

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LEANDRO KRUMMENAUER

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO
FONTES ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Porto Alegre

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**FONTES ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Projeto de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para Graduação em
Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LEANDRO KRUMMENUAER

FONTES ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS

Doutor em Engenharia Elétrica (UFRGS-Porto Alegre, Brasil)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Prof^a. Dr^a Gladis Bordin, UFRGS

Doutora pela Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, Brasil

Eng. João Carlos Felix,

Secretaria de Infra-Estrutura e Logística do Estado do Rio Grande do Sul

Eng. Eletricista pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Porto Alegre, Dezembro de 2009.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus amados pais, Ricardo e Helenita, pelo apoio incondicional, pelos conselhos e pelos ensinamentos de vida. Pais que me ensinaram a lutar e acreditar sempre em algo maior, Deus.

Aos meus queridos avôs, Julio e Lolita, pelo carinho e preocupação. São pessoas de quem me orgulho muito.

Ao meu tio Beto, pelas conversas e conselhos ao longo desses anos.

A querida avó Wanda e ao Louro. Essa vitória também é de vocês.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e familiares, por todo amor e paciência ao longo desses anos de curso.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ao meu orientador Prof. Dr Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro pela orientação e ensinamentos durante esta última etapa.

Ao engenheiro João Carlos Felix pelas informações valiosas e pela experiência transmitida.

Ao futuro engenheiro Rodrigo Felix e ao engenheiro Felipe Ledur pela ajuda e companheirismo.

Ao CPD-UFRGS, onde adquiri crescimento profissional e pessoal.

A APS Engenharia pela forma como me acolheu e pela compreensão nos últimos meses de curso.

Aos estimados colegas de engenharia, Diogo Stelmach, Daniel Ferreira, Tiago Meirelles, Eduardo Marques, Rafael Tonin, Rafael Rech, Jackson Jung, Jovani Balbinot e Everton Kerber Ferreira pela fraternal companhia durante a formação acadêmica.

Ao Colégio Militar de Porto Alegre, onde adquiri valores e amigos para o resto da minha vida. Obrigado a todos do grupo CNAN formado nessa instituição.

Enfim, a todos que de alguma forma ajudaram nesse trabalho.

RESUMO

Durante o último século e início deste, o mundo tornou-se dependente, em grande escala, de combustíveis oriundos do petróleo, que além de não ser uma fonte renovável, está sujeito a problemas com o fornecimento e preços supervalorizados por crises políticas e econômicas. Dessa forma, o objetivo do trabalho é apresentar o atual cenário energético nacional e expor alternativas renováveis para a geração de energia elétrica juntamente com as tecnologias empregadas para este fim. Técnicas de exploração e aproveitamento de Energia Eólica, PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) e Biomassa são explanadas ao longo do trabalho e por último é proposta uma alternativa para o atendimento à demanda energética do estado do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Energia Elétrica. Eólica. PCH. Biomassa

ABSTRACT

During the last century and the beginning of this, the world became dependent on large-scale fuel from oil, which in addition to being a renewable resource, is subject to problems with the supply and prices overvalued by political and economic crisis. Thus, the objective of this work, besides presenting the current national energy scenario, renewable alternatives are exposed to electric power generation along with the technologies employed for this purpose. Techniques of exploration and exploitation for wind power, small hydro (small hydroelectric plants) and biomass are explained throughout the work and ultimately be offered an alternative to meet the energy demand of the state of Rio Grande do Sul.

Keywords: Electric Energy. Wind. PCH. Biomass

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	4
AGRADECIMENTOS	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
SUMÁRIO.....	8
INDICE DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS.....	12
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	13
1.2 Estrutura do Trabalho	13
1.3 Objetivo	14
1.4 Cenário Energético Nacional.....	14
1.4.1 Sistema Interligado Nacional – SIN.....	16
1.4.2 Os Sistemas Isolados.....	18
1.4.3 Geração Atual no Brasil.....	20
2 FONTES ALTERNATIVAS	23
2.1 Energia Eólica	23
2.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHS).....	24
2.3 Biomassa	26
2.3.1 Cama de Aves.....	27
2.3.2 Suínos.....	28
3 CONVERSÃO EM ELETRICIDADE DAS FONTES ALTERNATIVAS	30
3.1 Energia Eólica	30
3.1.1 Estudo do Vento.....	32
3.1.2 Estudo da Turbina.....	36

3.2 Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	46
3.2.1 Vazão e Queda	47
3.2.2 Turbina	48
3.3 Biomassa (Biodigestor).....	52
4 ATENDIMENTO À DEMANDA FUTURA DO RIO GRANDE DO SUL	60
4.1 Situação Atual e Futura demanda do Estado do RS	62
4.2 Contribuição para o Estado com a Geração Alternativa.....	65
4.2.1 Eólica	66
4.2.2 Pequena Central Hidrelétrica	68
4.3 Situação Prevista Para 2012	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistemas Isolados	16
Figura 2 Novas linhas de transmissão no Amazonas	20
Figura 3 Custos com geração	22
Figura 4 Gerador em corte.....	30
Figura 5 Transformador instalado em Aerogerador	32
Figura 6 Seção transversal de um cilindro imaginário	33
Figura 7 Potência do vento (VS) velocidade do vento	36
Figura 8 Turbina com eixo horizontal	37
Figura 9 Turbina Darrius Vertical	37
Figura 10 Fluxo de ar numa seção de pá	38
Figura 11 Tipos de eixo de turbina.....	39
Figura 12 Rotor com eixo horizontal.....	40
Figura 13 –Fluxo de ar na turbina	41
Figura 14 Máximo de Betz	44
Figura 15 Máxima Eficiência da turbina	45
Figura 16 PCH.....	47
Figura 17 Roda Pelton	50
Figura 18 Turbina Pelton.....	50
Figura 19 Turbina Francis	51
Figura 20 - Turbina.....	51
Figura 21 Biodigestor Indiano.....	54
Figura 22 Biodigestor Chinês	55
Figura 23 Biodigestor Batelada	56
Figura 25 Relatório CEEE da energia produzida	63
Figura 26 Divisão Concessionárias RS	63
Figura 27 Número de consumidores por concessionária.....	64
Figura 28 Percentagem de consumidores por concessionária	64
Figura 29 Geração em 2007 no RS.....	64
Figura 30 Geração das fontes alternativas.....	65
Figura31 Potência instalada no estado.....	67
Figura 32 Atlas dos ventos RS	67
Figura 33 Geração de Energia Eólica.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Acréscimo anual da geração.....	18
Tabela 2 - Capacidade instalada no país.....	21
Tabela 3 - Comparativo biogás com outras fontes	57
Tabela 4 - Comparativo material orgânico com biogás.....	58
Tabela 5 - Crescimento do consumo na região sul.....	70
Tabela 6 - Números da geração para 2012	72

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

BIG: Banco de Informação de Geração

CCC: Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ONS: Operador Nacional do Sistema

PAC: Programa de Aceleração de Crescimento

PCH: Pequena Central Hidrelétrica

PDEE: Plano Decenal de Energia Elétrica

PROINFRA: Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia

RIMA: Relatório de Impacto Ambiental

SIN: Sistema Interligado Nacional

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Uma das variáveis para definir uma nação como desenvolvida é a facilidade de acesso da população aos serviços de infra-estrutura, saneamento básico, transportes, telecomunicações e energia. Todos esses serviços são de grande importância, mas a questão energética é considerada o fator determinante para o desenvolvimento econômico e social ao fornecer apoio mecânico, térmico e elétrico às ações humanas. Com o crescimento da economia e demanda de energia, surge a preocupação dos países com o fim das reservas e com a poluição gerada no processo de conversão de energia elétrica. Para solucionar esses entraves da sociedade moderna, e não depender mais dos exportadores de petróleo, países vêm investindo em energias alternativas como: solar, eólica, biomassa e as pequenas centrais hidrelétricas, para dessa forma gerarem energia de modo menos agressivo ao nosso planeta.

Nesse contexto, as tecnologias com base em fontes renováveis são atrativas não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais. A possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento.

1.2 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, incluindo este introdutório, o qual é composto pela motivação, objetivo e cenário energético nacional.

O segundo capítulo, denominado de Fontes Alternativas, retrata num contexto geral o que é e como são as fontes de energias alternativas que são abordadas ao longo do texto.

O Capítulo 3, Conversão de Fontes Alternativas em Eletricidade, aborda individualmente a conversão em energia elétrica de cada uma das fontes escolhidas e as técnicas utilizadas.

O capítulo 4, Solução Alternativa para o Futuro Energético do Estado do RS, trata da situação do estado, da perspectiva para os próximos anos e principalmente uma solução viável para o suprimento de energia elétrica.

E por último, o capítulo 5 aborda as conclusões e análises sobre o trabalho realizado.

1.3 Objetivo

O trabalho foi elaborado com a responsabilidade de construir e aprofundar os conhecimentos relacionados às Fontes Alternativas, apresentando o cenário energético nacional, no qual essas fontes de energia estão inseridas e, além disso, as tecnologias empregadas para conversão das fontes em eletricidade. Dentre as diversas alternativas para o futuro energético, foram escolhidas três de maior expressão para serem abordadas: Geração Eólica, Pequenas Centrais Hidrelétricas e Biomassa (Oriunda de resíduos de Aves e Suínos).

1.4 Cenário Energético Nacional

O Brasil é um país com aproximadamente 184 milhões de habitantes, segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e se destaca como a quinta nação mais populosa do mundo. Em 2008, cerca de 95% da população tinha acesso à rede elétrica. Segundo dados divulgados no mês de setembro de 2008 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o país conta com mais de 61,5 milhões de unidades consumidoras em 99% dos municípios brasileiros. Destas, a grande maioria, cerca de 85%, é residencial.

De todos os segmentos da infra-estrutura, energia elétrica é o serviço mais universalizado. A incidência e as dimensões dos nichos não atendidos estão diretamente

relacionadas à sua localização e às dificuldades físicas ou econômicas para extensão da rede elétrica. Afinal, cada uma das cinco regiões geográficas em que se divide o Brasil (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte) apresenta características bastante peculiares e diferenciadas das demais.

Estas particularidades determinaram os contornos que os sistemas de geração, transmissão e distribuição adquiriram ao longo do tempo e ainda determinam à maior ou menor facilidade de acesso da população local à rede elétrica. Para geração e transmissão de energia elétrica, por exemplo, o país conta com um sistema (conjunto composto por usinas, linhas de transmissão e ativos de distribuição) principal: o Sistema Interligado Nacional (SIN). Essa imensa “rodovia elétrica” abrange a maior parte do território brasileiro e é constituída pelas conexões realizadas ao longo do tempo, de instalações inicialmente restritas ao atendimento exclusivo das regiões de origem: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte.

Além disso, há diversos sistemas de menor porte, não-conectados ao SIN e, por isso, chamados de Sistemas Isolados, que se concentram principalmente na região Amazônica, no Norte do país. Isto ocorre porque as características geográficas da região, composta por floresta densa e heterogênea, além de rios caudalosos e extensos, dificultaram a construção de linhas de transmissão de grande extensão que permitissem a conexão ao SIN. O Mapa abaixo (Figura 1) mostra os sistemas isolados, concentrados principalmente na região Norte do país.



Figura 1 Sistemas Isolados.

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008.

1.4.1 Sistema Interligado Nacional – SIN

O SIN abrange as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte do Norte. Em 2008, incluía aproximadamente 900 linhas de transmissão que somam 89,2 mil quilômetros nas tensões de 230, 345, 440, 500 e 750 kV. O SIN também é chamado de rede básica que, além das grandes linhas entre uma região e outra, é composto pelos ativos de conexão das usinas e aqueles necessários às interligações internacionais. Além disso, abriga 96,6% de toda a capacidade de produção de energia elétrica do país

oriunda de fontes internas ou de importações, principalmente do Paraguai por conta do controle compartilhado da usina hidrelétrica de Itaipu.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é responsável pela coordenação e controle da operação do SIN, realizada pelas companhias geradoras e transmissoras, sob a fiscalização e regulação da Aneel.

Entre os benefícios desta integração e operação coordenada está a possibilidade de troca de energia elétrica entre regiões. Isto é particularmente importante em um país como o Brasil, caracterizado pela predominância de usinas hidrelétricas localizadas em regiões com regimes hidrológicos diferentes. Como os períodos de estiagem de uma região podem corresponder ao período chuvoso de outra, a integração permite que a localidade em que os reservatórios estão mais cheios envie energia elétrica para a outra, onde o lago está mais vazio, permitindo com isso, a preservação do “estoque de energia elétrica” represado sob a forma de água. Esta troca ocorre entre todas as regiões conectadas entre si.

Outra possibilidade aberta pela integração é a operação de usinas hidrelétricas e termelétricas em regime de complementaridade. Como os custos da produção têm reflexo nas tarifas pagas pelo consumidor e variam de acordo com a fonte utilizada, transformam-se em variáveis avaliadas pelo ONS para determinar o despacho (definição de quais usinas devem operar e quais devem ficar de reserva de modo a manter, permanentemente, o volume de produção igual ao de consumo).

A energia hidrelétrica, mais barata e mais abundante no Brasil, é prioritária no abastecimento do mercado. As termelétricas, de uma maneira geral, são acionadas para dar reforço em momentos chamados como picos de demanda (em que o consumo sobe abruptamente) ou em períodos em que é necessário preservar o nível dos reservatórios ou o “estoque de energia”. Isto ocorreu no início de 2008, quando o aumento do

consumo aliado ao atraso no início do período chuvoso da região Sudeste apontou para a necessidade de uma ação preventiva para preservação dos reservatórios.

O sistema interligado se caracteriza, também, pelo processo permanente de expansão, o que permite tanto a conexão de novas grandes hidrelétricas quanto à integração de novas regiões. Se, em 2008, por exemplo, o SIN era composto por 89,2 mil quilômetros de rede, em 2003, a extensão era de 77,6 mil km. A expansão verificada a partir desse ano reforçou as interligações do sistema, ampliando a possibilidade de troca de energia elétrica entre as regiões. A tabela 1 mostra o acréscimo anual de geração em MW.

Tabela 1 Acréscimo anual da geração

Acréscimo anual da geração (em MW)	
1999	2.840,3
2000	4.264,2
2001	2.506,0
2002	4.638,4
2003	3.998,0
2004	4.234,6
2005	2.425,2
2006	3.935,5
2007	4.028,0
2008	860,5*

(*) Até 16/8/2008.
Fonte: Aneel, 2008.

1.4.2 Os Sistemas Isolados

Os Sistemas Isolados são predominantemente abastecidos por usinas térmicas movidas a óleo diesel e óleo combustível, embora também abriguem Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e termelétricas movidas a biomassa. Estão localizados principalmente na região Norte: nos Estados de Amazonas, Roraima, Acre, Amapá e Rondônia. São assim denominados por não estarem

interligados ao SIN e por não permitirem o intercâmbio de energia elétrica com outras regiões, em função das peculiaridades geográficas da região em que estão instalados.

Segundo dados da Eletrobrás, eles atendem a uma área de 45% do território brasileiro e a cerca de 3% da população nacional (aproximadamente 1,3 milhões de consumidores espalhados por 380 localidades). Em 2008, respondiam por 3,4% da energia elétrica produzida no país. Os sistemas isolados de maior porte suprem as capitais: Rio Branco (AC), Macapá (AP), Manaus (AM) e Porto Velho (RO) e o estado de Roraima (com exceção da capital Boa Vista e seus arredores, abastecidos pela Venezuela).

O sistema isolado de Manaus é o maior deles, com 50% do mercado total dos sistemas isolados. Por serem predominantemente térmicos, os Sistemas Isolados apresentam custos de geração superiores ao SIN. Além disso, as dificuldades de logística e de abastecimento dessas localidades pressionam o frete dos combustíveis (com destaque para o óleo diesel). Para assegurar à população atendida por esses sistemas os benefícios usufruídos pelos consumidores do SIN, o Governo Federal criou a Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC), encargo setorial que subsidia a compra do óleo diesel e óleo combustível usado na geração de energia por usinas termelétricas que atendem às áreas isoladas. Essa conta é paga por todos os consumidores de energia elétrica do país. Em 2008, o valor da CCC foi de R\$ 3 bilhões.

A tendência é que ao longo do tempo os Sistemas Isolados gradualmente sejam integrados ao SIN, a exemplo do que tem ocorrido com as demais regiões do país. Este movimento contribui para a redução dos custos da CCC e é proporcionado pela concessão, construção e operação de novas linhas de transmissão.

Integram esta projeção duas linhas que permitirão a conexão de outros sistemas isolados e cuja construção faz parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do Governo Federal. Uma delas interligará a usina hidrelétrica de Tucuruí (PA) a

Macapá e Manaus. Outra, no final de 2008, ligará Vilhena e Samuel (ambas em Rondônia) a Jauru, no Mato Grosso, o que levará à conexão do sistema isolado Acre-Rondônia . Em junho de 2008 a Aneel leiloou a concessão para construção da linha Tucuruí-Manaus-Macapá, com 1.829 quilômetros de extensão a ser construída na Floresta Amazônica. O empreendimento permitirá o suprimento de energia elétrica a diversos municípios dos estados do Pará, Amapá e do Amazonas, e possibilitará a interligação de diversas regiões isoladas ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Na figura 2, observa-se a região onde serão instaladas as novas linhas de Transmissão na floresta Amazônica

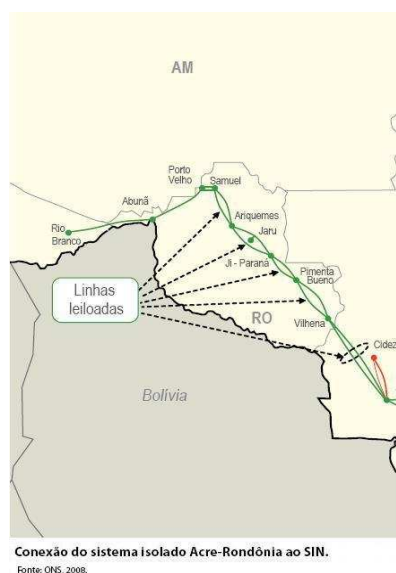


Figura 2 Novas linhas de transmissão no Amazonas.

1.4.3 Geração Atual no Brasil

De acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG), da Aneel, o Brasil contava, em novembro de 2008, com 1.768 usinas em operação, que correspondem a uma capacidade instalada de 104.816 MW, número que exclui a participação paraguaia na usina de Itaipu. Do total de usinas, 159 são hidrelétricas, 1.042 térmicas abastecidas por fontes diversas (gás natural, biomassa, óleo diesel e óleo combustível), 320 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), duas nucleares, 227 centrais geradoras

hidrelétricas (pequenas usinas hidrelétricas) e uma solar. Este segmento conta com mais de 1.100 agentes regulados entre concessionários de serviço público de geração, comercializadores, autoprodutores e produtores independentes.

As informações da Agência também demonstram que, desde 1999, o aumento na capacidade instalada do país tem sido permanente, ao contrário do que ocorreu no final dos anos 80 e início da década de 90, quando os investimentos em expansão foram praticamente paralisados. Em 2007, 4 mil MW foram agregados à capacidade instalada. O BIG relaciona, ainda, 130 empreendimentos em construção e mais 469 outorgados, o que permitirá a inserção de mais 33,8 mil MW à capacidade instalada no país nos próximos anos, como mostra a tabela 2. A maior parte da potência, tanto instalada quanto prevista, provém de usinas hidrelétricas. Em segundo lugar, estão as térmicas e, na seqüência, o conjunto de empreendimentos menores.

Tabela 2 Capacidade instalada no país.

Empreendimentos em Operação			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	227	120.009	0,11
Central Geradora Eolielétrica	17	272.650	0,26
Pequena Central Hidrelétrica	320	2.399.598	2,29
Central Geradora Solar Fotovoltaica	1	20	0
Usina Hidrelétrica de Energia	159	74.632.627	71,20
Usina Termelétrica de Energia	1.042	25.383.920	24,22
Usina Termonuclear	2	2.007.000	1,92
Total	1.768	104.815.824	100
Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	1	848	0,01
Central Geradora Eolielétrica	22	463.330	6,26
Pequena Central Hidrelétrica	67	1.090.070	14,73
Usina Hidrelétrica de Energia	21	4.317.500	58,34
Usina Termelétrica de Energia	19	1.528.898	20,66
Total	130	7.400.646	100
Empreendimentos Outorgados entre 1998 e 2008 (não iniciaram sua construção)			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	74	50.189	0,19
Central Geradora Undi-Elétrica	1	50	0
Central Geradora Eolielétrica	50	2.401.523	9,08
Pequena Central Hidrelétrica	166	2.432.568	9,19
Usina Hidrelétrica de Energia	15	9.053.900	34,21
Usina Termelétrica de Energia	163	12.526.201	47,33
Total	469	26.464.431	100

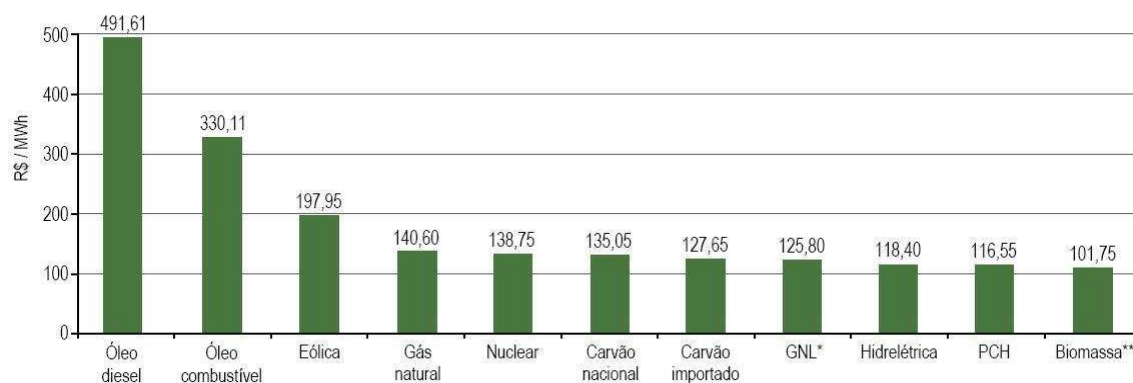
Fonte: Aneel, 2008.

O planejamento da expansão do setor elétrico, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) prevê a diversificação da matriz da energia elétrica, historicamente concentrada na geração por meio de fonte hidráulica. Um dos principais

objetivos desta decisão é reduzir a relação de dependência existente entre volume produzido e condições hidrológicas (ou nível pluviométrico na cabeceira dos rios que abrigam estas usinas).

Há poucos anos, as hidrelétricas representavam cerca de 90% da capacidade instalada no país. Em 2008, essa participação recuou para cerca de 74%. O fenômeno foi resultado da construção de usinas baseadas em outras fontes (como termelétricas movidas a gás natural e a biomassa) em ritmo maior que aquele verificado nas hidrelétricas. Todas as etapas da vida de uma usina (dos estudos para desenvolvimento do projeto à operação) são autorizadas e/ou fiscalizadas pela Aneel. No caso das térmicas, a autorização para construção configura-se como um ato administrativo e, portanto, é relativamente simples. Já a construção das UHEs e PCHs, por envolver a exploração de um recurso natural que, pela Constituição, é considerado como bem da União, deve ser precedida de um estudo de inventário, cuja realização depende de autorização da Aneel e cujos resultados também deverão ser aprovados pela entidade.

A partir daí, o processo regulamentar que dá origem à autorização para a construção das UHE é bem mais complexo do que o das PCHs. Para ilustrar os custos com cada tipo de geração de energia segue a Figura 3 com os números.



Custos de produção de energia elétrica no Brasil.

(*) Gás natural liquefeito

(**) Bagaço de cana

Fonte: PSR, 2008 (adaptado).

Figura 3 Custos com geração

2 FONTES ALTERNATIVAS

A partir da crise do petróleo da década de 70, a economia das nações dependentes desse energético vem sofrendo profundas modificações na busca da substituição daquele produto. No Brasil esforços foram desenvolvidos no sentido de se substituir o petróleo e, dentre as fontes substitutivas desse energético foram pesquisados o álcool, xisto, metanol, etc.

Aproveitando o incentivo dado pelo governo Federal, por meio do PROINFRA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia, que é gerenciada pela Eletrobrás, o qual garante por vinte anos a compra de energia gerada por fontes limpas provenientes de centrais eólicas, biomassa e PCHs, o trabalho aprofunda nesse capítulo, os conceitos sobre esses três tipos de fontes alternativas.

Dentre os assuntos que serão mencionados a seguir e nos próximos capítulos encontram-se: como obter energia das Fontes Alternativas, onde encontrar, onde instalar e principalmente quais suas limitações.

2.1 Energia Eólica

A energia eólica é aquela que, no momento, desperta a maior atenção, não só pelo seu elevado estágio de maturidade internacional, tendo atingido, em dezembro de 2006, uma potência instalada de 75 mil MW no mundo, como também pela facilidade e agilidade de instalação, além das tendências de redução real de custos (Energia Eólica – Ronaldo dos Santos Custódio). Estes fatores são de suma importância, pois permitem uma rápida aplicação desta tecnologia, e assim, oferecer uma forte complementaridade aos regimes de geração hidrelétrica no Brasil.

Outro ponto importante relativa a usinas eólicas é o fato de elas não provocarem desapropriação de áreas e remanejamento de pessoas, comuns nos aproveitamentos

hidrelétricos. Há também, compatibilidade entre a produção de eletricidade a partir do vento e o uso da terra para a pecuária e a agricultura. E, além disso, a instalação desses parques eólicos próximos a pequenos centros de carga, no interior dos estados, diminui as perdas elétricas na transmissão e subtransmissão e aumenta a confiabilidade da região.

Para transformar a energia cinética do vento em energia elétrica são utilizadas máquinas desenhadas para esse fim, denominadas de aerogeradores. A potência do vento é convertida em potência mecânica quando ocorre o movimento dos “cata-ventos” ou “moinhos” como também são conhecidas as turbinas eólicas. O conjunto é composto pela turbina eólica que é acoplada ao gerador através de um eixo. Quando o mesmo entra em movimento, ocorre a conversão eletromecânica de energia e a qual pode ser executada por um gerador síncrono ou assíncrono.

Entretanto, para que tudo ocorra como foi descrito, o principal elemento de todo esse processo, o vento, deve possuir velocidade, frequência e principalmente continuidade. E mesmo preenchendo esses pré-requisitos, deve-se considerar que esse ar em deslocamento possui natureza aleatória e, dessa forma, seu aproveitamento como energia, acaba sendo encarado como uma fonte complementar devido a sua característica estocástica.

2.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHS)

De acordo com a **Resolução N° 394 - 04-12-1998** da ANEEL, PCH (Pequena Central Hidrelétrica) é toda usina hidrelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada seja igual ou superior a 1 MW e igual ou inferior a 30 MW. Além disso, a área do reservatório deve ser inferior a 3 km².

Uma PCH típica, normalmente opera a fio d'água, isto é, o reservatório não permite a regularização do fluxo d'água. Com isso, em ocasiões de estiagem a vazão

disponível pode ser menor que o necessário para que as turbinas funcionem com capacidade plena. Em outras situações, as vazões são maiores que a vazão correspondente a capacidade de operação das máquinas, permitindo a passagem da água pelo vertedouro. Por esse motivo, o custo da energia elétrica produzida pelas PCHs é maior que o de uma usina hidrelétrica de grande porte (UHE-Usina Hidrelétrica de Energia), onde o reservatório pode ser operado de forma a diminuir a ociosidade ou os desperdícios de água.

Entretanto, as PCHs são instalações que resultam em menores impactos ambientais e se prestam à geração descentralizada. Este tipo de hidrelétrica é utilizada principalmente em rios de pequeno e médio porte que possuam desníveis significativos durante seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas.

As resoluções elaboradas pela ANEEL permitem que a energia gerada nas PCHs entre no sistema de potência, sem que o empreendedor pague as taxas pelo uso da rede de transmissão e distribuição. O benefício vale para quem entrou em operação até 2003. As PCHs são dispensadas ainda de remunerar municípios e Estados pelo uso dos recursos hídricos.

Caso sejam implantados no sistema isolado da Região Norte, podem também receber incentivo do Fundo formado com recursos da Conta Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC), para financiar os empreendimentos, caso substituam as geradoras térmicas a óleo diesel nos sistemas isolados da Região Norte.

Portanto, a implantação pode ser questionável, em função dos impactos que venha a causar, principalmente no potencial turístico das cachoeiras que possam desaparecer. Isto no entanto nem sempre é um potencial real, pela falta de infraestrutura em torno da paisagem, incluindo dificuldade de acesso. As compensações acordadas com os órgãos de licenciamento podem se restringir a cuidados ambientais

obrigatórios, reflorestamentos em algum lugar, caso o projeto seja aprovado após as análises técnicas e de impactos ambientais.

2.3 Biomassa

Uma das opções para a produção de energia, a baixo custo que vem apresentando resultados favoráveis e já difundido em vários países é a biomassa. Apesar de ser conhecido há muito tempo, só mais recentemente os processos de obtenção de biogás através da biomassa vêm se desenvolvendo em maior amplitude, objetivando sua utilização como energético. Dessa forma a partir de 1976 os estudos relativos ao seu aproveitamento foram intensificados. A idéia da produção de biogás nas propriedades rurais, indiferentemente de suas dimensões, em última análise, se associa para um objetivo triplo:

- Proporcionar maior conforto ao rurícola permitindo-lhe dispor de um combustível prático e barato que tanto poderá ser usado para fins de calefação e iluminação, como ainda para acionar pequenos motores de combustão interna.
- Contribuir para a economia do consumo de petróleo, pois o biogás é um combustível proveniente de fontes alternativas.
- Contribuir para a preservação do meio ambiente pela produção de biogás, o que consiste na reciclagem de dejetos e resíduos orgânicos poluentes.

A energia da biomassa compreende basicamente de combustíveis provenientes de produtos que sofreram fotossíntese, servindo desta forma, como um reservatório de energia solar indireta. A seguir serão analisadas as características do biogás gerado pela cama de aves e suínos.

2.3.1 Cama de Aves

A cama de aviário consiste na mistura da excreta (fezes e urina), com o material utilizado como substrato para receber e absorver a umidade da excreta, penas e descamações da pele das aves e restos de alimento e água caídos dos comedouros e bebedouros.

Esta cama está sendo produzida em grande quantidade, devido ao crescente aumento da avicultura de corte nos últimos anos. Este crescimento da produção alia-se a alta tecnologia empregada nos galpões, o que significa maior dependência energética e econômica destes sistemas e para aumentar a receita, os produtores comercializavam a cama. Porém, um fato que preocupou os produtores foi a proibição pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do uso deste resíduo para alimentação de ruminantes (Instrução Normativa nº 15, de 17 de julho de 2001, DOU de 18-07-01) impossibilitando que os avicultores vendessem este resíduo como insumo nutricional para pecuaristas. Conseqüentemente, os produtores tiveram que buscar outros meios de aproveitamento e/ou tratamento para a cama.

Analisando os dois fatos citados acima, observa-se que o tratamento deste resíduo deve ser considerado como uma ação intrínseca à produção de frangos, devendo o custo deste tratamento ser inserido no custo de produção da atividade, a fim de proporcionar sustentabilidade a esta cadeia produtiva. Este novo custo causou um desconforto aos avicultores, pois o que no passado era considerado como receita, através da venda da cama para alimentação, no presente, representa custo para o seu devido aproveitamento e/ou tratamento. Como conseqüência deste desconforto, órgãos representativos dos avicultores de corte e representantes de instituições de pesquisa e ensino buscaram alternativas para a cama de aviário que não a alimentação. Entre as alternativas proporcionadas, a biodigestão ou digestão anaeróbia, a qual se mostrou como uma das mais vantajosas.

Este é o processo pelo qual bactérias anaeróbias, através de fermentação ocorrida em biodigestores, degradam a matéria orgânica, tendo como subprodutos o biogás (gás inflamável) e o biofertilizante (líquido organo-mineral estabilizado). Vários autores concluem que a energia renovável para substituir os combustíveis fósseis deverá ter como características principais a compatibilidade ambiental, o alto coeficiente energético, o baixo custo, a fácil estocagem e transporte e, ainda, ser de uso conveniente e socialmente compatível.

2.3.2 Suínos

A produção de biogás, utilizando-se resíduos da suinocultura, é realizada por meio de biodigestores (reatores anaeróbicos), onde o resíduo é geralmente diluído com água de lavagem, constituindo-se no chamado chorume, quantificado em 72 litros por dia/cabeça de suíno e com uma Demanda Química de Oxigênio de 33 g/litro (CCE, 2000).

Como o Brasil é o 4º Produtor mundial de suínos possuindo 33 milhões de cabeças divididos em pequenos, médios e grandes produtores, a utilização dos insumos destes animais é viável para o aproveitamento do biogás disponível na forma de combustível gasoso. Como exemplo de aplicação, pode-se utilizar o gás em um motor de combustão interna/gerador para geração de energia elétrica na propriedade rural (Siebenmorgen et al., 1988).

Em locais onde há disponibilidade de resíduos animais, os quais não podem ser dispostos diretamente na natureza antes de passarem por um processo de tratamento, ocorre a disponibilidade de biogás. No Brasil, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), criado com base na Lei nº 10.438/02 (MME, 2005), tem como objetivo o aumento da participação da energia elétrica gerada por Produtores Independentes Autônomos a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas

(PCHs) e biomassa no sistema interligado nacional. Foi criada uma oportunidade para que sistemas de geração de energia elétrica, utilizando biogás como fonte primária de energia, venham a ser implantados, promovendo, com isso, uma participação dessa fonte renovável alternativa de energia na matriz energética nacional. Estes elementos primários de biomassa podem ser transformados pelas diferentes tecnologias de conversão em biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos e, finalmente, nos produtos finais energias térmica, mecânica e elétrica (Staiss e Pereira, 2001)

As propriedades físicas mais importantes da biomassa sólida são a porcentagem de umidade e a densidade energética. A baixa densidade energética de biomassa sólida em comparação com o petróleo e o carvão mineral origina custos elevados de transporte e armazenamento. O desenvolvimento contínuo de técnicas para aumentar a concentração de energia (por exemplo, briquetagem) ampliará o espectro de utilização da biomassa na transformação energética. No próximo capítulo será apresentado a conversão da energia das fontes alternativas em eletricidade.

3 CONVERSÃO EM ELETRICIDADE DAS FONTES ALTERNATIVAS

Nesse capítulo serão detalhados os processos de conversão das fontes alternativas em energia elétrica, considerando tecnologias e limitações dos mesmos.

3.1 Energia Eólica

Para o aproveitamento da energia eólica, a potência do vento é convertida em potência mecânica por meio de turbinas eólicas. O gerador elétrico, acionado pela turbina, converte energia mecânica em energia elétrica por meio de conversão eletromagnética. O acoplamento entre a turbina e o gerador, na maioria dos grandes aerogeradores, é feito por meio de caixas multiplicadoras, devido às diferentes rotações das duas máquinas. Entretanto, existe em alguns casos, um acoplamento direto, eliminando as caixas multiplicadoras. O gerador pode ser síncrono ou assíncrono. Na figura 4 é mostrado em corte o equipamento mencionado.

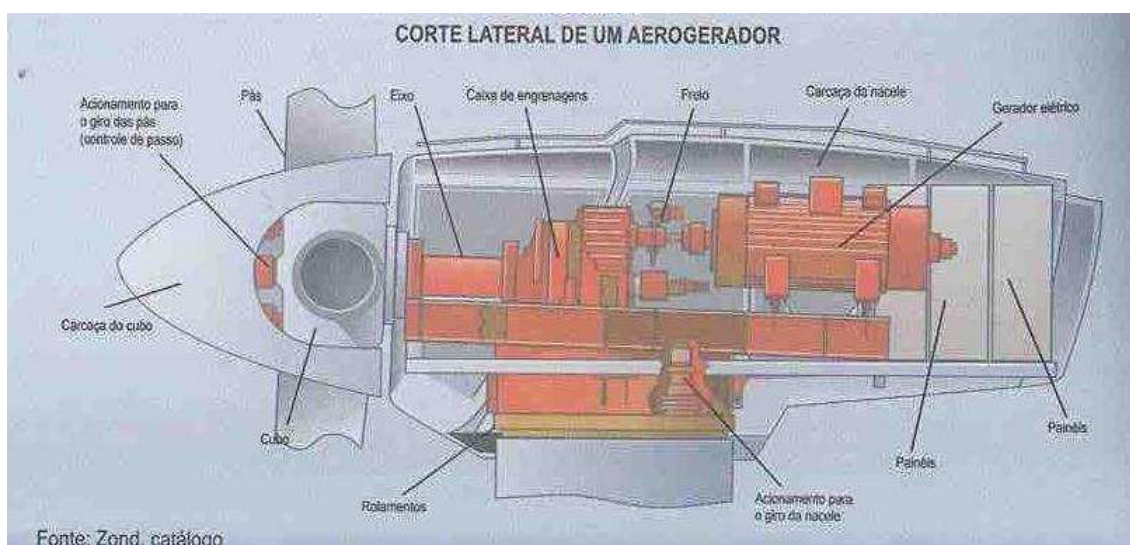


Figura 4 Gerador em corte

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

Os geradores de velocidade variável podem usar gerador síncrono, que tem capacidade de controlar, através da excitação, a tensão e a potência reativa gerada, o que é impossível nos geradores assíncronos. Entretanto, a frequência é diretamente proporcional à velocidade de rotação do rotor, o que pode exigir o uso de sistemas de conversão de frequência.

Os sistemas de conversão de frequência usam a eletrônica de potência constituindo-se de um retificador (“AC-DC”) e um inversor (“DC-AC”), possibilitando controle da onda de saída: forma, frequência, fator de potência e amplitude.

Alguns modelos de aerogeradores utilizam mais de um gerador, de diferente potência. Um gerador de potência maior é projetado para operar na potência nominal do aerogerador, operando a partir de uma determinada velocidade do vento. Outro gerador, de potência menor, é utilizado no início da operação e permite que a velocidade de partida seja bem reduzida (até 2,5 m/s), melhorando o desempenho do aerogerador. O menor gerador é desligado quando a velocidade do vento alcança um valor maior, momento no qual o maior gerador é posto em operação.

Entretanto, para que a energia gerada possa ser entregue na rede, há a necessidade de um transformador que eleve a tensão de geração até a indicada para a conexão. Esse equipamento pode ser instalado no chão, próximo ao aerogerador ou na torre, tanto internamente quanto no lado de fora, preso a uma altura intermediária como pode ser visto na Figura 5.

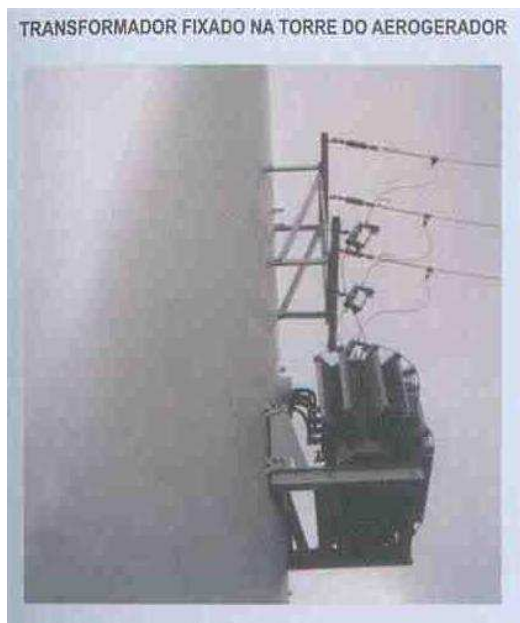


Figura 5 Transformador instalado em Aerogerador

Outro ponto importante para a produção de energia elétrica é a frequência com que ela é produzida. A mesma deve ser padronizada com a da rede (no nosso caso 60 Hz) e como a frequência de geração varia com a rotação da turbina, a qual depende do vento que é uma variável sem controle, a necessidade de controle de frequência é de fundamental importância e exige soluções adequadas e complexas.

Além desses aspectos de conversão eletromagnética, o estudo do vento e da turbina, a qual será utilizada, completa toda a operação de geração de energia utilizando aerogeradores. A seguir seguem esses dois assuntos mencionados:

3.1.1 Estudo do Vento

A energia eólica é a energia cinética do ar em movimento, o vento. O vento varia constantemente, tanto na sua velocidade de escoamento quanto na direção do seu deslocamento. Para o seu aproveitamento energético, há necessidade de estudar o seu comportamento espacial e temporal.

Para isso, considerando um fluxo de ar, movendo-se com uma velocidade v , perpendicular à seção transversal de um cilindro imaginário como mostra a figura 6, a energia cinética da massa de ar m , movendo-se à velocidade v é:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (3.1)$$

Onde:

E = energia cinética,

m = massa de ar,

v = velocidade de ar em movimento (m/s)

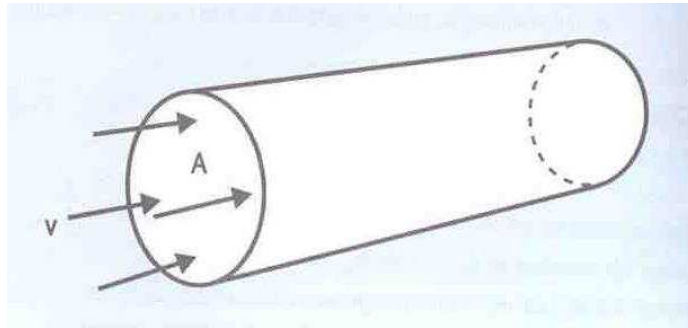


Figura 6 Seção transversal de um cilindro imaginário

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

A potência P disponível no vento é definida como a derivada da energia no tempo:

$$P = \dot{E} = \frac{dE}{dt} = \dot{m} v^2 \quad (3.2)$$

Onde:

P = potência disponível no vento [W]

E = energia cinética do vento [J]

\dot{E} = fluxo de energia [J/s]

t = tempo [s]

\dot{m} = fluxo de massa de ar [kg/s]

v = velocidade do vento [m/s]

O fluxo de massa de ar é dado por:

$$\dot{m} = \rho v A \quad (3.3)$$

Onde:

\dot{m} = fluxo de massa de ar [kg/s]

ρ = massa específica do ar [kg/m³]

v = velocidade do vento [m/s]

A = área da seção transversal [m²]

Portanto, substituindo a equação (3.3) em (3.1), encontra-se a potência disponível no vento que passa pela seção A , transversal ao fluxo de ar, é dada por:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (3.4)$$

Onde:

P = Potência do vento [W]

ρ = massa específica do ar [kg/m³]

v = velocidade do vento [m/s]

A = área da seção transversal [m²]

A equação (3.4) é a mais importante para a análise da energia eólica e pode ser escrita por unidade de área definindo, desta forma, a densidade de potência DP .

$$DP = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 \text{ [W/m}^2 \text{]} \quad (3.5)$$

A expressão (3.5) indica a potência disponível no vento por unidade de área, em função da velocidade do vento v e da massa específica do ar ρ no local.

A potência do vento em função da altitude e da temperatura ambiente

A partir das expressões 3.4 e 3.5 constata-se uma relação direta entre potência disponível no vento e a massa específica do ar. De acordo com a lei dos gases perfeitos, varia com a temperatura e a pressão atmosférica, conforme a expressão abaixo:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (3.6)$$

Onde:

ρ = massa específica do ar [kg/m^3];

P = Pressão atmosférica [Pa];

R = Constante do ar [287 J/kg.K];

T = temperatura ambiente [K].

Em condições meteorológicas padrão, isto é: 15°C e 1.013 hPa, a massa específica do ar ρ é 1,225 kg/cm^2 .

Potência do vento em função da sua velocidade

A partir das expressões (3.4) e (3.5) observa-se, ainda, que a potência também é proporcional ao cubo da velocidade que ele apresenta. Dessa forma, um vento com velocidade 10% superior, por exemplo, apresenta 33% mais potência disponível mantida as demais condições.

A Figura 7 mostra a variação de potência disponível no vento em função da velocidade do mesmo, considerando-se a massa específica do ar constante.

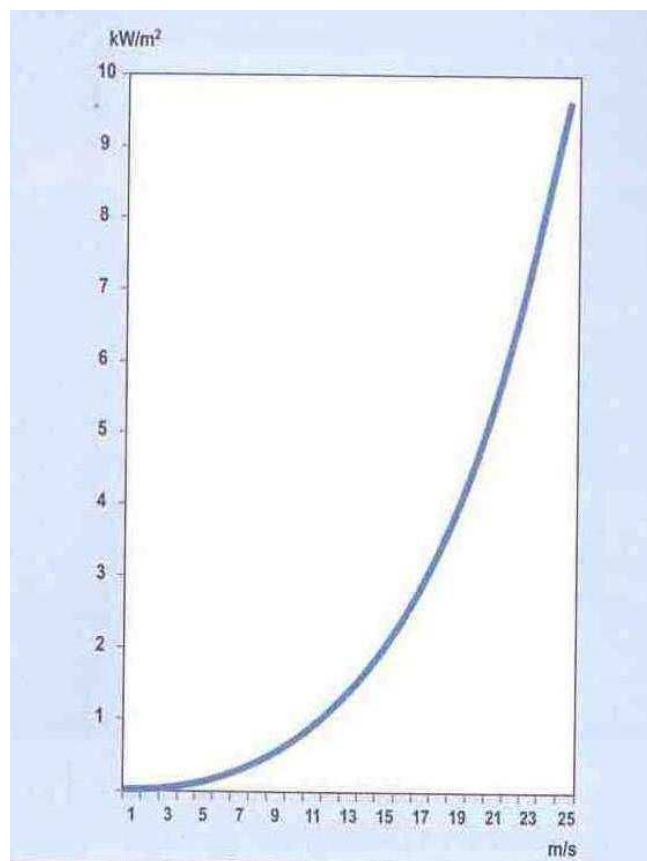


Figura 7 Potência do vento (VS) velocidade do vento.

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

3.1.2 Estudo da Turbina

Existem turbinas de arraste e de sustentação. A turbina de arraste é utilizada para bombeamento de água possuindo potência em torno de 0,5 kW e não interessa ao estudo de geração de energia elétrica. A turbina de sustentação utiliza aerofólios como pás, similares às de aviões, como mostra a Figura 8 e pode ter seu gerador com eixo vertical ou horizontal. Na Figura 9 é mostrado uma turbina Darrius.

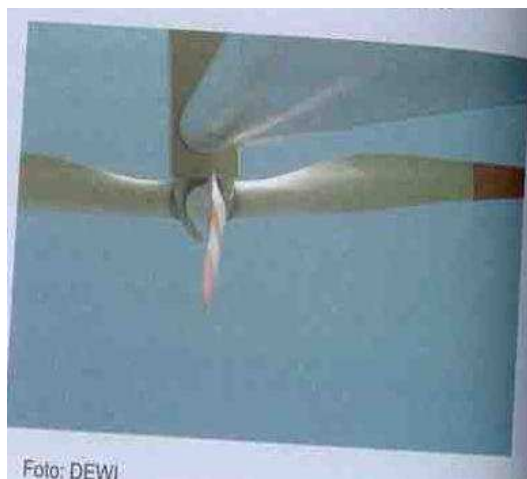


Figura 8 Turbina com eixo horizontal

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

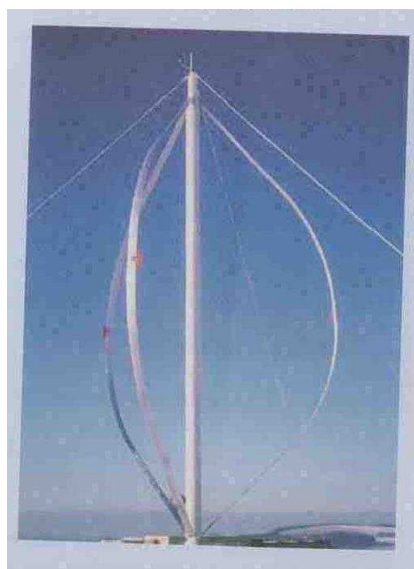


Figura 9 Turbina Darrius Vertical

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

Na Figura 10 é representado o fluxo de ar na seção de uma pá de um rotor de uma turbina eólica de sustentação. O vento v incide sobre a pá com um ângulo α em relação ao eixo da pá, variando sua velocidade e pela segunda lei de Newton, implica no surgimento de uma força de empuxo F_e .

A força do empuxo pode ser decomposta em duas parcelas, uma chamada de força de sustentação F_s , responsável pela sustentação aerodinâmica da pá. A outra parcela é a força de arraste F_a , provocada pela pressão do vento sobre a superfície da pá, empurrando-a de forma similar às turbinas de arraste.

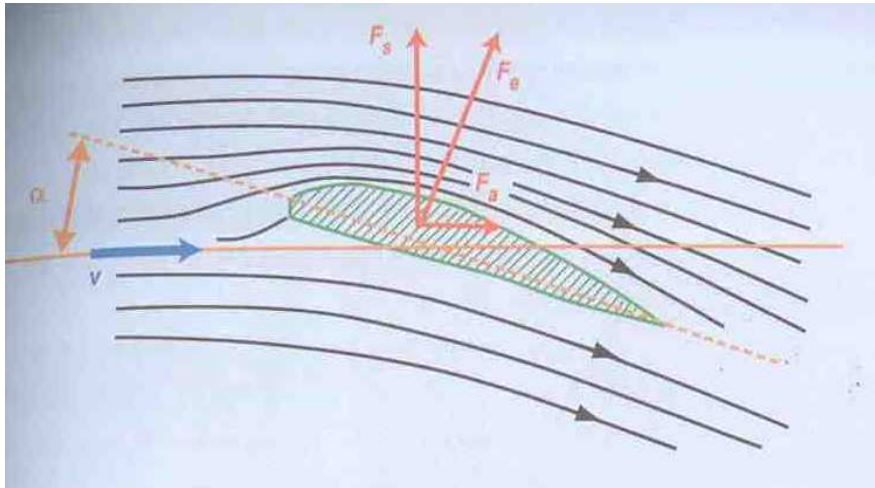


Figura 10 Fluxo de ar numa seção de pá

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

A força de sustentação F_s sobre uma seção da pá do rotor é dada por:

$$F_s = \frac{1}{2} \rho v^2 C_s A \quad (3.7)$$

Onde:

F_s = Força de sustentação[N];

ρ = massa específica do ar [kg/m^3];

v = velocidade do vento [m/s];

C_s = coeficiente de sustentação [adimensional];

A = área da superfície superior da pá [m^2].

O coeficiente de sustentação C_s , muitas vezes chamado de coeficiente de empuxo, depende das dimensões e características aerodinâmicas da seção da pá. Poderá

variar ao longo do comprimento longitudinal da pá, devido à mudança dimensional da mesma nesse sentido.

As turbinas eólicas podem ser construídas com o eixo horizontal ou vertical, como ilustrado na Figura 11.

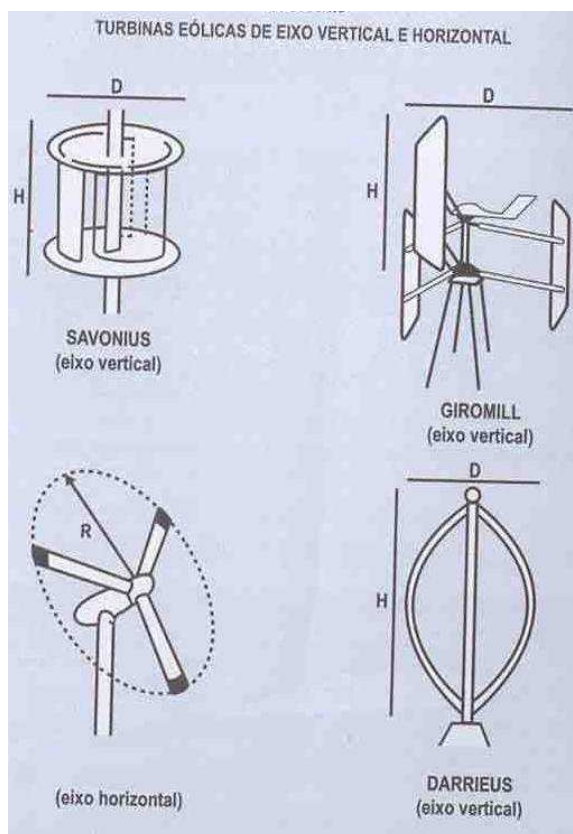


Figura 11 Tipos de eixo de turbina

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

Os rotores de eixo horizontal precisam se manter perpendiculares à direção do vento para capturarem o máximo de energia. Este tipo de turbina é o mais usado atualmente, especialmente nas instalações de maior potência para produção de energia elétrica, onde o gerador é instalado no alto, junto à turbina, como pode ser visto na Figura 12.



Figura 12 Rotor com eixo horizontal

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

As turbinas de eixo vertical não necessitam de mecanismos direcionais. Têm a vantagem do gerador e transmissão serem instalados no solo. As turbinas Darrieus e Savonius são exemplo e aparecem na figura abaixo. Porém não serão foco do estudo, pois as utilizadas na geração de energia elétrica são as de eixo horizontal.

Após serem expostos características de geração e de vento, tipos de turbina, a próxima etapa será explicar sobre a extração da potência do vento.

Conversão da potência do vento

Na Figura 13 é ilustrado o fluxo de ar através de uma turbina eólica de eixo horizontal. A vazão do ar pode ser representada pelo tubo de vazão mostrado nesta figura.

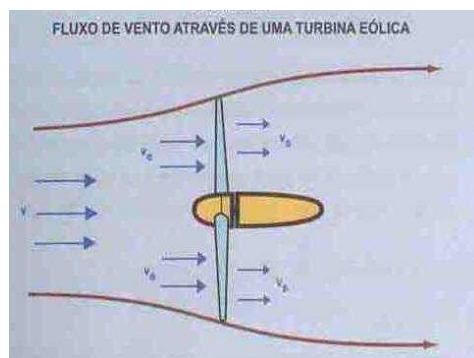


Figura 13 –Fluxo de ar na turbina

Fonte: Energia Eólica para produção de Energia Elétrica

A equação de Bernoulli define que a vazão de fluido é constante para diferentes localizações ao longo do tubo de vazão, considerando que não há fluxo de massa através dos limites do tubo e assumindo que a massa específica do ar é constante, o que é válido para velocidades do vento menores que 100 m/s (fluido incompressível).

Assim, tem-se que:

$$Q = A v = A_e v_e = A_s v_s \quad (3.8)$$

Onde:

Q = vazão de ar que atravessa a turbina eólica, dentro do tubo de vazões [m^3/s];

A = área da seção transversal do tubo de vazão do ar que atravessa a turbina, antes da turbina, onde o vento é livre [m^2];

v = velocidade do vento livre, antes da turbina [m/s];

A_e = área da seção transversal do tubo de vazão do ar na entrada do rotor da turbina [m^2];

v_e = velocidade do vento na seção do tubo de vazão na entrada da turbina [m/s];

A_s = área da seção transversal do tubo de vazão do ar na saída do rotor da turbina [m^2];

v_s = velocidade do vento na seção do tubo de vazão na saída da turbina [m/s].

Ao converter a energia cinética do vento, a turbina eólica provocará a redução da velocidade do vento na saída do rotor, o que resultará no aumento do diâmetro do tubo de vazões de acordo com a expressão (3.8).

A potência do vento extraída pela turbina eólica é a diferença de potência entre o fluxo de ar na entrada e na saída do rotor eólico, ou seja:

$$P_t = P_e - P_s \quad (3.9)$$

Onde:

P_t = potência extraída do vento pela turbina eólica [W];

P_e = potência disponível no vento na entrada do rotor eólico [W];

P_s = potência disponível no vento na saída do rotor eólico [W].

A máxima potência que pode ser convertida do vento por uma turbina eólica apresenta uma limitação que é referente a uma velocidade do vento na saída do rotor eólico que não pode ser inferior a **1/3** da velocidade do vento incidente v . Nesse caso, o rotor absorve a energia equivalente a **2/3** da energia disponível no vento livre antes da turbina. Para a máxima transferência de potência:

$$V_e = 2/3 V \quad (3.10)$$

e,

$$V_s = 1/3 V \quad (3.11)$$

Onde:

v = velocidade do vento livre, antes da turbina [m/s];

v_e = velocidade do vento na seção do tubo de vazão na entrada da turbina [m/s];

v_s = velocidade do vento na seção do tubo de vazão na saída da turbina [m/s].

A potência do vento na entrada da turbina eólica é dada por:

$$P_e = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3.12)$$

Onde:

P_e = potência disponível no vento na entrada do rotor eólico [W];

\dot{m} = fluxo de massa de ar [kg/s];

v = velocidade do vento livre [m/s];

Sendo que:

$$\dot{m} = \rho v_e A \quad (3.13)$$

Onde:

\dot{m} = fluxo de massa de ar [kg/s]

ρ = massa específica do ar [kg/m³]

v_e = velocidade do vento [m/s]

A = área da seção transversal [m²]

Então, pelas expressões (3.10), (3.12) e (3.13), a potência do vento na entrada da turbina eólica será:

$$P_e = \frac{1}{2} (\rho A \frac{2}{3} v) v^2 \quad (3.14)$$

Assim pode-se determinar a expressão da potência do vento na saída da turbina, considerando que $v_s = v/3$. Ou seja:

$$P_s = \frac{1}{2} (\rho A \frac{2}{3} v) (\frac{1}{3} v)^2 \quad (3.15)$$

Substituindo as expressões (3.14) e (3.15) em (3.9) obtêm-se a máxima potência do vento que pode ser convertida por uma turbina eólica:

$$P_{t \max} = \frac{1}{2} (\rho A \frac{2}{3} v) v^2 - \frac{1}{2} (\rho A \frac{2}{3} v) (\frac{1}{3} v)^2 \quad (3.16)$$

Ou:

$$P_{t \max} = \frac{16}{27} (\frac{1}{2} \rho A v^3) = \frac{16}{27} P \quad (3.17)$$

Onde:

$P_{t \max}$ = máxima potência convertida do vento por uma turbina ideal [W];

ρ = massa específica do ar [kg/m³];

A = área da seção transversal varrida pelo rotor da turbina [m²];

v = velocidade do vento livre antes da turbina [m/s];

P = potência disponível no vento [W].

Portanto, uma turbina eólica poderá converter no máximo $\frac{16}{27}$ da potência do vento, ou seja, 59,3% dessa potência. Este valor é chamado máximo de Betz, ou coeficiente de Betz.

A Figura 14, mostra um gráfico com a potência disponível no vento, em função da velocidade do mesmo, e a equivalente curva do “Máximo de Betz”, indicando a máxima potência possível de ser convertida do vento por uma turbina eólica ideal, para cada velocidade do vento.

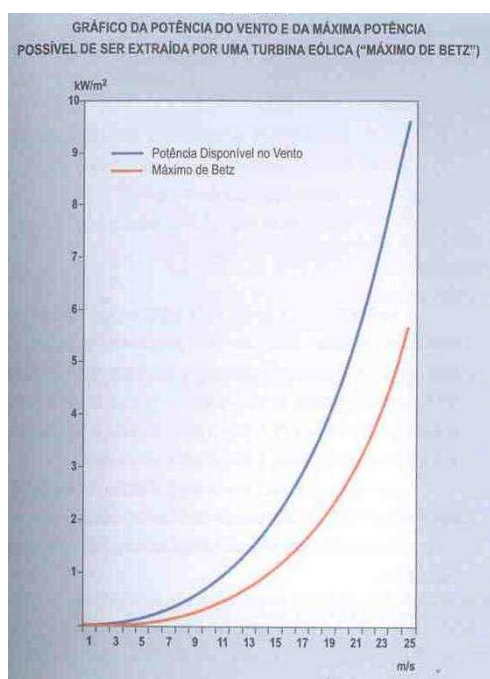


Figura 14 Máximo de Betz

A partir desses números supõe-se que uma turbina real fará a conversão parcial desse máximo que gira em torno de (59,3%), pois existem perdas aerodinâmicas na conversão de energia.

O coeficiente de potência C_p indica a relação entre a potência realmente convertida e a potência disponível no vento:

$$C_p = P_t / (\frac{1}{2} \rho A v^3) \quad (3.18)$$

Onde:

C_p = Coeficiente de potência de uma turbina eólica [adimensional];

ρ = massa específica do ar [kg/m^3];

v = velocidade do vento [m/s];

A = área da seção transversal [m^2];

P_t = potência produzida pela turbina [W].

O coeficiente de potência C_p de uma turbina eólica varia de acordo com a velocidade do vento, como mostra a figura a seguir. Essa variação deve-se ao fato da eficiência aerodinâmica das pás do rotor alterar com a velocidade do vento incidente.

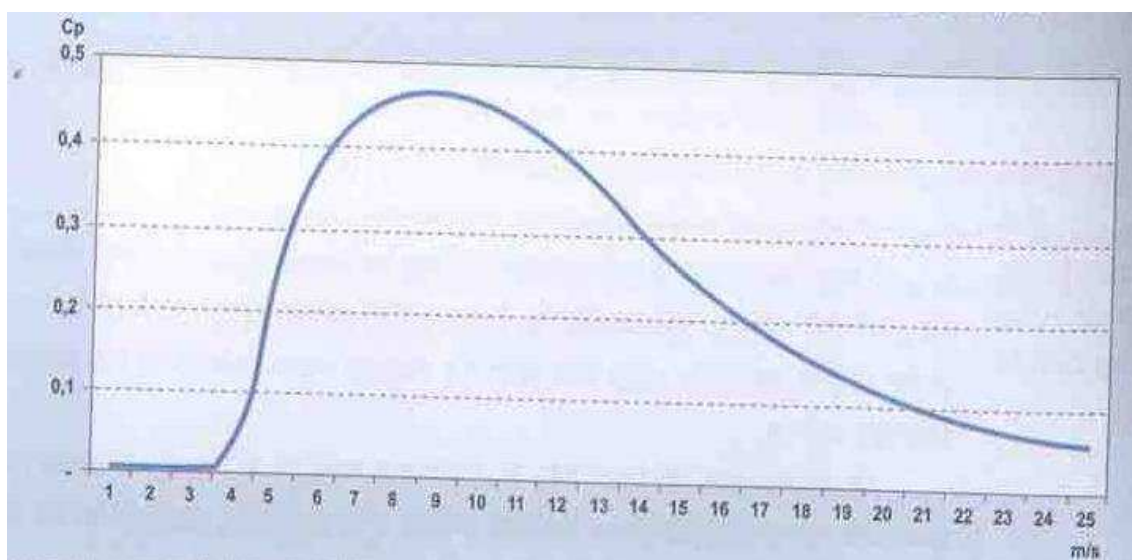


Figura 15 Máxima Eficiência da turbina

O ponto máximo da curva mostrada na Figura 15 representa a máxima eficiência da turbina e é obtida na velocidade indicada no gráfico.

Como pode ser visto, a velocidade “ótima” para aproveitamento da potência do vento fica em torno de 8 m/s considerando que o aerogerador esteja apontado corretamente para o vento.

3.2 Pequena Central Hidrelétrica (PCH)

As PCHs são importantes por representarem uma fonte de energia renovável de baixo impacto socioambiental, de custo de implementação relativamente baixo e com tempo de construção pequeno se comparado a uma usina hidroelétrica. Também são importantes para a melhoria da qualidade das redes de transmissão, evitando quedas de tensão e perdas no sistema. Em relação ao meio ambiente, as PCHs possuem reservatórios para a acumulação de água com áreas reduzidas de alagamento. Quanto ao custo, possibilitam que investidores de pequeno porte possam construí-las, gerando emprego e renda de modo descentralizado.

A concepção de uma PCH impõe arranjos constituídos preferencialmente por uma captação, uma adução à casa de máquinas, onde se processará a geração elétrica, e o canal de restituição (canal de fuga) ao rio, como é mostrada na figura 16. Em cursos d'água com grandes variações de nível poderá ser necessária a construção de barragem com a respectiva estrutura vertedoura. A altura dessa barragem poderá variar desde simples soleira vertedoura até 3,0 m de altura. Isto enfatiza a filosofia de concepção das obras de barramento, garantindo um comportamento típico a fio d'água, isto é, sem capacidade significativa de armazenamento de água, visando economia e facilidade construtiva.



Figura 16 Pequena Central Hidreletrica

A casa de máquinas é a parte mais importante de uma PCH e é composta, basicamente, da turbina hidráulica e do gerador. Para controlar a geração, equipamentos complementares também integram a casa como o regulador, válvula, quadro de comando e volante.

Basicamente, a PCH aproveita a vazão de água do rio onde há desníveis de terreno para movimentar a turbina acoplada no gerador. Como é mostrado na ilustração acima, a pequena represa armazena a água que é conduzida por encanamentos à casa de máquinas seguindo após para o leito do rio. O excesso não utilizado e que poderia fazer pressões nas paredes da represa é conduzido pelo vertedouro ao leito do rio por um caminho lateral. Como a geração de energia elétrica é diretamente feita pela vazão do rio que gira a turbina e conseqüentemente o gerador, o estudo focará nesses três elementos, vazão, altura da queda d'água e tipos de turbina:

3.2.1 Vazão e Queda

Para viabilizar uma obra de uma PCH é necessário determinar a potência aproveitável da região. Para isso, estudam-se as características topográficas de desnível

(queda natural) e hidrológicas de vazão disponível do curso d'água. Para determinar o potencial aproveitável utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{Potencial} = 7,16 H.Q$$

Onde:

Q = vazão disponível do curso d'água, em m^3 / s

H = queda bruta = diferença de nível entre o nível d'água previsto para o reservatório (açude) e o nível d'água do rio no local da casa de máquinas.

3.2.2 Turbina

Uma vez obtida a queda líquida em metros e a descarga em metros cúbicos por segundo, pode-se encontrar o tipo de turbina recomendado para o aproveitamento em estudo e analisando juntamente com o fabricante da turbina, pode-se chegar a uma escolha apropriada.

As turbinas Banki podem ser utilizadas em uma faixa de quedas e de descargas bastante ampla. O custo de uma Banki é menor do que o custo de uma turbina Francis de mesma queda e potência. No entanto, as indústrias do ramo têm maior experiência com as turbinas Francis, existindo grande quantidade de centrais no país utilizando a mesma.

As turbinas Pelton (figura 19) são muito utilizadas em quedas com grande altura e pequenas vazões, pois nestes casos o rotor Francis (figura 21) apresentaria passagens muito estreitas, de difícil acabamento, o que resulta em uma turbina de baixo rendimento. O sistema de conchas da turbina Pelton evita este inconveniente.

Para a especificação da Turbina devem ser considerados os seguintes itens, de acordo com o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Eletrobrás:

- Rendimento da turbina à plena carga (fornecido pelo fabricante)
- Queda hidráulica bruta máxima (definida pela altura da barragem)

- Queda hidráulica líquida de projeto (queda bruta menos a perda de carga total)
- Vazão de projeto (definida com base nos dados hidrológicos do rio, a partir da instalação de um posto de medição)
- Velocidade de rotação (fornecido pelo fabricante)
- Perda de carga na adução (dados de projeto)
- Perda de carga no tubo de sucção (dados de projeto)
- Perda de carga total (dados de projeto)

A potência de projeto da turbina é calculada para a queda líquida correspondente à vazão nominal e nível d'água normal de montante e jusante, na faixa de maior rendimento da máquina escolhida. A equação abaixo é padrão para o cálculo da potência de projeto da turbina.

$$P_{proj} = 9,81 \times h_p \times Q \times \eta \text{ onde:}$$

P_{proj} potência de projeto no eixo da turbina em MW

9,81 aceleração da gravidade em m/s^2

h_p queda líquida de projeto em m

Q vazão correspondente a turbinável para uma turbina, em m^3/s

η rendimento da turbina (definida pelo fabricante)

Seguem ilustrações das turbinas citadas anteriormente.

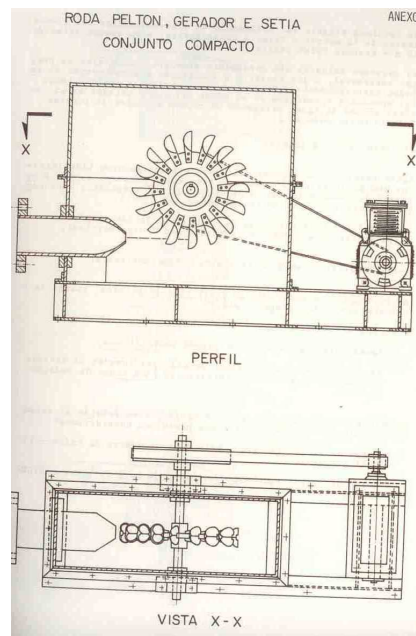


Figura 17 Roda Pelton

Fonte: Manual de Minicentrals Hidreletricas - Eletrobrás

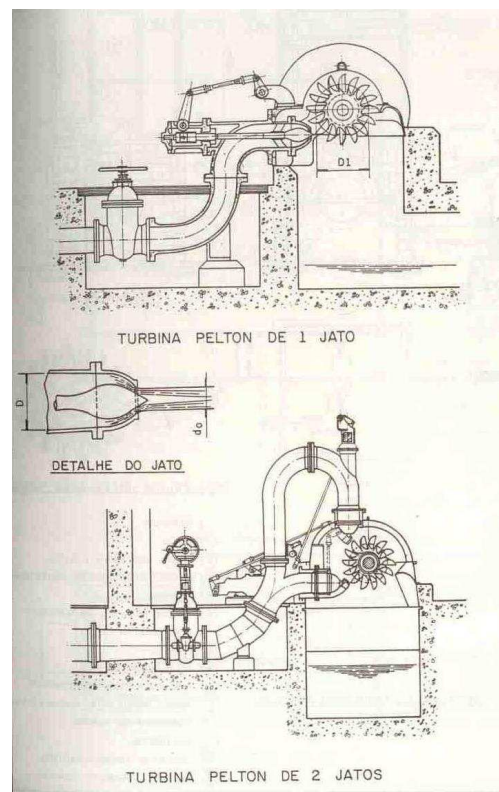


Figura 18 Turbina Pelton

Fonte: Manual de Minicentrals Hidreletricas - Eletrobrás

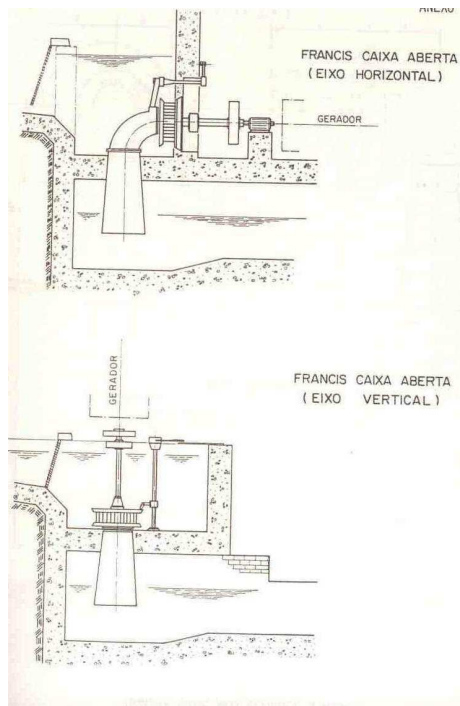


Figura 19 Turbina Francis

Fonte: Manual de Minicentraís Hidreletricas - Eletrobrás

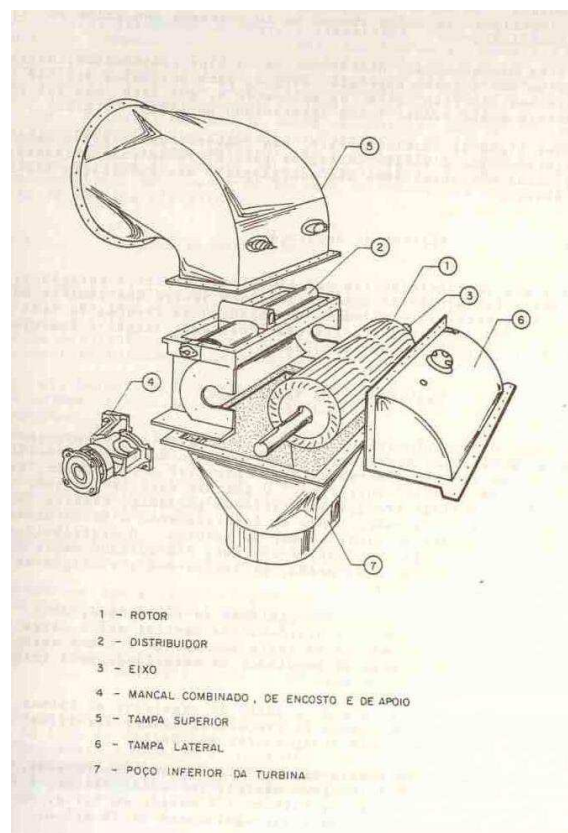


Figura 20 – Turbina

Fonte: Manual de Minicentraís Hidreletricas - Eletrobrás

Outro ponto importante é o isolamento que deve ser classe B da ABNT. O gerador deve ser trifásico, com tensões de 220 ou 380 V entre fases, escolhendo-se preferencialmente a adotada na região. O fator de potência deverá ser 0,8 e para a determinação do número de pólos e velocidades (60 Hz) utiliza-se acionamento direto e indireto (correia ou redutor) do gerador.

Dessa forma, a pequena central hidrelétrica consegue gerar energia e possuir diversas vantagens em relação à Hidrelétrica de grande porte, tais como:

- Construção e operação só dependem de autorização da Aneel (nos demais casos, há exigência de leilão para a concessão da exploração da queda d'água);

- Poderão comercializar energia elétrica livremente com consumidores de carga igual ou maior que 500KW. Os demais agentes só podem comercializar livremente com clientes cujo consumo seja igual ou superior a 3.000KW;

- As PCHs têm desconto de 50% nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição, podendo chegar a 100%, se entrarem em operação até 2003. O desconto é definido na autorização da Aneel;

- As PCHs não pagam a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos;

- As PCHs têm prazo de implantação menor que as hidrelétricas de maior porte, e o impacto ambiental que provocam é bastante reduzido;

- As PCHs têm livre acesso às redes de transmissão, desde que respeitem as características técnicas do sistema.

Após explanadas as vantagens de uma PCH, o assunto abordado será biomassa.

3.3 BIOMASSA (BIODIGESTOR)

Biomassa é definida como matéria orgânica de origem vegetal ou animal passível de ser transformada em energia térmica ou elétrica (ANEEL, 2008). Os

resíduos formadores da biomassa são classificados como: vegetais, florestais, industriais, sólidos urbanos e animais. Como a abordagem do trabalho é especificamente resíduos de aves e suínos, devido a intensa criação dos mesmos no estado do Rio Grande do Sul, o foco para a geração de energia elétrica ficará focado na queima do Biogás.

O biogás basicamente é composto de uma mistura de gases contendo principalmente metano e dióxido de carbono, encontrando-se ainda em menores proporções gás sulfídrico e nitrogênio. Além disso, o biogás é um produto resultante da fermentação, na ausência do ar, de dejetos animais, resíduos vegetais e de lixo orgânico industrial ou residencial, em condições adequadas de umidade. A reação desta natureza é denominada digestão anaeróbica.

O principal componente do biogás é o metano representando cerca de 60 a 80% na composição do total de mistura. O metano é um gás incolor, altamente combustível, que produz chama azul lilás, sem deixar fuligem e com um mínimo de poluição. Em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, o poder calorífico deste pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico. Esse poder calorífico pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura.

A utilização do biogás pode acontecer de duas maneiras: queima direta ou como combustível para a geração de energia elétrica. A queima direta tem emprego na secagem de grãos, conforto de creches e aviários (aquecimento), ou na utilização doméstica em fornos e fogões. Na geração de energia elétrica, o qual importa ao estudo, o biogás é utilizado como combustível para motores de combustão interna que são acoplados aos geradores. Em ambas as situações têm-se um ganho financeiro, agregando valor à propriedade e reduzindo custos com insumos.

Entretanto, para obtenção do gás mencionado é necessária utilização de um equipamento denominado de biodigestor. O biodigestor constitui-se de uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa, onde sofre decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara. A decomposição que o material sofre no interior do biodigestor, com a conseqüente geração de biogás, chama-se digestão anaeróbica. Com base nos consumos médios de biogás das diversas utilidades que se deseja instalar em uma propriedade, podemos determinar o volume de biogás diário suficiente para suprir as necessidades da propriedade.

Existe atualmente, uma gama muito grande de modelos de biodigestores, sendo cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biogás, neste trabalho o foco ficará exclusivamente nos biodigestores utilizados em pequenas propriedades no meio rural, já que o lugar é propício para aquisição dos resíduos e a vantagem de não precisar de grandes tubulações para encaminhar o biogás até a geração.

Analisando o tipo de uso do biogás, pode-se então optar pelo uso de reservatórios contínuos, os quais proporcionam permanente fornecimento de gás e biofertilizante. Na figura 21 segue uma ilustração do modelo contínuo indiano.

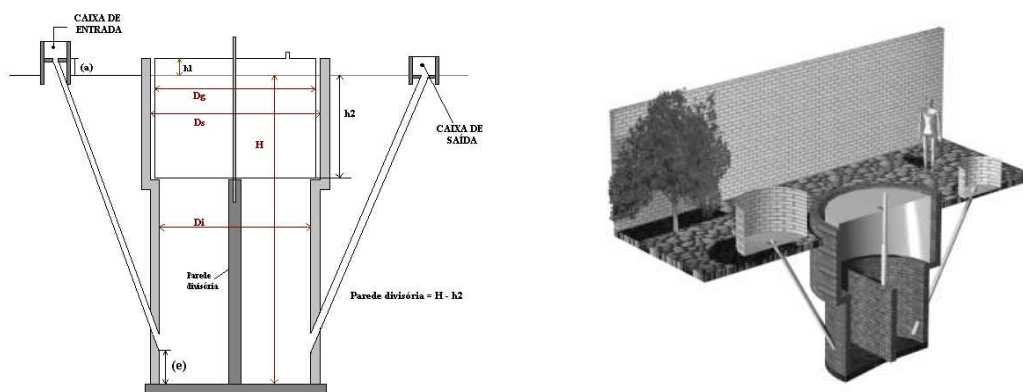


Figura 21 Biodigestor Indiano

Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. O modelo indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante.

O fato de o gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água reduz as perdas durante o processo de produção do gás. O resíduo a ser utilizado para alimentar o biodigestor indiano, deverá apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material. O abastecimento também deverá ser contínuo, ou seja, geralmente é alimentado por dejetos bovinos e/ou suínos, que apresentam certa regularidade no fornecimento de dejetos.

A figura 22 ilustra o modelo de biodigestor chinês que também é contínuo.

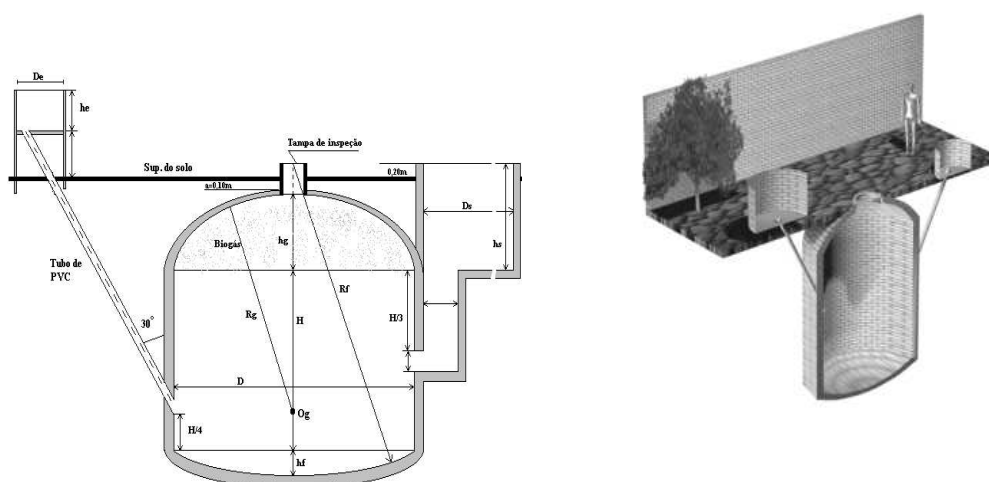


Figura 22 Biodigestor Chinês

Seguindo a linha de biodigestor contínuo, o modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão.

O modelo Chinês é constituído quase que totalmente em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos, contudo podem ocorrer problemas com vazamento do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Neste tipo de biodigestor uma parcela do gás formado na caixa de saída é libertado para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte. Semelhante ao modelo indiano, o substrato deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material.

A figura 23 mostra o biodigestor modelo batelada, o qual se destina para os resíduos de aves, os quais são disponibilizados com intervalos maiores de tempo e atendem a demanda de aves, assunto tratado nesse trabalho.

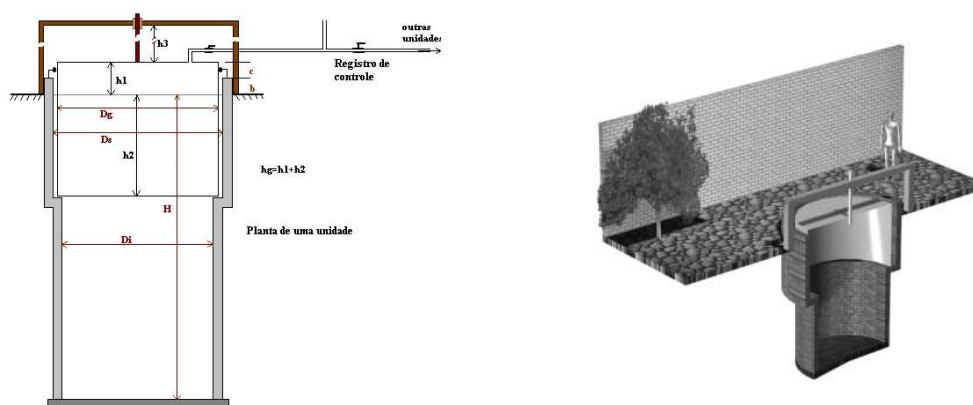


Figura 23 Biodigestor Batelada

Trata-se de um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série. Esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás.

Enquanto os modelos de biodigestor chinês e indiano prestam-se para atender propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos, como exemplo aquelas que recolhem o gado duas vezes ao dia para ordenha, permitindo coleta diária de biomassa, que deve ser encaminhada ao biodigestor, o modelo em batelada adapta-se melhor quando essa disponibilidade ocorre em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja a biomassa fica a disposição após a venda dos animais e limpeza do galpão.

Utilização do Biogás

Traduzindo em termos práticos, apresentamos uma relação comparativa de equivalência de 1 metro cúbico de biogás com os combustíveis usuais

Tabela 3 Comparativo biogás com outras fontes

1 m ³ de Biogás	0,61 litros de gasolina
	0,57 litros de querosene
	0,55 litros de óleo diesel
	0,45 kg de gás liquefeito
	0,79 litros de álcool combustível
	1,538 kg de lenha
	1,428 kWh de energia elétrica

Para uma família de 5 (cinco) pessoas em termos de uso caseiro prevê um consumo de: Para a cozinha 2,10 m³ de biogás, para iluminação 0,63 m³ de biogás, para geladeira 2,20 m³ de biogás, para banho quente 4,00 m³ de biogás.

Totalizando 8,93 m³ de biogás (por dia)

Essa quantidade de gás corresponde a ¼ de um bujão de gás de 13 kg e pode ser obtida com a produção de esterco de 20 a 24 bovinos.

Tabela 4 Comparativo material orgânico com biogás

Material orgânico	Produção de biogás (m ³ /tonelada de material seco)
Estrume:	
bovino	360 - 270
bubalino	360 - 270
sumo	560 - 460
eqüino	380 - 260
ovino	350 - 250
avícola	620 - 520
restos vegetais:	
palha de arroz	300
palha de trigo	300
palha de feijão	380
palha de soja	300
haste de linho	359
restos de girassol	300
folhas de parreira	270
folhas de batateira	270
folhas de árvore	245
aguapé (seco)	410 - 350
vinhoto	15 m ³ /m ³ vinhoto
lixo urbano	50

Como é observado na Tabela 3, o resíduo de aves produz mais biogás que as outras culturas de animais e dessa forma pode ser usado em propriedades de criadores de frango com um resultado bem satisfatório. A partir do momento que se tem implantado o biodigestor, a geração produzida pode ser utilizada no horário de ponta, quando a energia cobrada pela concessionária costuma ser mais cara.

Porém e infelizmente, os grupos geradores para biogás ainda são poucos difundidos comercialmente e poucas são as empresas que têm esse equipamento disponível e com qualidade de funcionamento comprovada.

A idéia de propagar essa tecnologia de geração de energia fica para o próximo capítulo, o qual será defendido a utilização dos mesmos no estado do Rio Grande do Sul para auxiliar no futuro aumento de demanda de energia elétrica que se espera para os próximos anos.

O próximo capítulo trata de uma alternativa para o atendimento da demanda de energia do estado do RS para o ano de 2012, simulando nos dias de hoje o necessário para suprir o consumo no referido ano. No entanto, a idéia inicial seria o uso em larga escala das três fontes citadas até então, mas constatou-se ao longo do estudo, que o uso de resíduos animais para a geração de energia elétrica é útil e eficiente em pequenas e médias propriedades como uma forma complementar de suprimento de energia.

Para o caso que será proposto capítulo 4, a biomassa supracitada não é economicamente viável, pois necessita de uma enorme quantidade de resíduos para uma geração pequena e com custo relativamente alto.

Dessa forma, a proposta a seguir será uma composição das duas fontes restantes: PCHs e parques eólicos.

4 ATENDIMENTO À DEMANDA FUTURA DO RIO GRANDE DO SUL

O atendimento à demanda do estado do RS é planejado com anos de antecedência devido ao tempo de construção de uma unidade geradora de energia elétrica. Dessa forma, a proposta do projeto é composta por duas fontes alternativas para o fornecimento, as quais utilizam investimentos de menor porte, mais próximos aos grandes centros de consumo e que poluem menos.

A composição citada é formada pela geração de parques eólicos e pequenas centrais hidrelétricas. A escolha dessas duas alternativas não é por acaso, no estado existe um enorme potencial eólico já comprovado com o Parque Eólico de Osório e uma gama de rios que ainda podem ser aproveitados para geração a fio d'água.

Além disso, todas estas fontes seguem uma tendência atual de escolha nos leilões de energia, que preza pelo menor tempo de construção. A construção de usinas maiores necessita de muito tempo para sua finalização, enquanto que as alternativas propostas nesse trabalho, apesar de possuírem menor capacidade de geração, com início de funcionamento da usina entre um e três anos.

Embora as usinas hidrelétricas sejam opções de expansão certamente desejáveis, tanto em termos de preço da energia como de redução de emissões, há algumas questões quanto à viabilização da expansão prevista no PDEE (Plano Decenal de Energia Elétrica).

Uma primeira questão é que o histórico dos leilões mostra que 1/3 da nova capacidade (em termos de garantia física) tem sido contratada nos leilões A-3 (Leilões que os participantes se comprometem em iniciar a geração em até 3 anos). A partir dessa constatação, conclui-se que uma parcela significativa da oferta futura não deverá ser hidrelétrica, independentemente da abundância de oferta da fonte hídrica.

A segunda questão se refere ao tempo necessário para finalizar os estudos de inventário e de viabilidade de novos empreendimentos hidrelétricos. A avaliação da região em termos de retorno financeiro para os investidores é demorada, envolve avaliação do terreno, área alagada, ressarcimento aos proprietários das terras e a capacidade de geração. Além dessas, a obtenção da licença ambiental (EIA/RIMA) também necessita de tempo, pois apresenta uma série de procedimentos específicos, inclusive realização de audiência pública, e envolve diversos segmentos da população interessada ou afetada pelo empreendimento. Portanto, todos esses fatos contribuem para o aumento do tempo de execução da obra.

Essas avaliações geram preocupação, pois o PDEE prevê a entrada de somente 640 MW de usinas a biomassa e eólicas no Brasil de 2014 a 2017, cerca de 3% dos 22 mil MW de nova capacidade previstos para o período segundo Mario Veiga - Fórum PDEE 2008/2017: Plano Decenal. Esta participação reduzida resulta da premissa do PDEE de que praticamente toda a expansão seria hidrelétrica para os anos em questão.

Além dessas duas avaliações, existe outra comprovada em meados do mês de novembro de 2009, o “apagão”. Evento que ocorreu na região sudeste e parte do sul do Brasil deixando milhões de pessoas no escuro. A causa não foi identificada, ou não foi esclarecida à população, porém reforça a idéia de que a geração deve ficar mais próxima aos grandes centros, evitando milhares de quilômetros de linhas de transmissão. Seguindo esse raciocínio, a geração de energia elétrica distribuída e em menor porte garante um atendimento melhor da oferta, evitando a dependência exclusiva de poucas fontes geograficamente concentradas, que por motivos adversos podem vir a falhar.

Para melhor entender a situação atual da demanda do estado do RS, a próxima seção expõe com números o referente assunto.

4.1 Situação Atual e Futura Demanda do Estado

Atualmente, a demanda do estado encontra-se em torno de 5.000 MW de acordo com o Balanço Energético do Rio Grande do Sul e relatório do Grupo CEEE, os quais estão expostos nas Figuras 24 e 25. Pela curva no gráfico é possível notar o aumento no consumo numa média de 150 MW ao ano. Com isso, a necessidade de se pensar no futuro energético para o RS torna-se imprescindível.



Figura 24 Demanda e oferta de Energia


				
RELATÓRIO MENSAL DE ENERGIA PRODUZIDA E RECEBIDA				
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL				
Referente ao ano : 2008				
GERAÇÃO TOTAL NO ESTADO (RS)		9.156.295,19	284.338,57	
FRS - FLUXO NO RIO GRANDE DO SUL (Supervisão de potência) [MWh]		19.248.064,74	-	
CARGA PRÓPRIA DE ENERGIA NO ESTADO RIO GRANDE DO SUL		28.404.359,93	284.338,57	
E S T A D O	2 DEMANDA MÁXIMA		DO ANO	
	INTEGRADA		Janeiro	
	MWh/h		4.788	
	DIA		10	
	HORA		15:00	
	INSTANTÂNEA		Janeiro	
	MW		4.823	
	DIA		10	
	HORA		14:31	
	GERAÇÃO NAS USINAS COINCIDENTE COM A DEMANDA MAX. CEEE - MW		952,20	
E M P R E S A S	3 POTÊNCIA EFETIVA NO ESTADO (RS) - MW		POTÊNCIA EFETIVA NA CEEE - MW	
	CEEE	934,13	Passo Real	158,00
	DONA FRANCISCA / COTA CEEE	30,00	Jacui	180,00
	DONA FRANCISCA / COTA DFESA	95,00	Itaúba	512,40
	RGE	58,52	Sistema Jacui	850,40
	CGTEE	324,00	Canastra	44,80
	UTUR	839,90	Bugres	10,20
	TRACTEBEL	1.959,00	PCH Sistema Salto	4,01
	LITE CANOAS	160,00	Sistema Salto	68,01
	PIRATINI	9,00	PCH Norte	15,72
	AES SUL	85,30	TOTAL PCH	83,73
	CPFL SUL	56,74	Cota D. Francisca	30,00
	CERAN - CASTRO ALVES	130,00	Cota Machadoinho	55,38
	CERAN - MONTE CLARO	130,00	Ceran	39,00
	EÓLICAS	150,00		
	AUTOPRODUTORES	0,00		
	TOTAL	4.461,59		1.058,51

Figura 25 Relatório CEEE da energia produzida.

Para ilustrar o perfil do consumo gaúcho e quais são as concessionárias que atendem cada região do estado, a Figura 26 representa de forma mais clara da atual situação.

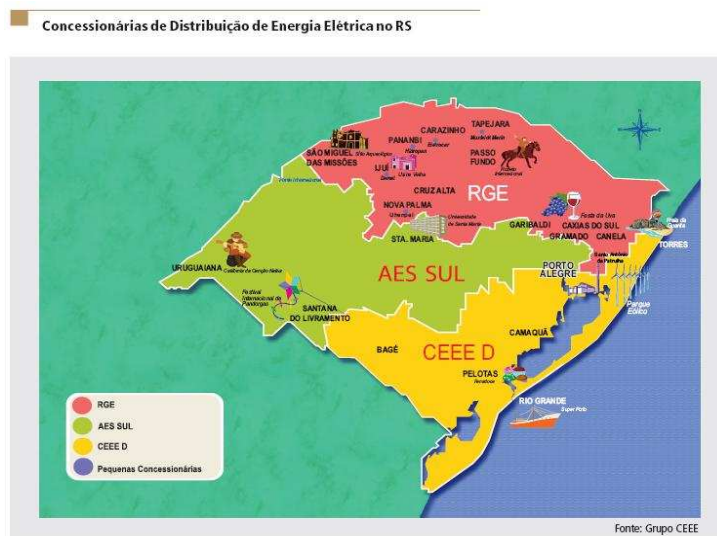


Figura 26 Divisão Concessionárias RS.

Nas próximas Figuras seguem o número de consumidores (Figura 27) e o percentual que cada empresa possui sob sua cobertura de atendimento (Figura 28).

Concessionárias	Nº de Consumidores	Energia Vendida MWh	Mercado %
CEEE D	1.383.099	7.076.403,31	29,71
AES Sul	1.045.791	8.614.035,87	36,16
RGE	1.160.490	7.839.004,00	32,91
Total Grandes Concessionárias	3.589.380	23.529.443,18*	98,78
Total RS	3.911.920	23.819.883,50	100

* Inclui a energia vendida para as concessionárias de pequeno porte e cooperativas
 Fonte: Grupo CEEE e Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2005 - 2007

Figura 27 Número de consumidores por concessionária.

Consumo de Energia Elétrica Setorial por Concessionária no RS

Concessionárias	Residencial %	Rural %	Comercial %	Industrial %	Livre %
CEEE D	32,95	6,31	24,24	26,95	6,29
AES Sul	21,94	12,02	11,33	29,18	18,70
RGE	20,56	12,18	11,93	31,99	0,01
Total Grandes Concessionárias	25,68	12,54	16,84	37,72	12,89

Fonte: Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2005 - 2007

Figura 28 Percentagem de consumidores por concessionária.

Depois de exposto a atual situação do estado em termos de consumo, segue algumas figuras com a geração para atender esses clientes.



Figura 29 Geração em 2007 no RS.

Fonte: Balanço Energético 2008



Figura 30 Geração das fontes alternativas

Fonte: Balanço Energético 2008

Após exposto os números e observado que há um crescimento anual no consumo de energia elétrica e que dessa forma, deve-se ter uma alternativa de fornecimento para o aumento de demanda. O próximo tópico tratará da contribuição positiva que a geração com fontes alternativas e renováveis podem trazer ao estado.

4.2 Contribuição Para O Estado Com A Geração Alternativa

Nesse tópico serão expostas as vantagens que o estado ganha em incentivar a geração com fontes alternativas que podem ser bem disseminadas por todo o RS devido

a sua rápida implantação e tamanho reduzido da instalação, se comparado a uma usina hidrelétrica. Ações como pagamento de royalties para o proprietário da terra onde é instalado o empreendimento, criação de empregos, aumento no orçamento do município e conseqüentemente do estado, são alguns exemplos de como a região pode ganhar com as iniciativas citadas.

Para um melhor entendimento serão divididas as duas fontes em tópicos e explicadas uma a uma como podem trazer benefícios à região onde forem instaladas, sem contar no acréscimo de geração que integrará ao sistema de energia.

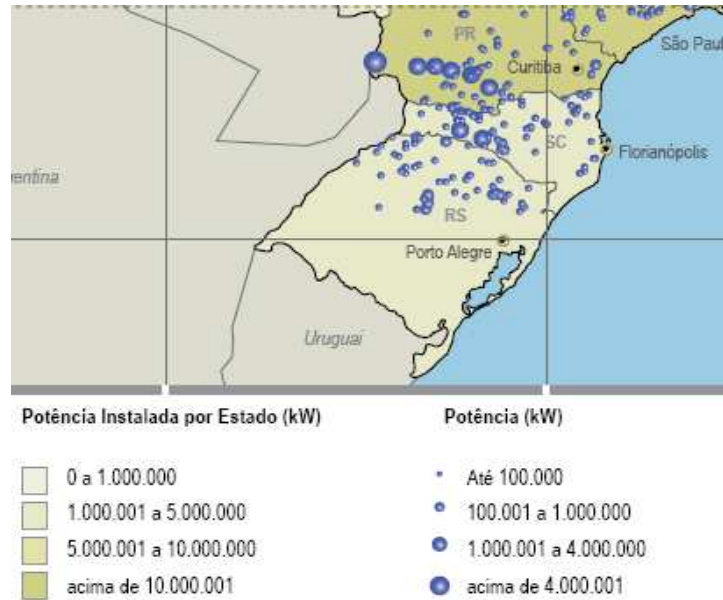
4.2.1 Eólica

Diferentemente da hidroeletricidade, cujos parâmetros econômicos já são relativamente conhecidos, há ainda muita incerteza sobre a competitividade da energia eólica para os investidores. Uma das razões para isso é o valor de investimento no parque eólico que é mais alto que em outras formas de geração e dessa forma oneram o preço do MWh. Porém, nessa conta não entra o valor de manutenção, o qual na eólica é bem mais reduzido do que em qualquer outro tipo de unidade geradora.

Além de não poluir a região, haver pagamento de 'royalties' para o proprietário das terras onde ficam as torres e a possibilidade de manter agricultura e pecuária, o município ganha mais confiabilidade no suprimento de energia e aumenta seu orçamento com os impostos incidentes sobre a produção de energia elétrica.

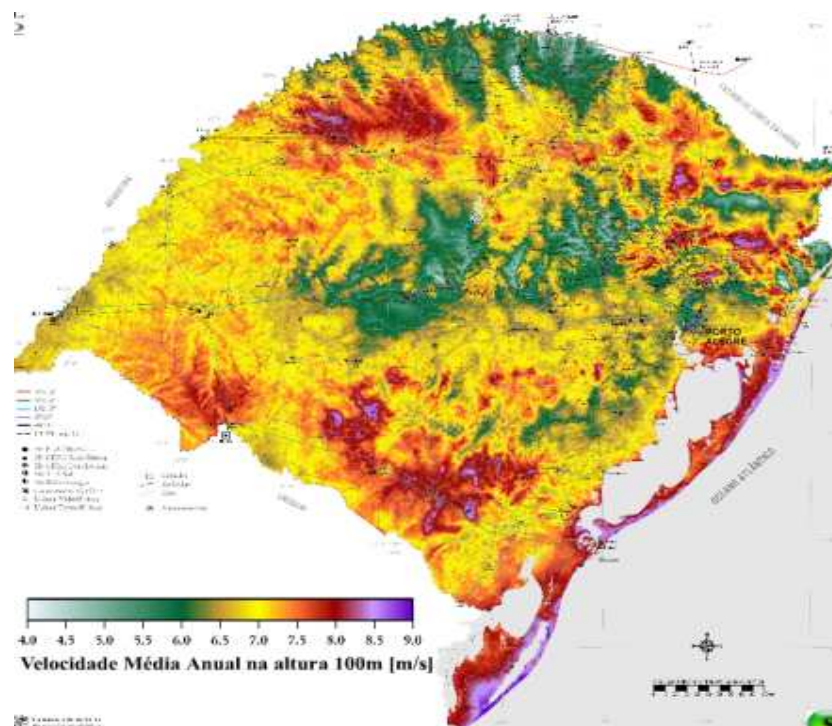
Avaliando todos esses pontos positivos que um parque eólico traz para a região e analisando as figuras, pode-se sugerir a instalação de novos parques na região centro-sul, lugar mais pobre do estado.

A Figura 31 mostra a disposição das usinas hidrelétricas ao norte e nordeste e a Figura 32 indica que a região recebe bons ventos e é apta a receber um empreendimento desse nível.



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil 2008

Figura31 Potência instalada no estado



Fonte: Atlas Eólico do RS

Figura 32 Atlas dos ventos RS

Como pode ser visto no Atlas Eólico, os ventos que passam pela região sul possuem velocidade entre 7 e 8 m/s e, segundo o estudo feito no capítulo anterior, essa velocidade é excelente para conversão da potência do vento em eletricidade.

Portanto, a recomendação desse projeto para a geração eólica no estado é a instalação de parques no centro-sul, onde as características da região propiciam tal investimento e também onde ocorrerá um maior volume de contribuições econômicas para a localidade.

O próximo tópico versará sobre PCH.

4.2.2 Pequena Central Hidrelétrica

Uma das grandes vantagens da PCH para o investidor é o incentivo que o governo dispõe para a implantação desse empreendimento e a facilidade de comercialização da energia com os consumidores.

De acordo com a Constituição Federal é assegurada a participação do município na compensação financeira proporcional ao resultado da exploração dos recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, quando realizada no respectivo território, podendo contar com um reforço em seus orçamentos pelo aporte adicional de recursos.

As águas pertencem a União e dessa forma, os municípios atingidos recebem compensações referente a geração, O imposto sobre serviços de qualquer natureza - ISSQN pago ao município aumenta significativamente durante o período de obras onde a circulação de pessoas, o comércio, atividades imobiliárias e outras prestadoras de serviços podem vir a aumentar seus orçamentos e a circulação de dinheiro no município conseqüentemente. Referente às áreas de reservatório não há compensação alguma, pois estas áreas são adquiridas através de contratos de compra e venda e não arrendadas, já que futuramente estas áreas não existirão com o enchimento do reservatório ou, se

não forem atingidas pelas águas, tornam-se APP (área de preservação permanente) que é uma faixa de 100m acima da calha do rio onde a vegetação deve ser preservada e não se pode utilizar para agricultura e nem para exploração.

Abaixo segue dados de uma PCH localizada no rio da prata:

Potência Instalada: 26 MW

Energia Assegurada: 19,03 MW médios (garantia física de energia)

Número de unidades geradoras: 3

Tipo: Francis Dupla Eixo Horizontal

Potência Nominal: 8.867 kW

Área de reservatório: 1,57 km²

Queda Bruta: 43 m

Custo Total (incluindo Transmissão e JDC): R\$ 133 milhões

De acordo com o artigo 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, passam a vigorar com as seguintes redações:

I – o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente ou autoprodução, mantidas as características de pequena central hidrelétrica;

§ 1º Para cada aproveitamento de que trata o inciso I, a ANEEL estipulará percentual de redução não inferior a 50% (cinquenta por cento), a ser aplicado aos valores das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição, de forma a garantir competitividade à energia ofertada pelo empreendimento.

Além da área reduzida ou nula que é inundada, reduzindo o impacto ambiental, a Lei citada acima promove a redução de tarifas para as PCHs. Portanto, o investimento é viável e proporciona resultados positivos para o investidor, para o meio ambiente e para a população.

4.3 Situação Prevista para 2012

Seguindo a perspectiva do Plano Decenal de Energia - PDEE 2008-2017, a previsão de crescimento do consumo de energia elétrica na Região Sul deve ser de 4,5% ao ano. Propondo atender esse número com energias renováveis pretende-se chegar ao valor investido no empreendimento e a geração garantida para o período. Para isso será utilizado valores de empreendimentos existentes, como o tempo de uso do gerador por ano e investimento na execução da obra.

Para explicitar em números esse crescimento, a Tabela 5 expõe que para o ano de 2012 o acréscimo de consumo deverá ser de 142 MW em relação ao ano de 2011. No entanto, deve-se lembrar que é negociado somente o previsto para o ano em questão, já que de 2009 até 2011 o fornecimento já está garantido devido aos leilões de anos anteriores.

Tabela 5 – Crescimento do consumo na região sul.

ANO	Crescimento anual (%)	Previsão de Consumo no RS	Acréscimo no Consumo	Acréscimo de Energia base 2008 (MWmédio)	Necessidade de Energia acréscimo anual
2008	-	24.099.465	-	-	
2009	4,5	25.183.941	1.084.476	124	124
2010	4,5	26.317.218	2.217.753	253	129
2011	4,5	27.501.493	3.402.028	388	135
2012	4,5	28.739.060	4.639.595	530	142

Como o valor do MWh é composto por diversas variáveis, as quais estenderiam demasiadamente o estudo, o foco do projeto será a energia garantida e a potência

instalada. Para contextualizar de forma mais ampla, o valor do empreendimento e o custo inicial por MW também serão expostos ao longo do projeto.

Deve-se lembrar que o estado produz em torno de 31 % da energia que consome segundo o ONS, sendo que o restante é fornecido pelo SIN. Então a proposta não pretende substituir a geração total atual, mas sim abranger a porcentagem citada acima ou ultrapassá-la com fontes alternativas e renováveis.

A idéia inicial seria utilizar o tripé de fontes de geração para atender a demanda do estado, porém devido ao estudo isolado de cada fonte realizado no Capítulo 3, observou-se que a utilização de biodigestores para a proposta é inviável devido ao custo, ao volume de resíduos que necessitaria para o processo e a geração reduzida se comparada a uma PCH.

Assim, a proposta é atender a demanda do estado exclusivamente com PCHs e parques eólicos. Essa composição seria formada por 70% do total em PCHs instaladas no norte e nordeste do estado aproveitando a capilaridade dos rios e a geração a fio d'água. Os parques eólicos completando os 30% restantes devem ser instalados no centro-sul do estado devido aos bons ventos da região e ao vasto território.

Como exemplo de empreendimentos, há o realizado pela empresa Ventos do Sul no município de Osório, num total de 670 milhões de reais com potência instalada de 150 MW. O outro exemplo seria uma PCH com potência instalada de 26 MW e custo da obra de 133 milhões de reais no rio da Prata. O investidor informa que a potência média da PCH em questão é de 19 MW, correspondente a 73% do potencial instalado.

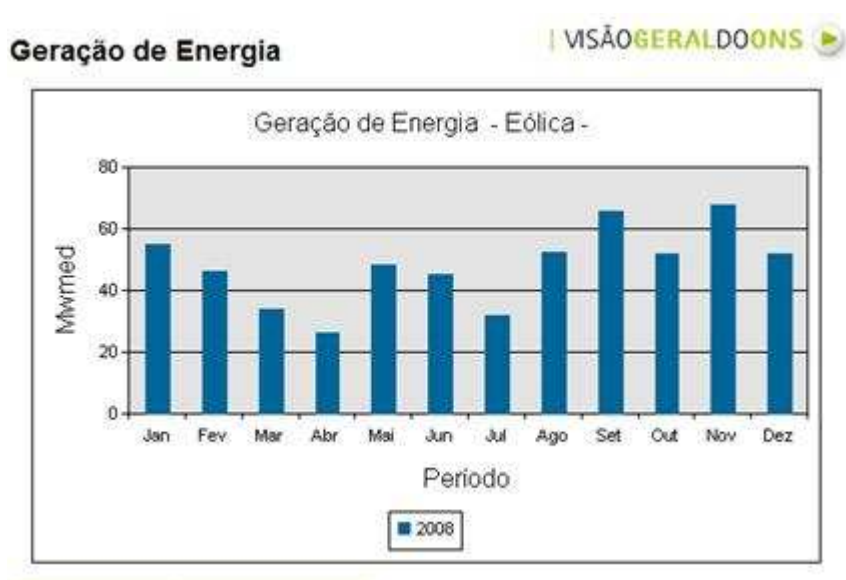
Hipótese para o atendimento do consumo do estado em 2012 para 142 MW.

Tabela 6 – números da geração para 2012

Tipo de Geração	Composição	Potência correspondente (MW)	Fator de capacidade	Potência Instalada (MW)	Investimento (milhões de reais)
PCH	70%	99,4	73%	136,16	696,51
Eólica	30%	42,6	32%	133,12	594,60

Na Tabela 6 existe uma diferença entre potência instalada e potência garantida. Essa diferença é influenciada pelo fator de capacidade, a qual expressa em porcentagem quanto da energia instalada terá garantia de entrega devido ao tempo de funcionamento da turbina e a disponibilidade da fonte mecânica que move a mesma.

A Figura 33 demonstra o quanto um parque eólico, como o de Osório, produz ao longo do ano e assim pode-se obter o fator de capacidade. Para isso, gera-se a média simples dos meses de geração no ano e facilmente encontra-se o dado utilizado para o estudo, que corresponde a 32% de geração garantida em relação ao potencial instalado.



Fonte: ONS

Figura 33 Geração de Energia Eólica.

Com os resultados da Tabela 6, observa-se que a demanda de consumo é atendida exclusivamente com fontes locais, propiciando o atendimento esperado. Também se conclui que o custo do MW instalado para o exemplo de PCH é 5,11 milhões de reais e para o investimento eólico é 4,46 milhões de reais.

O custo da PCH utilizada como exemplo ficou acima das expectativas, entretanto seu fator de capacidade é 2,28 vezes maior, propiciando maior potência assegurada.

As fontes alternativas possuem grande potencialidade e devem ser exploradas, porém atender em totalidade o consumo do estado com fontes alternativas torna-se inviável devido ao valor dos empreendimentos e a presença das grandes usinas hidrelétricas. A intenção de não utilizar investimentos térmicos com fontes oriundas do petróleo é a motivação de todo o estudo e como foi demonstrado a geração feita no estado aumenta, assim diminuindo a utilização do Sistema Interligado Nacional.

Portanto, gerar energia utilizando fontes alternativas, que diminuem o impacto ambiental no nosso planeta, as quais recebem incentivos do governo ou externos como a eólica, que possam contribuir com a eliminação de dejetos de animais como a biomassa e que possam utilizar a queda de rios sem causar grandes alagamentos e desapropriação de terras como a PCH, só têm a acrescentar e proporcionar mais conforto aos habitantes do Rio Grande do Sul.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro do segmento energias renováveis, a hidroeletricidade tem aspecto dominante, devido às extensões hídricas e ao tempo de pesquisa e tecnologias já alocadas. Por este exposto, situou-se as restrições de crescimento do mercado às fontes alternativas de energia, especificamente, biomassas em geral, eólicas e PCHs. Além de uma necessária política pública de suporte e a falta de financiamentos de longo prazo apropriados se mostra como um desafio a ser superado.

A apreensão de investidores ao risco é grande, pois as alternativas apresentam alto custo de projeto e produção. Isso ocorre por ainda não haver um mercado consolidado e por outro lado, a tecnologia não estar ainda bem difundida. Por isso, é essencial superar algumas barreiras políticas e legais, de forma que o financiador se sinta mais confiante em apoiar as fontes alternativas de energia.

Apesar dos pontos citados que dificultam a implantação de plantas de geração inovadoras, o trabalho pode mostrar, com o estudo das tecnologias utilizadas em cada processo, que é possível alternar o modo de como se produz eletricidade no estado e no país para dessa forma evitar cortes e até racionamento.

O uso das alternativas citadas ao longo do projeto, mostra como podem ser usadas em modo de complementaridade com outras fontes e assim alcançar um sistema robusto de transmissão e distribuição de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Aneel), Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 18 ago. 2009.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica para produção de Energia Elétrica**. Editora Eletrobrás. Brasília- 2009

MME, DNAEE. **Manual de Microcentrais Hidrelétricas**. Editora Eletrobrás. Brasília. 2009

SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E COMUNICAÇÕES. MATUELA, Jussara Maria Leite. **Diagnóstico das Fontes Renováveis no Rio Grande do Sul** — SEMC - Secretaria de Energia, Minas e Comunicações. 2006

Grupo CEEE. **Balço Energético do Rio Grande do Sul 2005/2006/2007** – Publicado em dez/2008

DEGANUTTI, Roberto; PALHA, Maria do Carmo J. P.; ROSSI (et AL.), Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês E Batelada - Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho.

ÁVILA, V.S.; MAZZUCO, H.; FIGUEREIDO, E.A.P. **Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1992. 32p.

BELLAVER, C.; PALHARES, J.C.P. **Aproveitando o potencial da CA. Suinocultura Industrial, p.10-13**, 2002.

Atlas de energia elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. Ed. - Brasília : Aneel, 2008.236 p. : il.

BERNY, M.D.; BAJAY, S.V. Geração de energia e a digestão anaeróbia no tratamento de efluentes: estudo de caso na indústria de papel. In: AGRENER'2000

EDERALDO GODOY JÚNIOR , LUIZ ROBERTO CARROCCI, JOSÉ LUZ SILVEIRA, Biodigestores Associados a Sistema de Cogeração para O Aproveitamento Do Biogás Produzido a Partir de Resíduos de Suinocultura – Universidade Estadual Paulista – UNESP

BENINCASA, M.; ORTOLANI, A.F.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores convencionais. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 25p