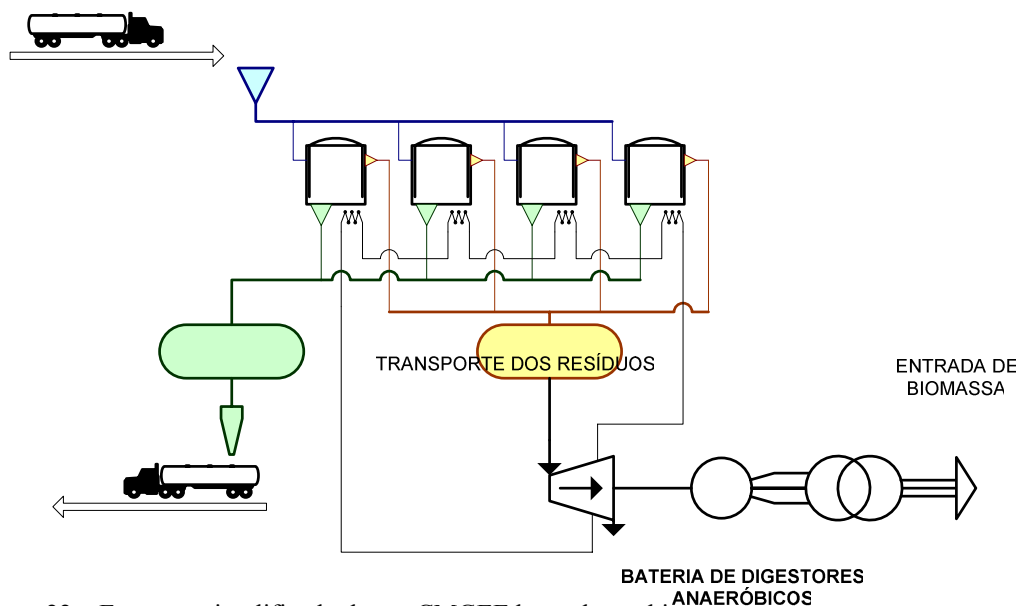


Figura 22 – Esquema simplificado de um CMGEE baseado em biomassa.
 Fonte: Elaboração própria.

Convém salientar que, para o sucesso de um empreendimento desta natureza, devido à natureza da região em estudo, é importante ter em mente que existem diversos fatores, que devem ser trabalhados no sentido de mitigar seus efeitos prejudiciais aos processos envolvidos.

Fatores climáticos: os digestores mais comuns (indiano e chinês) têm sua melhor produção de gás em temperaturas entre 20 e 35°C, podendo reduzir e/ou parar a produção em temperaturas menores. Para um aproveitamento na microrregião de Santa Maria, faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema de compensação de temperatura, baseado em energia solar⁷ ou mesmo um sistema de trocas de calor através da água de refrigeração da turbina, motor ou célula de combustível utilizada, conforme mostra a Figura 22.

⁷ Consultar o projeto de aquecimento do Wild River State Park (TMP, 2003) como orientação para soluções solares de aquecimento.

Fatores biológicos: as bactérias responsáveis pelo processo de digestão anaeróbica e pela produção de biogás são sensíveis a vários produtos químicos presentes em detergentes, desinfetantes, sabões e outros produtos de limpeza utilizados no dia-a-dia, reduzindo a velocidade da digestão, podendo até parar o processo pela eliminação das bactérias presentes no digestor. A modificação dos procedimentos e insumos utilizados para limpeza pode contornar este tipo de dificuldade.

Fatores bioquímicos: as dificuldades de se obter uma relação C/N (Carbono x Nitrogênio) somente com efluentes humanos e lixo orgânico pode representar um problema, porém a utilização periódica de outros resíduos, como estrume bovino e/ou suíno, pode equilibrar esta relação nas proporções adequadas⁸.

Fatores secundários: água, traços de enxofre e outros elementos presentes na composição do biogás provocam a corrosão acelerada motores endotérmicos movidos a biogás. Em células de combustível estes elementos provocam a redução considerável da vida útil da célula pela sua acumulação no substrato. Embora haja um aumento nos custos de operação, estes fatores podem ser mitigados pela utilização de filtros na admissão do gás no motor e de sistemas de recuperação do metano nas células de combustível.

Fatores ideológicos: a conscientização da população em uma aplicação deste tipo é o fator mais importante a ser considerado, pois é a partir desta consciência que o processo ganha força: pela correta

⁸ Informações mais detalhadas sobre relação C/N no guia do LGED Biogás Programme (LGED, 2002).

separação prévia do lixo orgânico, pela utilização de métodos e produtos de limpeza biologicamente adequados, pelo incentivo ao consumo da energia proveniente do CMG, entre outros.

Fatores logísticos: a coleta, o transporte e o manuseio do material orgânico, bem como o devido manuseio do biofertilizante podem impactar na operação de uma planta de biodigestão dependendo da capacidade da mesma e da quantidade de resíduos necessários. A organização de uma estrutura adequada pode, além de solucionar o problema de logística, gerar empregos e desenvolver novos setores produtivos na comunidade.

A implantação de um CMGEE na região estudada pode ser iniciada através de um projeto de modificação do sistema de coleta do lixo e do esgoto cloacal dos presídios, escolas públicas e prédios públicos, para a coleta adequada da matéria orgânica a ser utilizada na alimentação da planta.

Em uma segunda etapa vem a construção do CMGEE propriamente dito, podendo o mesmo ser construído como instalação anexa a um estabelecimento carcerário permitindo, desta forma, a utilização da mão-de-obra (devidamente remunerada) dos detentos na operação da planta. O envolvimento dos detentos permite benefícios secundários, tais como: melhora do conceito carcerário perante a sociedade, maior facilidade de reabilitação de detentos e sua inclusão social, especialização em atividades, possibilidade de permanência no trabalho após cumprimento da pena, ganho financeiro, redução dos custos de operação da planta, entre outros.

Do ponto de vista energético, os prédios com altas concentrações humanas são potencialmente mais atrativos para alimentação dos sistemas de digestão, devido à disponibilidade de matéria orgânica⁹. Do ponto de vista humano, há a necessidade de conscientização na utilização e limpeza dos banheiros e na separação do lixo, devido aos fatores já comentados.

5.3 Geração distribuída em postos de gás natural

Já considerando o crescimento da rede de distribuição de gás natural pela região sul do Brasil e a conclusão, num futuro próximo, do gasoduto Uruguaiana - Porto Alegre, a região de Santa Maria apresenta grande potencial de estabelecer uma rede de postos de combustíveis oferecendo, além dos combustíveis tradicionais, o gás natural aos consumidores.

Devido às características técnicas da distribuição do gás natural e a utilização deste gás nos veículos, nos postos de combustíveis é necessária a instalação de sistemas de compressão do gás natural, até que o mesmo atinja a pressão especificada para uso veicular. Estes compressores demandam, para seu funcionamento, grupos geradores a diesel na faixa de 150 a 250kVA de potência, para evitar as multas das concessionárias pela ultrapassagem da demanda de energia elétrica contratada em períodos intermitentes de picos de abastecimento.

A terceira proposta, baseada neste cenário já atual nos centros atendidos com gás natural, é a implantação de sistemas de geração de

⁹ Consultar o projeto de banheiros públicos da Sulabh International Social Service Organization (SULABH, 2005) para orientações sobre a geração de energia a partir dos resíduos humanos provenientes de prédios públicos.

energia elétrica baseados em grupos geradores a gás natural, para suprir as demandas energéticas do próprio estabelecimento nos períodos de pico e, nos demais períodos, injetar esta energia no sistema interligado.

A implantação deste tipo de aplicação contribui com o sistema interligado de duas formas distintas: a primeira pelo alívio de carga do sistema, suprimindo a demanda dos postos com a geração própria nos períodos de pico de abastecimento e a segunda, pelo fornecimento de energia ao sistema nas demais ocasiões.

Além das vantagens ao sistema interligado também podem ser identificadas outras vantagens:

- Maior compatibilidade ambiental, pela substituição do diesel pelo gás natural, um combustível com índices de emissão de gases bem menores se considerada a utilização de motores endotérmicos e praticamente nulos, se considerada a utilização de células de combustível.
- Redução de custos de operação, pelo custo reduzido do gás natural em relação ao diesel.
- Redução de riscos físicos, especificamente ruído, devido às características dos motores a gás, mais silenciosos que as máquinas diesel, reduzindo assim a incidência de Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR) em funcionários.

A utilização dos sistemas baseados em gás natural apresenta algumas dificuldades, que devem ser analisadas e trabalhadas de modo

a tornar viável a sua implantação em escala e a conexão no sistema elétrico interligado.

Quebra de paradigma: a tecnologia de geração a gás natural é pouco explorada, como aplicação no Brasil, devido a um paradigma presente neste setor produtivo: a geração de energia elétrica realizada a partir do diesel e a movimentação do compressor através de um motor assíncrono acionado por um *soft-starter*¹⁰. A Figura 23 mostra de forma simplificada como é estruturado um sistema de geração de energia em postos de gás natural atualmente, segundo o paradigma apresentado.

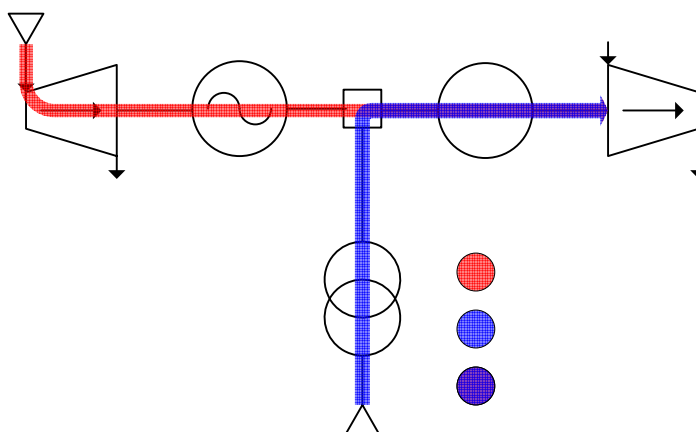


Figura 23 – Representação gráfica do paradigma atual nos postos de gás natural no Brasil.
Fonte: Elaboração Própria.

Viabilidade técnica: os motores diesel apresentam maior imunidade a solicitações de torque que os motores a gás equivalentes. Desta forma, as solicitações de torque na partida do compressor tornam o uso do gás viável somente em condições especiais: o motor a

¹⁰ *Soft-starter*: dispositivo de partida de motores elétricos que se utiliza de um sistema de comutação que parte o motor com frequência e tensão constantes, controlando sua corrente durante a partida do motor. Para mais informações, consultar Lander (1996), página 519.

gás com maior potência que o diesel ou um novo tipo de partida do motor assíncrono. A solução atualmente mais passível de utilização e com custo relativamente menor é a utilização da partida do motor assíncrono através de inversor de frequência¹¹, possibilitando o uso de uma máquina endotérmica com potência muito próxima de sua equivalente diesel, trazendo ganhos de custos pela utilização de um gerador assíncrono, interligando o mesmo no sistema através do próprio inversor (ver Figura 24).

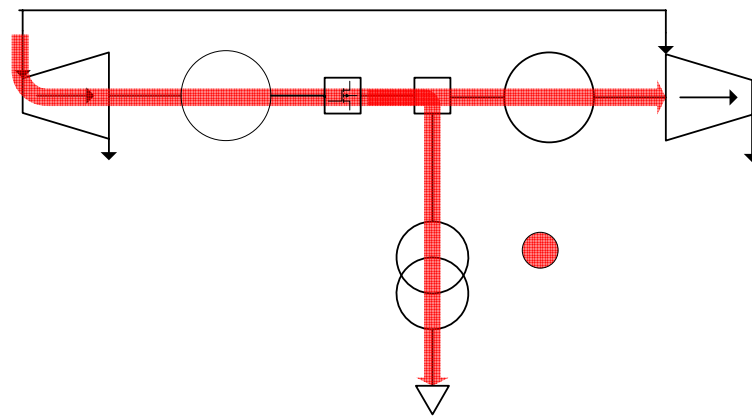


Figura 24 – Representação gráfica da sugestão de aproveitamento em postos de gás natural.
Fonte: Elaboração própria.

Viabilidade econômica: atualmente os custos de um sistema de geração a gás natural são maiores que de um sistema diesel equivalente, porém o desenvolvimento da tecnologia e sua utilização crescente tendem a tornar esta barreira inexistente. O custo mais representativo nesta aplicação é o sistema de inversão *versus soft-starter*. Porém a possibilidade de interligação com o sistema de forma mais simples, sem estruturas complexas de paralelismo e a

¹¹ Inversor de frequência: dispositivo de partida de motores elétricos que realiza a partida de um motor assíncrono através do controle da frequência, partindo o motor com torque constante. Para mais informações, consultar Lander (1996), página 533.

MOTOR TURBINA
A GÁS NATURAL

EXAUSTÃO

GERADOR
ASSÍNCRONO

G

INVE

TRANSFO

necessidade de geradores síncronos (indispensáveis com o uso de *soft-starter*) contribui para uma compatibilidade econômica muito grande.

Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): a lacuna de pesquisas neste tipo de aplicação, justificada pelo paradigma, já tratado, dominante nos fornecedores de compressores para postos de gás natural, é pouco explorada atualmente. Existem alguns estudos de viabilidade realizados por empresas do setor elétrico, porém ainda em fase inicial. A conscientização das iniciativas pública e privada é um fator importante no desenvolvimento de tecnologia de gás, até mesmo considerando novos métodos, como: acoplamento mecânico direto entre motor a gás e compressor, utilização de turbinas a gás e células de combustível.

A implantação de sistemas distribuídos de geração a gás natural em postos de combustíveis pode ser aplicada ainda na fase de implantação dos postos de gás natural, eliminando os custos de adaptação necessários em grupos diesel já em operação e valendo-se também das possibilidades de pesquisa e desenvolvimento da tecnologia adequada, oferecidas pelos estabelecimentos de ensino superior existentes na região.

5.4 Conclusões

As sugestões propostas atendem – por englobarem a região de Santa Maria, potenciais alternativos de energia e se aplicarem nos setores de estudo anteriormente definidos – os objetivos propostos no início do trabalho, de forma satisfatória e aplicável praticamente após um maior detalhamento técnico e econômico.

A região de Santa Maria apresenta características interessantes à implantação de aproveitamentos de fontes alternativas de energia, entre elas a disponibilidade atual de biomassa e futura de gás natural. Assim, o desenvolvimento de alternativas para as dificuldades energéticas e ambientais nesta região, e também no Brasil, é um compromisso que deve ser assumido não só pelo governo e organizações não governamentais, mas também pela iniciativa privada, órgãos de ensino e, principalmente, pela população.

A conscientização, neste caso, é fundamental, pois dela parte a iniciativa e o interesse pelo uso de fontes alternativas e o primeiro passo na quebra de paradigmas que envolvem a utilização de medidas tradicionais na solução dos problemas energéticos e ambientais. Medidas estas geralmente baseadas nos processos usuais não renováveis e ambientalmente nocivos ou baseadas em fontes renováveis em evidência, mas que apresentam dificuldades de implantação ou lacunas de potencial aproveitável.

Sendo assim, a criação de um CMGEE em Santa Maria, ou mesmo um CRGEE que atenda a toda a região, pode ser uma alternativa real, viável e fortemente considerável, pois, além de oferecer sua contribuição na matriz energética sistêmica, proporcionando uma disponibilidade energética local, com custos e perdas de transmissão reduzidas, o aproveitamento de potenciais solares, eólicos, geotérmicos, de biomassa, entre outros, nos CMGEE permitem o desenvolvimento voltado à preservação do meio ambiente, o desenvolvimento tecnológico, social e econômico da região onde são implantados.

A última alternativa não apresenta aplicação imediata na região de Santa Maria, porém começa a tornar-se exequível a médio prazo com a chegada do gás natural na região, consequência da conclusão do gasoduto Uruguaiana – Porto Alegre. O fomento à pesquisa e à implantação de projetos pilotos na aplicação de sistemas de geração distribuída em postos de gás natural, ainda na fase de estruturação dos serviços de abastecimento, pode ser fundamental no sucesso desta proposta de aplicação.

Assim como a biomassa, o gás natural para geração de energia elétrica apresenta índices reduzidos de emissões atmosféricas, se comparado com seus concorrentes diretos: petróleo e carvão. Desta forma, o gás natural contribui, não somente atendendo à diversificação da matriz energética e aos benefícios técnicos e econômicos ao sistema elétrico, já mencionados, mas também, em menor grau, no desenvolvimento econômico local e na redução dos impactos ambientais, principalmente na redução das emissões atmosféricas nos centros urbanos.

5.5 Contribuições

A criação de CMGEE traz uma grande contribuição na matriz energética sistêmica local, através da sua participação como um sistema de geração distribuída de energia elétrica, proporcionando a redução da vulnerabilidade às faltas no sistema interligado, diversificação da matriz energética, geração de energia elétrica com matéria-prima renovável e de baixo custo, venda da energia e biofertilizante em escala regional e com baixo impacto ambiental.

Como na Região de Santa Maria os potenciais eólicos, hídricos e solares não se apresentam aproveitáveis em quantidades e/ou custos que viabilizem economicamente sua utilização, a biomassa proveniente das municipalidades vem a tornar-se a alternativa mais atrativa de aplicação nos CMGEE, promovendo o desenvolvimento sustentável da região com os seguintes benefícios:

- Aumento da oferta de empregos, na operação do CMGEE;
- Crescimento econômico local pela venda da energia e do biofertilizante;
- Desenvolvimento de outros setores produtivos, com o uso do biofertilizante;
- Melhora nas condições de saneamento urbano, pela coleta dos dejetos e lixo orgânico para geração de energia;
- Redução dos problemas ambientais dos depósitos de lixo, através da redução do volume de matéria orgânica destinada ao mesmo;
- Desenvolvimento tecnológico através do fomento às pesquisas, como: melhora da eficiência dos processos, estudo da viabilidade de novas formas de operação dos CMGEE, desenvolvimento de novos tipos de sabões ou detergentes que não afetem o processo de produção do biogás, desenvolvimento de novos projetos de sanitários, entre um grande número de possibilidades;

- Consciência ambiental do uso da energia aproveitada de resíduos, remodelando o ciclo da matéria orgânica na sociedade e incentivando o crescimento sustentável;
- Inclusão social, se considerada a instalação do CMGEE em presídios para utilização da mão-de-obra dos detentos, proporcionando ganho econômico para os mesmos, além da maior probabilidade de reabilitação, garantia de emprego e mudança do conceito do sistema carcerário.

As três alternativas discutidas, propostas a partir da pesquisa de aplicações já existentes e sua adaptação para a realidade local, podem trazer vários benefícios à comunidade, ao ambiente e ao sistema elétrico em si, porém não são únicas ou estanques, mas sim pequenas contribuições em um cenário brasileiro bem mais amplo.

É importante observar que o aproveitamento de fontes alternativas de energia é uma realidade em vários países no mundo e o Brasil tem a necessidade imediata de desenvolvimento neste sentido, seja pelo seu potencial em recursos naturais, que devem ser preservados, seja pela sua demanda de desenvolvimento social, econômico, tecnológico e ambiental, realizado de forma sustentável.

5.6 Sugestões

Deve-se salientar que, independentemente da viabilidade econômica de implantação (fora do escopo de estudo), a aplicação das sugestões aqui propostas demanda maior detalhamento em termos

tecnológicos e econômicos. Podendo ser objeto de estudos posteriores na busca de comprovar as possibilidades e benefícios aqui apresentados ou simplesmente preencher as lacunas práticas das aplicações propostas.

Também se abre um leque de possibilidades em outras áreas de estudo, que podem agregar mais conhecimento ao tema apresentado como, por exemplo: estudos de design de vasos sanitários para facilitar a limpeza e minimizar o uso de detergentes; pesquisa de novos produtos de limpeza baseados em substâncias que não agridem as bactérias do ciclo de biodigestão; sistemas de logística de transporte dos resíduos; utilização de outras fontes de biomassa além daquelas aqui propostas e pesquisas de avaliação de riscos biológicos no uso do resíduo da biodigestão como biofertilizante na produção agrícola.

Em um futuro próximo, com a evolução do sistema de distribuição do gás natural no Rio Grande do Sul, também se abrirá um campo de pesquisas sobre a utilização do gás das mais variadas formas. A sugestão de geração distribuída com gás natural proposta pode ser um ponto de partida para várias pesquisas na área de geração de energia elétrica com gás natural e também na geração distribuída.

Por fim, encerra-se este trabalho com uma frase que representa esta busca de soluções diferenciadas, mesmo que pequenas, adequadas à realidade e ao ambiente local, possibilitando, assim, que o Brasil dê mais um passo em direção ao desenvolvimento sustentável da sua economia: *“Transportai um punhado de terra todos os dias e fareis uma montanha”* (Confúcio, 551-479a.C.).

6 REFERÊNCIAS

6.1 Bibliografia

APEREC – Asia Pacific Energy Research Centre. **APEC Energy Overview**. Tokyo, Japan: The Institute of Energy Economics, dec. 2003.

AWEA – American Wind Energy Association. **Wind Power Outlook 2004**. Washington, United States. 2004.

BALBONTÍN, Patricio Rozas. **La crisis eléctrica en Chile: antecedentes para una evaluación de la institucionalidad regulatoria**. Santiago do Chile: División de Recursos Naturales e Infraestructura - Proyecto CEPAL, 1999.

BLOK, Kornelis. **Guest Editorial: Renewable energy policies in the European Union**. [United Kingdom]: Elsevier - Energy Policy, in press, 2005.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 8ª ed. Belo Horizonte: MG, Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

CASHEE – COMISSÃO DE ANÁLISE DO SISTEMA HIDROTÉRMICO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório: O desequilíbrio entre oferta e demanda de energia elétrica**. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, 2001.

CHAUREY, Akanksha; RANGANATHAN, Malini; MOHANTY, Parimita. **Electricity access for geographically disadvantaged rural communities – technology and policy insights**. [United Kingdom]: Elsevier – Energy Policy, v. 32, n. 15, p. 1693-1705, oct. 2004.

CLARK, Woodrow. ISHERWOOD, William. **Distributed generation: remote power systems with advanced storage**

technologies. [United Kingdom]: Elsevier – Energy Policy, v. 32, n. 15, p. 1573-1589, oct. 2004.

CONTI, John; TERRY, Tracy; SCHOEBERLEIN, Dave. **The Impact of Wholesale Electricity Price Controls on California Summer Reliability.** Washington DC: U.S. Department of Energy, 2001.

CTGÁS – Centro de Tecnologia do Gás. **Geração e cogeração de energia a gás.** Rio de Janeiro, 2002. 1 v. não paginado.

EBRAHIMIAN, Esther. **Community action to address climate change: case studies linking sustainable energy use with improved livelihoods.** GEF Small Grants Programme & United Nations Development Programme. Graphic Labs Inc.: New York, nov. 2003.

ERICSSON, Karin; HUTTUNEN, Suvi; NILSSON, Lars J.; SVENNINGSSON, Per. **Bioenergy policy and market development in Finland and Sweden.** [United Kingdom]: Elsevier – Energy Policy, v. 32, n. 15, p. 1707-1721, oct. 2004.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica.** Santa Maria: Editora da UFSM, 1999.

GUSTAVSSON, Mathias. **Biogas Technology - Solution in search of its problem: a study of small-scale rural technology introduction and integration.** Ph. Lic. Thesis. Department for Interdisciplinary Studies of the Human Condition, Göteborg University. Göteborg, Sweden. Mar, 2000.

ICSD – International Center for Sustainable Development. **Master Plan for Longju Sustainable Village in Guanghan, Sichuan Province, China.** Gaithersburg, Maryland. Jan 2002.

IEA – International Energy Agency. **Energy Policies of IEA Countries -- Canada 2000 Review.** Paris, France. 2000.

IEA – International Energy Agency. **Energy Policies of IEA Countries -- Japan 2003 Review.** Paris, France. 2003.

KAYA, Durmus. **Renewable energy policies in Turkey.** [United Kingdom]: Elsevier – Renewable & Sustainable Energy Reviews, in press, 2005.

LANDER, Cyril W. **Eletrônica Industrial: Teoria e Aplicações**. 2ª ed. 647p. São Paulo: Makron Books, 1996.

LAPLANTE, Phillip A. **Electrical Engineering Dictionary**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.

LIKERT, Rensis. **A technique for the measurement of attitudes**. Archives of Psychology, n. 140, p.1-50, 1932.

MARTINS, Maria Paula de Souza. **Inovação tecnológica e eficiência energética**. Monografia de Pós-Graduação. Rio de Janeiro, RJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1999.

MASLOW, Abraham. **Motivation and Personality**. 369p. 2nd ed., New York, NY: Harper & Row, 1970.

MICHAELIS. **Dicionário Escolar Inglês**. 844p. Ed. Melhoramentos. São Paulo. 2001.

MITCHELL, Catherine; CONNOR, Peter. **Renewable energy policy in the UK 1990-2003**. [United Kingdom]: Elsevier – Energy Policy, v. 32, n. 17, p. 1935-1947, nov. 2004.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2003**. 168p. Brasília. 2003.

MMUA - Minnesota Municipal Utilities Association. **A practical guide to wind energy development for municipal utilities**. Center for Energy and Environment. 55p. Minneapolis. July, 1999.

MONTES, Germán Martinez; LÓPEZ, María del Mar Serrano; GÁMEZ, Maria del Carmen Rubio; ONDINA, Antonio Menéndez. **An overview of renewable energy in Spain. The small hydro-power case**. [United Kingdom]: Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.9, n.5, p. 512-534, oct. 2005.

MUNEER, T.; MAUBLEU, S.; ASIF, M. **Prospects of solar water heating for textile industry in Pakistan**. . [United Kingdom]: Elsevier – Renewable & Sustainable Energy Reviews, in press, 2005.

NET – National Environmental Trust. **First in EMISSIONS, Behind in SOLUTIONS** – global warming pollution from U.S. States

compared to more than 150 developing countries. 88p. Washington, United States. 2002.

NORLANDER, Gerald A. **Disconnected Policymakers**. [United Kingdom]: Elsevier – The Electricity Journal, v. 14, n. 7, p. 22-30, Aug.- Sept., 2001.

OEE – Office of Energy Efficiency. **The state of energy efficiency in Canada**. Ottawa, Canada. 2003.

OLIVEIRA, Luciano Basto. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil**. 237f. Tese (Doutorado em Ciências – Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira; ZILLES, Roberto. **Sistemas Fotovoltaicos – Panorama Atual**. São Paulo, SP. Universidade de São Paulo – Instituto de Eletrotécnica e Energia. 2001.

RAHMAN, M. H.; MOTTALIB, M. A.; BHUIYAN, M. H. **A study on biogas technology in Bangladesh**. 22nd WEDC Conference – Reaching the unreached: challenges for the 21st century. New Delhi, India. 1996.

ROUNDTABLE. **6 Steps to a sustainable Energy Future in Australia**. Tasmania, Australia. Renewable & Sustainable Energy ROUNDTABLE Policy Proposals, sept. 2002.

SEMC – Secretaria de Energia, Minas e Comunicações. **Atlas Eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS. 2002.

TMP – The Minnesota Project. **Design a clean energy future: a resource manual**. University of Minnesota's Regional Sustainable Development Partnerships & Minnesota Department of Commerce: Minnesota. July, 2003.

TSAI, W. T.; CHOU, Y. H.; CHANG, Y. M. **Progress in energy utilization from agrowastes in Taiwan**. [United Kingdom]: Elsevier – Renewable & Sustainable Energy Reviews, v. 8, n. 5, p. 461-481, oct. 2004.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **The Kyoto Protocol**. New York: may, 1992.

WAMUKONYA, Njeri. **Power sector reform in developing countries: mismatched agendas**. [United Kingdom]: Elsevier - Energy Policy, v. 31, n. 12, p. 1273-1289, Sept. 2003.

WEA – World Energy Assessment. **Energy and the challenge of sustainability**. United Nations Development Program, Bureau for Development Policy. New York, United States. Sept. 2000.

WORLD BANK. **Global Development Finance 2001: Building coalitions for effective development finance**. Washington DC, 2001.

6.2 Outras referências

DULP - Dicionário Universal da Língua Portuguesa. **Dicionário Online**. Priberam Informática. Disponível em <<http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx>> - último acesso em 03/01/2005.

GASNET – O site do gás natural. **Mapa Gasodutos**. Disponível em <http://www.gasnet.com.br/gasnet_br/gasoduto/gasodutos.asp> último acesso em 03/04/2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de divisões territoriais – Microrregiões 2001**. Disponível em <www.ibge.gov.br> – último acesso em 01/11/2004.

ICSD – International Center for Sustainable Development. **Presentation: Longju Model Sustainable Village**. Guanghai, China. Aug. 2001. Disponível em <<http://www.solarcities.org/guanhanmain.htm>> - último acesso em 31/01/2005.

LGED - Local Government Engineering Department. **Sustainable Rural Development - LGED Biogas Programme**. Bangladesh. 2002. Disponível em <<http://lged.org/sre>> - último acesso em 15/12/2004.

PCE – Portal Célula a Combustível. **Funcionamento das células a combustível**. Brasil H2 Fuel Cell Energy, 2004. Disponível em

<<http://www.celulaacombustivel.com.br/cac/oconceito/cacfunc.htm>>
último acesso em 20/01/2005.

PGE – Portal GásEnergia. **Sobre o gás natural**. Petrobrás S/A. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em <<http://www.gasenergia.com.br/oquee.jsp>>
- último acesso em 04-11-2004.

POWER-Technology.com. **Uruguiana Combined-Cycle Gas Thermal Power Plant, Brazil**. Disponível em <<http://www.power-technology.com/projects/urugaiana/>>. Último acesso em 03/04/2005.

SULABH International Social Service Organization. **Sulabh Public Toilet & Bath and Health Centre in India**. Disponível em <<http://www.sulabhinternational.org/>> - último acesso em 23/02/2005.
Encontrado a partir de: Stockholm Partnerships for Sustainable Cities, <<http://www.partnerships.stockholm.se/>> - project number 142.

UCS – Union of Concerned Scientists. **How wind energy works**. Last revision sept. 2004. Disponível em <http://www.ucsusa.org/clean_energy/renewable_energy/page.cfm?pageID=80> - último acesso em 05-11-2004.

____. **How natural gas works**. Last revision feb. 2003. Disponível em <http://www.ucsusa.org/clean_energy/renewable_energy/page.cfm?pageID=84> - último acesso em 05-11-2004.

WOBBEN do Brasil. **Usinas Eólicas no Brasil**. Disponível em <<http://www.wobben.com.br/usinas.htm>> - último acesso em 01-05-2005.