

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MÉTODO AVALIATIVO DA GERAÇÃO REGIONALIZADA DE ENERGIA, EM
POTÊNCIAS INFERIORES A 1 MW_e, A PARTIR DA GESTÃO DOS RESÍDUOS DE
BIOMASSA – O CASO DA CASCA DE ARROZ

por

Ronaldo Hoffmann

Tese para obtenção do Título de
Doutor em Engenharia

Porto Alegre, março de 1999

**MÉTODO AVALIATIVO DA GERAÇÃO REGIONALIZADA DE ENERGIA, EM
POTÊNCIAS INFERIORES A 1 MW_e, A PARTIR DA GESTÃO DOS RESÍDUOS DE
BIOMASSA – O CASO DA CASCA DE ARROZ**

por

Ronaldo Hoffmann

MSc. Engenharia

Tese submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de

Doutor em Engenharia

Área de Concentração: Energia

Orientador: Prof. PhD. Anildo Bristoti

Aprovada por:

PhD. Homero Dewes

PhD. Félix Alberto Farret

Dr. Gilnei Carvalho Ocácia

Dra. Rosa Leamar Dias Blanco

Prof. Dr. Sergio V. Möller
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 11/03/1999.

RESUMO

O método envolve a avaliação da geração termoeétrica regionalizada, em pequena escala e a partir dos resíduos agrícolas existentes em fontes locais de pós-colheita, beneficiamento e transformação da produção primária. O trabalho está apoiado na adequação técnico-tecnológica, na viabilidade econômico-financeira, no inventário geo-referenciado da disponibilidade de biomassa e na aproximação multicriterial de apoio à decisão.

Para subsidiar as informações com dados, fez-se uma varredura das principais tecnologias existentes, sua disponibilidade e custo, e aplicou-se um questionário específico, dirigido ao diagnóstico energético das empresas trabalhadas, todas do setor arroseiro. Esses números, que alimentam as simulações efetuadas para os casos reais, são amostrados em um Município tomado como representativo da média das regiões do Estado do Rio Grande do Sul.

As avaliações econômicas utilizam-se de dois índices: a TIR e o *Payback*, ambos descontados a uma taxa empregada como mínima de atratividade econômica. O pequeno volume investido e as grandes oscilações dos indicadores, conduzem à instabilidade da análise, em que pequenas variações, relativas ao valor total do investimento expresso em termos de fluxo de caixa, causam grandes alterações nos valores finais da TIR.

Um maior prazo de financiamento e percentual de participação nos itens financiados é desejável para alavancar projetos termoeétricos dessa natureza. Alternativas tecnológicas, como de gaseificação, e associação de empresas geradoras de resíduo potencialmente combustível, são recomendáveis especialmente para escalas inferiores a 200 kW_e de potência instalada.

O método multicriterial mostrou-se útil, especialmente se acompanhado da tecnologia do sistema de informações geográficas (SIG). É uma eficiente e valiosa ferramenta para avaliação de projetos e para hierarquização de preferências das possibilidades existentes, apresentando uma priorização que pode, ou não, ser adotada para o estabelecimento de políticas de incentivo.

É, ainda, perfeitamente aplicável a projetos de geração termoeétrica de pequeno porte, especialmente em configuração de auto consumo, em empresas que se utilizem dos resíduos agrícolas próprios, próximos, ou em conjunto com outras unidades, abrindo caminhos para a gestão ambiental dos resíduos através da geração de biotermoeletricidade.

ABSTRACT

A method to evaluate the regionalised energy generation, with power plants lower than 1 MW_e, by the residual biomass administration – The rice husk's case.

The study develops an evaluation of the regionalised thermoelectrical power generation, in small scale using the local existent agricultural residues like those from crops, benefiting and transformation procedures of the primary production. The work is based on the technician-technological settle down, the economic-financial viability, the geo referenciated inventory of the residual biomass disponibility, and in the multicriterial decision aid approach.

To provide the system with information data, a survey of the main existent technologies are made, and the readiness and cost are saved. Also a specific questionnaire was applied, intended to obtain an energy diagnosis of the worked companies, all of them dealing with rice. Those numbers feed the simulations that are made based on real cases, sampled in a county taken as representative of the average areas of the State of Rio Grande do Sul - Brazil.

The economic evaluations make use of two indexes: the real discount rate (*RDR*) and the *Payback*, both discounted for a minimum economic attractiveness. The small amount invested and the great oscillations of the indexes, conduce to a moderate instability of the analysis, where small variations of the whole investment, expressed in cash flow terms, cause great alterations in the final values of *RDR*.

Increasing the financing period and percentage of participation in the financed items is desirable to improve thermoelectrical project competitiveness. Technological advancing like gaseification, and association of some companies that are potentially fuel residue generators, are alternatives to power plants, especially recommended for scales lower than 200 kW_e.

The multicriterial method seems to be very useful, especially if accompanied of the geographical information system (GIS) methodology. It is an efficient and valuable tool in the evaluation of projects and in the preferences hierarchization of the existing possibilities, presenting a prioritization scale that can or not, be adopted for incentive policy.

It is also perfectly applicable to small scale power generation projects, especially in self consumer configuration, and in companies that used their own or nearby agricultural residues, or together with other enterprise, so open opportunities for the residues administration by the biothermoelectricity generation way.

SUMÁRIO

1.	Introdução.	1
2.	Objetivos.	5
3.	Justificativa.	6
4.	Motivação.	10
5.	Metodologia.	13
5.1	Análise introdutória da coleta de dados.	13
5.2	Escolha das técnicas e tecnologias da conversão energética.	15
5.3	Análise econômica do investimento.	16
5.3.1	Comparação de alternativas de investimento.	17
5.3.2	Constituição da planilha.	17
5.4	O geoprocessamento e o inventário de resíduos agrícolas.	17
5.5	Processo de apoio à decisão: o problema multicritério aplicado à pequena geração termoeétrica.	19
6	Análise introdutória e amostragem.	23
6.1	Amostragem.	23
6.2	Disponibilidade de biomassa no Município.	24
6.3	O manejo da energia nas unidades produtoras de biomassa.	26
6.4	Aspectos econômicos.	27
6.5	Questões técnico-tecnológicas.	27
7	Relações entre oferta de biomassa e demanda de energia.	29
7.1	Oferta de biomassa.	29
7.2	Avaliação da demanda de energia nas unidades de amostragem.	31
7.3	Determinação do potencial termoeétrico das unidades de amostragem baseado na oferta de biomassa.	35
8	Viabilidade dos empreendimentos termoeétricos, avaliados sob a ótica da análise econômica.	39

8.1 Cronograma de implantação.	40
8.2 Avaliação geral dos investimentos necessários.	40
8.3 Equipamentos e custos associados.	41
8.4 Análise operacional – Custos e receitas.	43
8.4.1 Custo do combustível.	43
8.4.2 Depreciação.	43
8.4.3 Custo de pessoal.	44
8.4.4 Custo de manutenção.	44
8.4.5 Tarifa de venda ou comercialização.	44
8.4.6 Energia produzida.	45
8.4.7 Aspectos tributários.	45
8.4.8 Composição do capital de giro.	46
8.4.9 Projeção de vendas e resultados.	47
8.4.10 Custos evitados computados como resultados não operacionais.	47
8.4.11 Fluxo de caixa líquido.	47
8.5 Definição das condições de financiamento adotadas.	48
8.6 Análise e Resultados das Unidades de Amostragem Individualmente	48
8.6.1 Arrozeira A.	49
8.6.2 Arrozeira B.	54
8.6.3 Arrozeiras C, D e E.	57
8.7 Resultados e análise da viabilidade conjunta.	60
9 A oportunidade dos projetos termoeletricos, avaliada sob a ótica da análise multicriterial.	64
10 Conclusões e sugestões.	72
10.1 Conclusões e discussão dos resultados obtidos.	72
10.1.1 Avaliações econômicas.	73
10.1.2 Análise multicritério.	75
10.2 Sugestões para futuros estudos.	76
BIBLIOGRAFIA	78
Apêndice 1.	88

Apêndice 2.	92
Apêndice 3.	94
Apêndice 4.	96
Apêndice 5.	97
Apêndice 6	98
Apêndice 7.	100
Anexos.	101
I. Energia e suas implicações.	101
I.1. As fontes e as transformações energéticas.	103
I.2. A relação econômica da energia.	105
I.3. O uso da energia e sua importância social.	107
I.4. Sobre a energia elétrica.	110
I.4.1. O crescimento da demanda de energia elétrica.	110
I.4.2. Políticas alternativas de geração.	111
I.4.3. A geração com biomassa.	113
II. Caracterização da biomassa como fonte energética.	114
II.1. Formas de ocorrência e usos.	116
II.2. Aproveitamento energético.	118
II.3. O caso dos resíduos agroindustriais.	122
II.4. Questões ambientais relacionadas à biomassa.	126
II.5. Vantagens comparativas da biomassa.	129
III. Energia e termodinâmica de engenharia – Fundamentos.	131
III.1. Ciclos térmicos e a geração de potência.	132
III.2. Princípios da análise exérgica.	136
III.3. Aplicação à geração de força e eletricidade.	139
IV. Tecnologias de conversão térmica e elétrica da biomassa em unidades < 1MW.	141

IV.1. Processos correntes de conversão energética da biomassa. _____	142
IV.2. Avanços tecnológicos. _____	149
IV.2.1. Gaseificação. _____	149
IV.2.2. Cogeração. _____	156
IV.2.3. Miscelânea. _____	158
IV.3. Constituintes da planta termoeétrica. _____	160
IV.3.1. Definição e preparo do combustível. _____	160
IV.3.2. Conjunto queimador - gerador de vapor. _____	161
IV.3.3. Conjunto conversor mecânico – redutor de velocidade. _____	162
IV.3.4. Gerador e sistema elétrico. _____	163
V. Revisão das principais ferramentas metodológicas. _____	165
V.1. Aspectos econômicos e financeiros. _____	166
V.1.1. Construção e etapas do projeto industrial. _____	167
V.1.2. Princípios de matemática financeira e engenharia econômica. _____	168
V.1.3. Critérios quantitativos para avaliação de alternativas de investimentos. _____	172
V.1.4. Um breve histórico de avaliações de interesse realizadas. _____	174
V.2. Geoprocessamento auxiliar. _____	181
V.3. A tomada de decisão apoiada por sistemas de análise multicriterial. _____	183
V.3.1. Os sistemas de apoio à decisão. _____	184
V.3.2. Teoria da decisão – Resumo atual. _____	185
V.3.3. Métodos multicriteriais - MCDM. _____	188
V.3.3.1. Processo de Análise Hierárquica – AHP. _____	190
V.3.3.2. Mensuração da Atratividade pela Categorização Baseadas em Técnicas de Avaliação – MACBETH. _____	191
V.3.3.3. Modelo Aditivo Linear – MAL. _____	192
V.3.4. Exemplos aplicados à área de interesse. _____	194

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Disponibilidade de energia elétrica (potências inferiores a 1 MW).	1
Figura 1.2 – Situação da eletrificação rural no Rio Grande do Sul.	2
Figura 8.1 - Cronograma de implantação da pequena central termoeétrica - PROMASE.	40
Figura 8.2 – <i>Payback</i> descontado, na condição descrita como Caso “1”.	53
Figura 8.3 – <i>Payback</i> descontado, nas condições descritas como Casos “2” e “3”.	54
Figura 8.4 - <i>Payback</i> descontado, na condição descrita como Caso “2”.	56
Figura 8.5 - <i>Payback</i> descontado, na condição descrita como Caso “3”.	56
Figura 8.6 - <i>Payback</i> descontado, Arrozeira “C”, Casos “2” e “3”.	59
Figura 8.7 - <i>Payback</i> descontado, Arrozeira “D”, Casos “2” e “3”.	59
Figura 8.8 - <i>Payback</i> descontado, Arrozeira “E”, Casos “2” e “3”.	60
Figura 8.9 – <i>Payback</i> descontado, conjunto de quatro Empresas, Caso “1”.	62
Figura 8.10 - <i>Payback</i> descontado, conjunto de quatro Empresas, Casos “2” e “3”.	63
Figura 9.1 – Valores dispersos dos projetos, gerados pela simulação Monte Carlo em distribuição uniforme – Caso “1”.	68
Figura 9.2 – Histograma com valores dos coeficientes dos critérios.	69
Figura 9.3 – Desempenho dos projetos frente ao critério 1.	70
Figura 9.4 – Desempenho dos projetos frente ao critério 4.	70
Figura 9.5 – Valores dispersos dos projetos A e Conjunto, gerados pela simulação Monte Carlo em distribuição uniforme – Caso “2”.	71
Figura I.1 – Matéria, energia e local de ocorrência.	102
Figura I.2 - Quadro das principais fontes de energia.	103
Figura I.3 – Quadro das atuais necessidades energéticas.	108
Figura II.1 - Utilização da biomassa vegetal.	116
Figura II.2 - Processos de pré-conversão energética da biomassa não-alimentar.	120

Figura II.3 – Distribuição geográfica das plantas termoelétricas à biomassa, por tipo de combustível e capacidade total instalada (MW _e), nos EUA.	124
Figura II.4 - Descarbonização global da geração de energia por emprego de processos mais eficientes.	127
Figura II.5 - Aumento da concentração de CO ₂ na atmosfera, de 1800 a 1993.	127
Figura III.1 - A energia em um processo comum de transformação.	132
Figura III.2 – Ciclos usualmente empregados para geração de potência.	133
Figura III.3 - A energia em um processo de cogeração.	134
Figura III.4 – Representação dos ciclos de cogeração ($T_1 > T_2 > T_0$).	135
Figura III.5 – Representação esquemática de um ciclo combinado ($T_1 > T_2 > T_0$).	136
Figura III.7 – Volume de controle de um processo termodinâmico em estado estacionário.	137
Figura IV.1 – Exemplo de turbina a vapor.	144
Figura IV.2 – Máquina a vapor horizontal, tipo locomóvel.	145
Figura IV.3 – Máquina a vapor vertical.	146
Figura IV.4 – Motor a vapor vertical, marca Spilling®.	147
Figura IV.5 – Gaseificadores de leito fixo.	150
Figura IV.6 – Planta de gaseificação de biomassa com geração de 600 kVA.	152
Figura IV.7 – Geração termoelétrica com turbina a gás em ciclo combinado, a partir de biomassa.	153
Figura IV.8 – Diagramas esquemáticos dos principais tipos de biodigestores.	155
Figura IV.9 – Sistema de cogeração com ciclo de absorção.	157
Figura IV.10 – Conjunto queimador Biochamm®.	158
Figura V.1 – Viabilidade econômica da auto-suficiência em usina canavieira com índice 0,7 – Critério do VPL.	175
Figura V.2 – Operações com PIs.	182
Figura V.3 – O processo de decisão e a interação Decisor – Analista.	186
Figura V.4 – Fluxograma geral da metodologia AHP.	190

Figura V.5 – Fluxograma do processo interativo do MACBETH.	191
Figura V.6 – Fluxograma das etapas do MAL.	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Rendimentos mencionados por engenheiros em energia.	6
Tabela 6.1 – Produção de grãos, beneficiamento industrial e destino de resíduos no Município de São Pedro do Sul, safras 96/97 (para arroz) e 97/98.	24
Tabela 6.2 – Série histórica da safra de arroz da região “São Pedro do Sul”.	25
Tabela 6.3 – Relação dos engenhos, com as capacidades de beneficiamento e armazenagem estática (sacas de 50 kg).	25
Tabela 6.4 – Distribuição mássica e percentual de produtos, sub-produtos e resíduos originados pelo beneficiamento tradicional de uma saca de arroz bruto.	26
Tabela 7.1 - Resíduo agrícola – kg de casca de arroz/mês – geração estimada em função da produção de arroz branco.	31
Tabela 7.2 - Consumo mensal de energia(kWh) dos engenhos (97-98).	32
Tabela 7.3 - Demanda mensal (kW) dos engenhos de São Pedro do Sul (97-98).	33
Tabela 7.4 – Valor mensal pago pela energia elétrica (97-98), em R\$.	34
Tabela 7.5 – Valor mensal médio pago pela energia elétrica (97-98), em [R\$/MWh].	35
Tabela 7.7 – Número médio de horas de operação dos engenhos.	37
Tabela 7.8 - Fator de utilização dos engenhos.	37
Tabela 8.1 - Variação de custos do conjunto de equipamentos e acessórios, em R\$.	42
Tabela 8.2 - Custo do conjunto gerador de vapor.	42
Tabela 8.3 - Taxas anuais de depreciação para itens da planta termoeletrica.	44
Tabela 8.4 – Potências instaladas nas três condições de simulação.	50
Tabela 8.5 - Depreciações para arrozeira “A”, Caso “1”.	50
Tabela 8.6 - Fontes e aplicações de recursos para arrozeira “A”, Caso “1”.	51
Tabela 8.7 - Tabela de financiamento para arrozeira “A”, Caso “1”.	51
Tabela 8.8 - Resultados para arrozeira “A”, Caso “1”.	52
Tabela 8.9 - Tabela de fluxo de caixa para arrozeira “A”, Caso “1”.	52

Tabela 8.10 – Valores de TIR nas três condições de simulação. _____	53
Tabela 8.11 – Potências instaladas nas três condições de simulação. _____	55
Tabela 8.12 – Valores de TIR nas três condições de simulação. _____	55
Tabela 8.13 – Potências instaladas nas diversas condições de simulação. _____	57
Tabela 8.14 – Valores de TIR nas condições de simulação. _____	58
Tabela 8.15 – Potências instaladas nas três condições de simulação. _____	62
Tabela 8.16 – Valores de TIR nas três condições de simulação. _____	62
Tabela 9.1 – Tábua de valoração resultante da aplicação do MAL – Caso “1”. _____	66
Tabela 9.2 – Valores de desempenho das alternativas individuais – Caso “1”. _____	66
Tabela 9.3 – Média e desvio padrão absolutos dos projetos, em unidades de valor, gerados em distribuição uniforme - Caso “1”. _____	67
Tabela 9.4 – Parâmetros empregados na análise de robustez por simulação Monte Carlo, com as variações de estimativa (delta %) para um erro máximo de 1 %. _____	69
Tabela 9.5 – Tábua de valoração resultante da aplicação do MAL – Caso “2”, em distribuição uniforme. _____	71
Tabela I.1 – Uso mundial de energia por fonte primária, 1970 e 1992. _____	105
Tabela I.2 - Matrizes percentuais de energia mundial, brasileira, estadual e de um pequeno município, em termos de fontes renováveis e não-renováveis. _____	106
Tabela I.3 - Potencial das fontes primárias exploradas no Brasil e seus custos de geração. _____	106
Tabela I.4 - Previsão de crescimento do mercado nacional de energia elétrica. _____	107
Tabela II.1 – Composição percentual de algumas biomassas. _____	117
Tabela II.2- Uso energético de biomassa em alguns países, 1987. _____	118
Tabela II.3 - Poder calorífico inferior (PCI) de algumas biomassas. _____	119
Tabela II.4 – Conteúdo energético (EJ/ano) de alguns resíduos de biomassa. _____	122
Tabela II.5 – Energia comercial e suprimento potencial com biomassa (EJ/ano). _____	123
Tabela II.6 – Resíduos agrícolas de culturas brasileiras e seu potencial energético. _____	125

Tabela II.7 - Custo estimado das externalidades do ciclo de combustível em diferentes estudos (em milésimos de US\$ de 1994/kWh). _____	130
Tabela III.1 - Exemplos de processos, seus benefícios e perdas. _____	134
Tabela IV.1 - Unidades instaladas de caldeiras à biomassa. _____	143
Tabela IV.2 - Caracterização das demandas de energia e dos sistemas de cogeração no Brasil e no mundo. _____	148
Tabela IV.3 – Composição típica do gás gerado por diferentes reatores e matérias-primas. ____	152
Tabela IV.4 – Variáveis na produção de biogás a partir de resíduos animais. _____	154
Tabela IV.5 – Consumo de biogás em equipamentos e máquinas. _____	155
Tabela IV.6 – Índice de potência gerada por t/h de vapor e queda de pressão. _____	163
Tabela V.1 – Resultados da análise econômico-financeira das alternativas de cogeração elétrica para empresas do setor sucro-alcooleiro. _____	176
Tabela V.2– Performance do sistema de cogeração termoelétrico (30 kW _e). _____	177
Tabela V.3 – Informações para alimentação do checklist para gaseificadores à biomassa. ____	194

LISTA DE SÍMBOLOS

Índices em caracteres romanos.

- B – Exergia - [Joule]
- F – Valor futuro
- H – Entalpia [Joule/Kelvin]
- P – Valor presente
- Q – Calor [Joule/Kelvin]
- S – Entropia [Joule/Kelvin] ; subconjunto de soluções
- T – Temperatura [Kelvin]
- U – Série uniforme
- V – Valor normalizado; função multicritério de valor
- W – Trabalho [Joule]
- a – Desempenho da alternativa
- c – Coeficiente de importância
- i – Taxa de juros
- r – Taxa de juros nominal
- s – Solução possível
- x – Valor do projeto

Em caracteres gregos.

- Ω - Conjunto de soluções possíveis
- η - Rendimento; eficiência
- ε - Efetividade
- μ - Potencial químico
- σ - Taxa de produção de entropia [Watt/Kelvin]
- ω - Resultado possível

Sub-índices alfabéticos.

- ai – Absoluto
- c – Carnot
- comb – Combustível

dest - Destruído

e – Entrada

i – Identificador de critério

j – Identificador de projeto

k – número de critérios

max – Máximo

min - Mínimo

n – Período; número de anos; número de medidas

ni – Normalizado

Q – Calor transferido

rej – Rejeitado

s – Saída

Sub-índices numéricos.

0, 1, 2 – Índice de contagem numérica; identificador de estado termodinâmico ou de temperatura

1. Introdução.

Avaliações da Secretaria de Agricultura e Abastecimento e Secretaria de Minas, Energia e Comunicação [Zimmermann, 1996], dão conta que o meio rural do Estado do Rio Grande do Sul, que possui cerca de 580 mil propriedades rurais, carece de fornecimento de energia elétrica em 130 mil delas. Para estes possíveis consumidores, o custo da extensão da rede de distribuição e a indisponibilidade de potência, são graves problemas que impedem ou dificultam o acesso a tal energia. Essa conjuntura afeta também as pequenas cidades situadas nas vizinhanças, cujas regiões já estão mapeadas pela Companhia Estadual de Energia Elétrica, aparecendo como zonas de pouca, nenhuma ou mesmo deficitárias ($0 = D < 1$ MW, ou $D < 0$), onde D é a disponibilidade de energia elétrica.

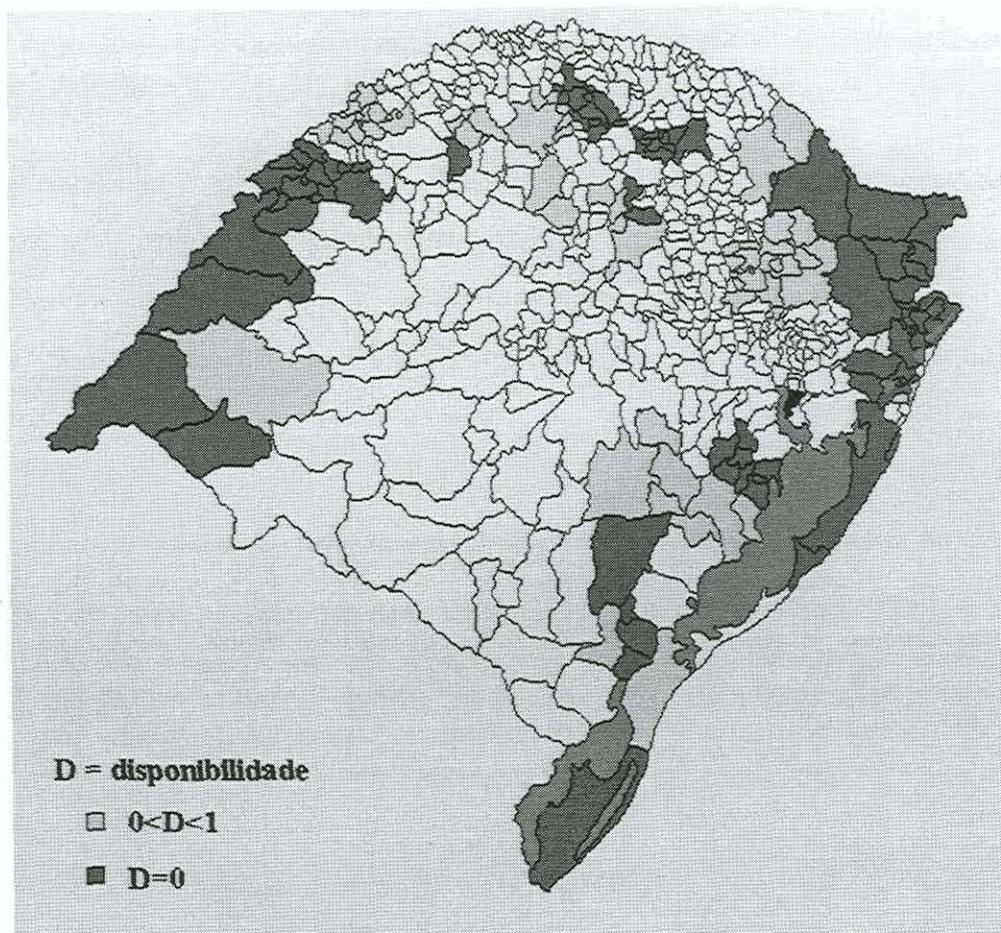


Figura 1.1 – Disponibilidade de energia elétrica (potências inferiores a 1 MW).
Fonte: Companhia Estadual de Energia Elétrica – 1996.

Por outro lado, muitos dos sítios rurais com problemas de suprimento de energia elétrica possuem, na verdade, um agravante chamado sazonalidade, isto é, uma má distribuição temporal da demanda. Em outros tantos locais, existe uma oferta de energia, sob forma principalmente de resíduos agrícolas e florestais, resultante dos processos de beneficiamento e transformação dos produtos primários.

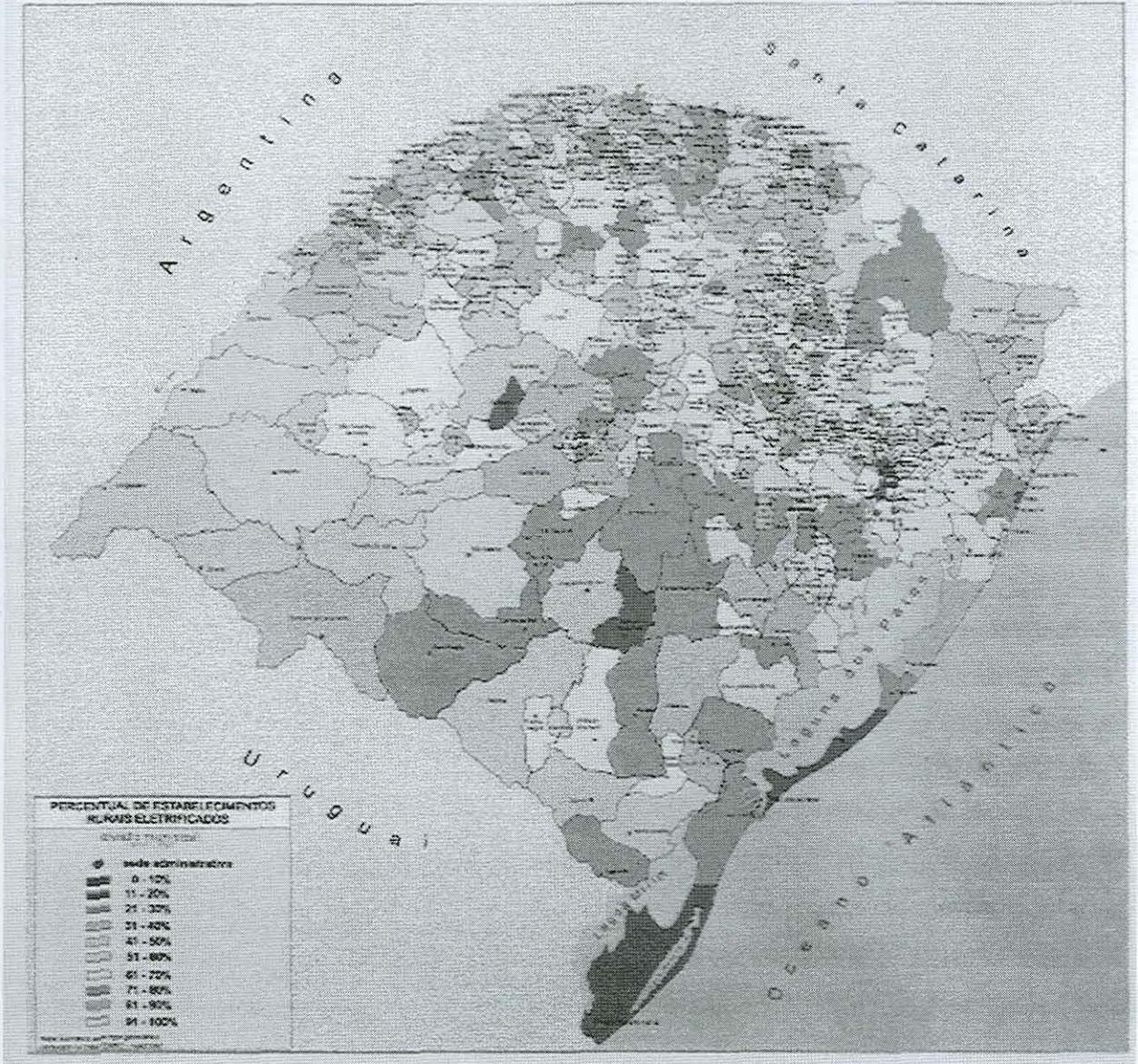


Figura 1.2 – Situação da eletrificação rural no Rio Grande do Sul.

Fonte: Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento – 1996.

A utilização desse potencial na geração de energia termoelétrica por intermédio de autoprodutores e produtores independentes, encontra uma barreira, tanto de ordem técnica quanto de ordem econômica, constituída pela deficiência de estudos analíticos e a carência de

equipamentos viáveis, em todos os aspectos, para atenderem de forma satisfatória as faixas de potência de um emergente e real mercado gerador / consumidor.

Durante este século as potências situadas entre 10 kW e 1 MW, não foram supridas por equipamentos nacionais eficientes de geração, principalmente aqueles que operam termicamente a partir de fontes renováveis, em função de aspectos relacionados a políticas, e conseqüente legislação, de fornecimento de energia ancoradas em modelos centralizados, bem como aspectos culturais de não incentivo à pesquisa e desenvolvimento de tecnologia, e de economia de escala. A grande maioria dos casos, como: remanescentes de cooperativas, grupos de produtores rurais, agroindústrias e pequenos municípios, que apresentam demanda reprimida de energia elétrica ou não possuem a mesma, estão situados nessa faixa de potência. Em termos de localização no Estado, pode-se situar os pontos críticos em maior densidade, nas regiões Centro-Oeste, Sul-Sudoeste, Serrana do Nordeste e Costeira.

Quanto à disponibilidade de resíduos de biomassa, passível de emprego para geração termoelétrica, uma análise preliminar mostra que há grande coincidência na distribuição geográfica entre esta e aquela da demanda, possivelmente causada ou determinada pelo baixo índice de industrialização e agregação de valor. Tal distribuição mostra-se, ainda, de forma descentralizada e em uma escala compatível com as pequenas potências em questão.

O presente trabalho propõe-se desenvolver um estudo da adequação técnico-tecnológica e de viabilidade econômica da geração de energia termoelétrica, de pequena escala em zonas de economia agrícola, a partir de resíduos de pós-colheita, beneficiamento e transformação agroindustrial, podendo ser adaptada a outras fontes locais de biomassa.

Com essa informação aliada ao posicionamento geográfico (em especial no que diz respeito às facilidades naturais e construídas), torna-se possível construir um modelo multicriterial que auxilie no estabelecimento de políticas de fomento e priorização de investimentos. Tal modelo constitui-se em proposta de ampliação da meta inicial, visando aperfeiçoar a gestão dos recursos de ordem financeira, material e humana, em nível municipal e/ou regional.

As metodologias empregadas passam por uma profunda avaliação: da disponibilidade de resíduos agrícolas e fontes de biomassa na região, bem como a sua localização espacial em termos geográficos, valendo-se para tal de uma base de dados descritiva e em geoprocessada; das tecnologias existentes e porte de geração, através da análise do comportamento de modernos equipamentos de menor potência que os usualmente oferecidos no mercado, em função da disponibilidade local de biomassa; e de parâmetros econômicos, como a estimativa de retorno do

investimento (economia de energia em autoconsumo, ou venda da energia à concessionária, quer de excesso ou exclusivo) e o uso da energia excedente (térmica ou mecânica).

A expectativa de resultados concentra-se na possibilidade de criação de alternativas de geração de energia em regiões deficitárias, utilizando-se combustíveis de custo extremamente reduzido e disponíveis localmente, aumentando a oferta de energia elétrica regional e capacitando, deste modo, o surgimento de agroindústrias que, com seu efeito multiplicador, poderão trazer maior nível de ocupação de mão-de-obra, crescente satisfação social e maior conforto, com aumento na expectativa de vida, sem necessidade de migração da população para outras regiões de maior infra-estrutura.

Subjacente a todo este processo de desenvolvimento, estar-se-á proporcionando um destino mais nobre aos resíduos (em consonância com os preceitos do desenvolvimento sustentável), que na maioria dos casos são hoje um poluidor ou estão sendo sub-utilizados, abrindo um mercado para o emprego de tecnologias endógenas (locomóvel, por exemplo), outras já existentes no exterior (Spilling®, por exemplo), e mesmo o surgimento de novas concepções para a geração de energia, cujo consumo certamente crescerá com a melhoria do nível de vida da população local e regional (melhor distribuição espacial do desenvolvimento do Estado).

2. Objetivos.

Esta proposta de tese tem como objetivos os quatro itens abaixo discriminados, e cuja metodologia será testada na Região Centro do Estado do Rio Grande do Sul, em município que seja representativo ao comportamento da média dos municípios da região, sob ponto de vista da área, população, fisiografia, atividades econômicas e condicionantes sociais.

Neste sentido, escolheu-se intencionalmente o Município de São Pedro do Sul, situado a 38 km de Santa Maria (que é a cidade pólo da referida região), de economia agrícola e onde se processa cerca de 1 milhão de sacas de arroz anualmente. Outras características podem ser citadas, como o tamanho, a produção, os habitantes urbanos e rurais, os consumos setorizados de energia, etc.

Face às recentes alterações na legislação e o surgimento de tecnologias de fabricação nacional, pretende-se apresentar uma aproximação inovativa ao planejamento de pequenas centrais térmicas, baseada em potências não superiores a 1 MW, bem como desenhar os cenários dos efeitos energético, econômico, social e ambiental, através do uso de ferramentas como o geoprocessamento e a análise multicritério.

As etapas propostas para a construção do estudo são:

- a- quantificação e localização da oferta anual de biomassa proveniente de resíduos agrícolas, das atividades de produção florestal e da agroindústria, nos pontos de geração destes resíduos;
- b- avaliação do potencial de geração, em pequena escala, de energia elétrica e térmica associada, e das tecnologias existentes, com demarcação dos processos disponibilizados ao setor agroindustrial;
- c- análise, do ponto de vista econômico e financeiro, da alternativa de geração termoelétrica, com tecnologia nacional disponível, que apresente o maior rendimento possível ; e
- d- priorização dos projetos, mediante aplicação de metodologia específica de análise multicritério.

Com as informações assim obtidas, será possível chegar-se a um quadro, ou tela, que projete as possibilidades mais confiáveis de geração termoelétrica, a partir da gestão de resíduos de biomassa, e seus benefícios, incluindo-se um desejável ordenamento dos diversos projetos existentes.

3. Justificativa.

Há mais de doze anos vem sendo divulgado o iminente desabastecimento de energia elétrica no País e, mais gravemente, no Estado. Este capítulo específico do todo energético, é o mais divulgado, apesar de sua pequena participação na matriz energética, devido ao impacto social que a falta de energia elétrica causa sobre todas as atividades da moderna sociedade. Mundialmente ela é a forma final de energia que mais cresce e que continuará aumentando sensivelmente sua participação, em detrimento de formas, assim chamadas, menos nobres de energia.

Pela análise dos números que expressam a eficiência atual dos processos de geração termoelétrica, bem como de outros processos industriais, em especial aqueles que empregam calor, pode-se comprovar o enorme campo de racionalização, desenvolvimento e aplicação tecnológico existente, no sentido de melhor gerenciar o potencial presente nos diversos combustíveis.

Tipo de dispositivo	Rendimento (%) máximo
Máquina a vapor	10 – 30
Motor Otto	25 – 30
Motor Diesel	35 – 40
Turbina a gás	20 – 30
Usina nuclear	35
A maioria das modernas usinas de grande capacidade, usando turbinas a vapor	40

Tabela 3.1 - Rendimentos mencionados por engenheiros em energia.

Fonte: Spilling Consult AG, 1996.

Uma das maneiras mais imediatas de se elevar o índice de eficiência no aproveitamento da energia existente em um combustível, é lançar mão do calor gerado, isto é, do efeito térmico manifesto em calor sensível, em grande parte jogado fora, tratado como rejeito, especialmente quando da geração termoelétrica. Muitos processos industriais deixam de aproveitar recursos térmicos e/ou elétricos excedentes nas vizinhanças e os buscam longe, a um custo maior, gerando um consumo adicional de energia [Campos, 1992]. Agindo com racionalidade e aproveitando ao

máximo o recurso energético, é possível, sem criar novas tecnologias, atingir eficiência global da ordem de 60 a 80%.

No sentido de buscar a racionalidade e o desenvolvimento, conduzindo a uma perspectiva de maior eficiência no uso do recurso natural, a biomassa aparece, para o Rio Grande do Sul, como o grande ponto a ser trabalhado, pois, além de ser o segundo item em importância na matriz energética e exibir os menores rendimentos de transformação - e portanto maior campo para melhorias, é uma fonte primária com extraordinário potencial de expansão, principalmente por:

- a- ser grande produtor de resíduos agrícolas;
- b- ter vasta experiência florestal;
- c- e possuir um parque industrial razoavelmente desenvolvido e passível de mobilização [Nodari, 1996].

É, sem dúvida, necessário que se estabeleça uma completa estrutura de apoio - como pesquisa e desenvolvimento de tecnologia, planejamento e gestão de recursos e financiamento - ao emprego de biomassa em grande escala [Elliott e Booth, 1990 e Carpentieri et al., 1992], notadamente no incremento da base térmica de geração de energia elétrica.

Entretanto, o uso de biomassa exclusiva para termoelectricidade em grandes unidades, do ponto de vista estratégico, deve ser precedido pela criação de um mercado pioneiro, baseado na biomassa que está sobrando - e poluindo, isto é, os resíduos, cujo custo de aproveitamento por kWh gerado é mais barato. Isso se aplica tanto para o custo de investimento quanto, especialmente, para o de operação - podendo serem aproveitadas instalações de vapor já existentes em muitas indústrias, ativas ou não, representando, deste modo, poucos riscos ao investimento, ao mesmo tempo que servem como divulgação e disseminação do processo termoelétrico, tendo em vista a dispersão territorial da geração de resíduos de biomassa. Uma política bem conduzida neste sentido, certamente alavancaria a chamada dendroenergia, ou floresta energética, a partir da gestão de resíduos disponíveis [DOE, 1996].

As indústrias que têm maior potencial para este tipo de exploração associada - energia térmica mais energia elétrica/mecânica - são ligadas direta ou indiretamente ao setor agrícola. Algumas destas agroindústrias são: cervejarias, laticínios, beneficiadoras de grãos, fábricas de ração, curtumes, fábricas de pós (leite, café, etc), fábrica de óleo e derivados, indústria de celulose e papel, indústria de conservas em geral, usinas de açúcar e álcool e indústria da madeira [Spilling, 1996].

Pois é justamente nesse setor da economia que se encontram grandes volumes de resíduos com potencial energético, os quais são desperdiçados ou encontram-se inexplorados. Neles

incluem-se: cascas de cereais, café, coco, nozes, amendoim, algodão e outros, além da serragem, cavacos, galhos e costaneiras da indústria florestal e moveleira, bem como o biogás que pode ser gerado nos processos de tratamento dos resíduos nas diversas agroindústrias. Pode-se citar, ainda, a inclusão da fração combustível do lixo domiciliar, urbano e industrial, aproveitado em muitos países como fonte térmica e para conversão elétrica em processos apropriados, mas atualmente proibido no Estado.

Assim sendo, e em conformidade ao que já foi citado anteriormente, existe um real potencial de geração térmico e elétrico, ou mecânico, em zonas de produção agrícola, que hoje sofrem com o déficit de abastecimento energético, de modo mais agudo, de energia elétrica. Pelas características da geração dos resíduos agroindustriais e localização de tais empresas, fica evidenciada a exploração energética em pequena e média escalas, com unidades disseminadas nessas regiões propícias e que podem ser administradas de forma mais racional, com rendimento maximizado do potencial existente no resíduo combustível existente. Para esta geração termoelétrica em pequeno porte, apresentam-se poucas opções tecnológicas, o que compromete a viabilidade econômica, uma vez que a biomassa é a fonte renovável de energia que utiliza combustíveis de baixo custo, pequeno poder calorífico, ou ainda de baixa densidade mássica - fato que impede o transporte a longas distâncias.

Em baixas potências, nada concorre com motores estacionários a diesel - pelo baixo investimento e subsídio ao combustível, e para potências superiores a 1 MW, as turbinas a gás se mostram insuperáveis na relação de custos. Nas micro e pequenas gerações, numa fatia entre os 10 kW e 1 MW, encontra-se o que se pode chamar de "vácuo" técnico e econômico. Esta questão é o ponto central deste trabalho que, além de diagnosticar o estoque de resíduos, efetua a sistematização da análise, de modo a estabelecer uma base de cálculo econômico das alternativas tecnológicas e seus alcances, dirigida à micro e pequena escalas, as quais não possuem uma referência que auxilie na tomada de decisão, especialmente nos mercados agroindustriais.

Para uma resposta mais completa, pode-se recorrer ao geoprocessamento, como ferramenta auxiliar na caracterização da distribuição espacial dos pontos de geração, na eventual análise do raio econômico, no cruzamento com informações de infra-estrutura regional - estradas, redes de distribuição de energia elétrica, indústrias e outras - e na demarcação de zonas preferenciais para investimento.

O uso de SIGs (Sistemas de Informações Geográficas), possibilitam a união de informações descritivas à localização geográfica destas. Assim, em um ambiente computacional, mediante o emprego de software adequado, é factível o plano de gestão de resíduos de biomassa,

a estratégia de sua utilização e a visualização dos chamados PIs (Planos de Informação), tudo facilitado pela possibilidade de atualização dos dados.

Na análise de projetos de UTEs (Usinas Termoelétricas), vários fatores aparecem como limitantes. Além dos aspectos econômicos, devido à concorrência de preços no mercado os quais, via de regra, encontram-se distorcidos e apresentam, para a energia elétrica, custos marginais superiores às tarifas praticadas - custo de US\$35,-/MWh para os anos 2000-5, US\$49,- para 2005-10, e US\$64,- para 2010-15 [Altino, in: Nodari, op. cit.], há outros dois importantíssimos e não independentes, a serem considerados e ponderados, dentro do estudo de fornecimento de energia elétrica a partir de resíduos de biomassa (e mesmo outros): os aspectos ambientais e os sócio-econômicos.

Com o intuito de verificação prática da análise sistêmica que se pretende, é necessária a aplicação metodológica em uma região da qual se conheçam dados e estejam disponíveis informações relevantes, como produção agroindustrial, geração e distribuição de energia, rede de rodovias, hidrografia, matriz de consumo energético, população, capacidade de uso dos solos e outros [Pretz e Hoffmann, 1996]. É fundamental que a região alvo seja grande produtora primária de pelo menos um gerador de resíduo, que tenha um programa institucional de desenvolvimento e, preferencialmente, que apresente razoável capacidade de industrialização - ainda que desativada - e uma demanda energética não atendida - localmente ou nas proximidades, especialmente no que se refere ao meio rural.

O conjunto exposto até aqui, justifica de um modo geral a proposta do presente trabalho. No entanto, para que resultados e efeitos sociais sejam alcançados, é necessária a consecução de um programa integrado de desenvolvimento, com participação do poder público, comunidade regional e, no caso específico, técnicos especialistas em energia. Em essência, deve-se evitar uma abordagem unicamente macroeconômica no planejamento energético, mas sim compreender que, com a sofisticação tecnológica atual, qualquer um pode competir em mercados regionais com geração elétrica de pequeno e médio portes. Nas palavras de Pretz, 1996: "enquanto tentarmos ajustar a situação de uma região a um programa de energização geral, estaremos fazendo simplificações e adaptações que conduzirão a erros estratégicos".

4. Motivação.

Trata-se de um compromisso ambiental, social e econômico a busca do aproveitamento racional de resíduos agrícolas, bem como a melhoria da eficiência do seu uso. Disseminando-se o emprego de pequenas unidades, que acoplem calor e eletricidade, cresce a oportunidade de industrialização local e regional da matéria-prima agrícola, pela oferta de energia, assim como a produtividade agrícola de zonas até então carentes em energia elétrica.

Através de um programa integrado de desenvolvimento, pode-se reabilitar regiões hoje sem disponibilidade de energia, com produção primária decadente e sem nenhuma perspectiva de industrialização. Tais regiões, a partir da possibilidade de produção de toda, ou quase toda energia elétrica e térmica, empregando resíduos nelas mesmas produzidos, tornam-se aptas a enfrentar a competitividade dos mercados internacionais, com grandes possibilidades de sucesso, desde que inseridas em uma proposta de coordenação local, geralmente mais racional que as sujeitas a planejamento estatal centralizado, como ocorre na maioria dos países industrializados, os quais são os maiores concorrentes na produção primária, especialmente pelo alto subsídio dado ao setor em tais países [Pinazza & Araújo, 1993].

Outro aspecto fundamental é a possibilidade de uma sistematização da produção agrícola, em um fluxograma de integração de todos os fatores, gerando um produto final de alta qualidade e virtualmente isento de resíduos, auto-suficiente em energia e apto a receber qualquer inspeção relativa à concessão do “selo verde” - ISO série 14000, além da série 9000, e até mesmo em esquemas de produção sem emissão de resíduo ou ZERI [Pauli, 1996], e outras propostas.

Pelos levantamentos da atividade agrícola até agora realizados, cujos dados ainda não foram totalmente explorados com o objetivo de localização do potencial energético, aliados ao zoneamento de localidades onde a concessionária estatal recomenda a instalação de pequenas e médias usinas (hídricas e/ou térmicas), constata-se uma coincidência geográfica, em nível estadual, da ordem de 80%.

São bem caracterizadas as áreas da Zona Sul e Fronteira Oeste, grandes produtoras de arroz e gado, e as zonas Costeira e Serrana do Nordeste, onde se concentram muitas das atividades florestais. As demais, constituídas por manchas menores, em geral estão igualmente ligadas à atividade agrícola, sendo que especificamente para 40% dos municípios listados, é possível a utilização da energia eólica - tendo em conta a sua localização litorânea e/ou potencial

mínimo de ventos. Já para outros 30%, é ainda possível a exploração de hidroelétricas, de pequeno a médio porte (ver Figuras 1.1 e 1.2).

Como se pode depreender, a exploração de tais fontes locais e relativamente abundantes de energia, sem que aí se contabilize a solar direta que é mais ou menos semelhante em quase todas as regiões do Estado, viabiliza as propostas para um desenvolvimento mais eqüitativo em todo o Rio Grande do Sul [Hoffmann e Bristoti, 1994], trazendo consigo a forte condição de completa energização das 130 mil propriedades rurais, que hoje estão desassistidas deste insumo fundamental que é a energia elétrica.

Tem-se, assim, a possibilidade de retomar os complexos produtivos agroindustriais, a criação de empregos, as atividades econômicas regionais e o processo de relaxação das tensões sociais, hoje muito expressivas. Os valores em torno de R\$ 80,00 a 120,00 pagos pelo MWh, acenam como oportunos aos investimentos que gerem energia elétrica a custos inferiores a esses, como no caso de unidades térmicas com turbinas de vapor superaquecido. Respostas de custos na escala de trabalho e com variação de tecnologias e resíduos disponíveis localmente, necessitam ser melhor investigadas.

Algumas poucas unidades termoelétricas à biomassa funcionam no Estado, aproveitando resíduos florestais, de processamento da madeira e de casca de arroz, com custos bastante competitivos, em virtude do valor zero ou negativo - resíduo a ser eliminado ou tratado - atribuído à fonte, e ao uso local da mesma, eliminando ou reduzindo ao máximo os custos com transporte. Como exemplos, podem ser citados:

- Celulose Cambará S/A, com 6 MW instalados, utilizando uma mistura de resíduos florestais, com queimador de grelha e turbinas a vapor de condensação;
- TANAC S/A (Montenegro), com 1 MW e previsão para 5 MW, usando bagaço de casca exaurida e lenha de acácia, com fornalha de grelha móvel e turbina a vapor de condensação;
- Urbano Agro-industrial (São Gabriel), com potência nominal de 2 MW, combustível casca de arroz em fornalha de grelha móvel e turbina a vapor de condensação total a vácuo;
- RIOCELL S/A, potência instalada de 72 MW, utilizando licor negro e cavaco de madeira associado com carvão mineral e óleo combustível, em duas caldeiras aquatubulares, e vapor em turbogeradores à contrapressão;
- Arrozeira Doeler (São Pedro do Sul), potência máxima de 250 kW, usando casca de arroz em caldeira convencional e geração com motor alternativo (locomóvel);

- Cooperativa Agrícola Cachoeirense, potência e demais condições semelhantes a anterior, em funcionamento desde 1950; e
- MADEM Ind. e Com.(Mostardas), potência instalada de 1,25 MW, queimando resíduos florestais, gerando vapor para turbinas de contrapressão.

Desses casos concretos, podem ser destacados os pequenos aproveitamentos energizados por casca de arroz e que, segundo Nodari, 1996, podem representar uma economia anual da ordem de R\$ 70 a 100 mil, na conta de energia elétrica de empresas do porte, isto é, arrozeiras que beneficiam cerca de 100 sacas de grão bruto (50 kg cada) por hora, com consumo específico de 0,1 kWh/kg de arroz [CIENTEC, 1986], em um tempo máximo de retorno do investimento de três anos.

É claro que o processo não se encerra no zoneamento, na marcação de pontos, na avaliação das tecnologias, nem na contabilização econômica. Na verdade, este é o início que abre caminhos a uma crescente demanda de tecnologias, em geral e em particular para o setor elétrico, cujo consumo, que cresce quando a economia está estagnada, mais ainda crescerá quando o desenvolvimento social, agroindustrial e tecnológico for retomado.

No sentido de instrumentalizar-se o poder público, em especial e também o privado, é implementada a análise multicriterial, onde os projetos e suas alternativas são avaliados comparativamente, em busca das melhores soluções de gerenciamento dos recursos.

Em última análise, a motivação básica é a busca do desenvolvimento econômico, através do crescimento da produção regional, que traga estabilidade às relações sociais e onde o capital seja empregado para o bem-estar da população, e não na usura da exploração financeira do capital sobre o homem.

5. Metodologia.

5.1 Análise introdutória da coleta de dados.

O tipo de abordagem que é empregado no presente trabalho, em que se lança mão de várias fontes de informações e dados, os quais, por sua vez, alimentam um sistema de avaliação metodologicamente ancorado no MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*), apresenta uma necessária interdisciplinaridade em sua análise. Isto exige muito na questão dos recursos auxiliares e no cuidado com a correção dos dados, especialmente porque o AMD “caracteriza-se por ser um processo interativo e intuitivo, que permite avaliações, sejam elas objetivas e/ou subjetivas” [Mury, 1996].

Objetivando caracterizar os atributos e/ou critérios, faz-se necessária a obtenção do máximo de informação sobre cada elemento de importância no processo de teste, avaliação e desenvolvimento de uma hipótese ou projeto, conhecendo ainda opiniões e medindo impactos no meio em que esses se encontram inseridos.

Tais informações têm como momento crítico o procedimento adotado para sua coleta (amostragem, entrevistador, análise de dados), podendo estender-se por um grande intervalo de tempo [Saaty, 1991].

Dois métodos são empregados no levantamento de dados, buscando um maior envolvimento, participação e representabilidade das unidades de amostragem, bem como do público alvo, facilitando uma futura implementação dos projetos selecionados:

- questionário aberto, isto é, através de respostas escritas às questões direcionadas diretamente ao público alvo, cujas informações são passíveis de ajustes; e
- entrevistas, quando as informações são obtidas por questões aplicadas ao entrevistado, e cujo conteúdo pode ser modificado no decurso da mesma, dependendo da qualificação e conhecimento do entrevistador.

A seguir, apresenta-se brevemente os grupos de informações recolhidas e observações críticas, quando for o caso. Vale lembrar que essas informações têm o duplo caráter de subsidiar critérios e também validá-los, mediante simulações práticas aplicadas à região escolhida.

Energia nos engenhos – Os dados são obtidos a partir do preenchimento de um questionário específico (ver Apêndice 2) para obtenção de dados dos engenhos que descascam e

processam arroz (por ser este o único resíduo agrícola de importância na região amostrada). Mediante a avaliação da produção de fardos de arroz beneficiado é estimada a quantidade de resíduos e o potencial de geração termoelétrica de cada empresa.

A análise do consumo de energia elétrica é efetuada sobre as contas de fornecimento da concessionária, em período mínimo de doze meses consecutivos, resguardando a sazonalidade no consumo energético das empresas, conforme recomendação do “Manual de Administração de Energia” [AAE, 1996].

Os questionários sofrem adaptações específicas para os diversos processos e indústrias, como serrarias e frigoríficos, por exemplo. Tais correções de rumo são realizadas sem maiores dificuldades, pelo que se pode constatar nos trabalhos realizados no setor agroindustrial [CIENTEC, 1986 e Fontes, 1994].

Investimentos e custos tecnológicos – O espectro bastante limitado de fornecedores de equipamentos de pequena escala de geração, torna o mercado muito pouco flexível quanto à competitividade e extremamente maleável quanto às oscilações de preço.

Uma vez definidas as características dos equipamentos e as respectivas tecnologias empregadas, o levantamento de seus custos foi feito através de consulta direta aos fornecedores, conforme relatado no Anexo Capítulo IV, levando-se em consideração critérios adicionais como a qualidade, confiabilidade e tradição dos equipamentos e empresas no mercado.

Tecnologias disponíveis no mercado nacional – O estado da arte das tecnologias de geração termelétrica baseadas em processos com turbina a vapor e ciclo convencional pode ser considerado no mesmo nível dos equipamentos encontrados fora do país para turbinas de ação de simples e múltiplo estágio. O Brasil tem se tornado, inclusive, um exportador de equipamentos como turbinas a vapor para países africanos, asiáticos e na região abrangida pelo MERCOSUL.

Em termos de tecnologias de queima, entre os fornecedores do mercado nacional com sistemas que procedem uma boa queima das cascas do arroz, dois princípios predominam como alternativas eficientes: a combustão pirolítica e a queima em suspensão. Somente a primeira tem apresentado alternativas em pequena escala, tanto do ponto de vista de soluções das limitações dos equipamentos, como do ponto de vista de viabilidade econômica.

Nos demais equipamentos que compõem uma central termelétrica, como painéis e geradores, há uma grande variedade de fornecedores que possuem equipamentos de excelente

qualidade, igualmente sendo exportadores, fato que leva a uma grande competição e conseqüentemente a uma redução dos preços no mercado.

Custo do resíduo – Para fins de cálculo dos custos variáveis, os resíduos têm seu valor estimado em zero. No caso, como as empresas pagam para as cascas serem removidas, considera-se tal redução de custos como um lucro não operacional, com valores equivalentes aos pagos para o transporte e/ou disposição e tratamento, visando sua eliminação, no que se denomina de “custo evitado”, com valor monetário negativo. Dados são obtidos pelos questionários, entrevistas com proprietários e bibliografia específica.

Base cartográfica e de imagens – As cartas utilizadas como base cartográfica, apresentam-se na escala 1:50 000 e foram obtidas na Prefeitura do Município de São Pedro do Sul (1996), na AES Sul Distribuidora de Energia (1994 a 96) e na Divisão de Serviços Gerais (DSG), do Ministério do Exército (1975). Também utilizam-se as imagens LANDSAT WRS 223/80D, de 03/12/1996, e WRS 223/81D, de 09/03/1997, em composição de bandas 4, 5 e 7, adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Planos de informação – Obtidos mediante dois processos básicos: conversão das informações digitalizadas em formato vetorial (mapas de redes elétricas, hidrografia, estradas, delimitação) para matricial; e operações sobre tema específico ou atributo de classe, com emprego do *software* IDRISI®. Esses PIs dão origem aos mapas temáticos que são utilizados na visualização dos critérios aplicados nas diversas avaliações.

5.2 Escolha das técnicas e tecnologias da conversão energética.

De uma forma bastante simplificada e genérica, um projeto de termoelétrica à biomassa, deve seguir certos passos, como apontados por Moura, 1996, os quais respondem aos interesses que movem o investimento empresarial, como:

- custos - dependendo do montante disponível de biomassa, da possibilidade de gerar ou da necessidade de energia térmica, e da conta de energia paga à concessionária, geralmente cara;

- necessidade ou interesse – que podem estar ancorados em questões ambientais ligadas aos resíduos, ou ao fato de não dispor de outras formas mais viáveis de energia (até mesmo nenhuma forma comercial); e
- estratégia – como investimento para um futuro com escassez de energia, não muito distante, ou como diversificação empresarial.

Dentro da escala em que a pesquisa se detém, a indústria nacional está capacitada a fornecer os equipamentos necessários à instalação de plantas de geração termoelétricas, desde que sejam elegidas determinadas tecnologias. As demais opções, como o Motor Spilling®, encontram-se disponíveis no mercado internacional, estando sujeitas a tributações, que encarecem o produto, fazendo com que seu desempenho dentro da análise econômica fique prejudicado, normalmente não alcançando TIR ou outros indicadores atrativos.

Dentre as várias tecnologias descritas no Anexo Capítulo IV, as que apresentam possibilidade imediata de aplicação, a partir de uma pré-seleção de viabilidade, são: o motor recíproco nacional e as turbinas a vapor em simples estágio.

Como a alternativa baseada no motor a vapor apresenta limitações por quanto trabalha em ciclo aberto com descarte do vapor, bem como maior consumo de combustível por kW gerado, e um custo equivalente a uma turbina de potência ligeiramente superior, considera-se somente a última alternativa listada.

5.3 Análise econômica do investimento.

Qualquer alteração no processo industrial, ou ampliação da estrutura da empresa que demande investimentos adicionais, deve ser avaliada quanto a sua atratividade e/ou viabilidade econômica, mantidas constantes as demais variáveis objetivas e subjetivas que possam influir no processo de decisão (facilidade ou dificuldade na obtenção de recursos, imagem da empresa, garantia e qualidade dos equipamentos, assistência técnica, facilidades de treinamento e operação, flexibilidade para futuras modificações, etc.).

Algumas informações adicionais são necessárias quando se realiza uma análise econômica de investimentos. Entre elas, são importantes para o presente trabalho:

5.3.1 Comparação de alternativas de investimento.

Dos vários indicadores que se apresentam para a análise comparada de alternativas de investimentos, dois são empregados por suas características, vantagens e limitações (ou desvantagens), adequando-se melhor ao trabalho. Aos métodos de custo equivalente (para determinado período) e valor presente ou atual, embora muito utilizados, é indispensável o conhecimento da taxa de juros, parte mais delicada da análise e que pode, pela escolha inadequada de seu valor, inutilizar completamente o estudo [Camargo, 1998].

Os valores de TIR baseados em fluxos de caixa descontado, permitem uma perfeita noção de atratividade do investimento, enquanto o tempo de retorno permite, para valores muito baixos ou demasiadamente significativos de TIR, estabelecer outros critérios de expectativa em torno do investimento.

5.3.2 Constituição da planilha.

A construção das planilhas de avaliação econômica segue rigorosamente o método recomendado por Woiler e Mathias[1992] para apreciação de indicadores econômicos e obtenção de perfis de investimentos, mencionado no Anexo Capítulo V. Tais métodos foram posteriormente adaptados à análise de centrais termelétricas nas condições de mercado, tecnologias e financiamento empregadas no Brasil, por Pretz[1997].

As planilhas são construídas sobre o software Excel 5.0 para execução em ambiente operacional Windows 95, apresentando elementos de compartilhamento e de simulações estacionárias das opções previamente concebidas. São igualmente desenvolvidas em uma seqüência lógica, apresentando elementos que simplificam a interação direta com o operador.

Alterações nas condições de financiamento como nível de participação, encargos, prazos de carência e prazos de financiamento estão previstas e simplificadas pela construção da mesma, entretanto não são mérito do presente trabalho.

A definição das condições de contorno em que se embasam as simulações, bem como exemplos dos métodos passo a passo, são demonstrados no item 8.6.

5.4 O geoprocessamento e o inventário de resíduos agrícolas.

A tecnologia SIG tem tido, segundo Eastman et al., 1995, aplicação em três dominantes campos:

- base de dados, sendo um “meio de coordenar e acessar dados geográficos”;
- ferramenta analítica, como “meio de especificar relações lógicas e matemáticas entre mapas na geração de novos, derivados desses”;
- sistema de suporte à decisão, com base nos dois anteriores, em um estágio ainda em desenvolvimento, como “meio para decidir qual(is) ação(ões) escolher, sobre os produtos analisados”.

Em um SIG que se constitui em sistema auxiliar de suporte à decisão, os PIs apresentam-se como a base de dados sobre os temas analisados, com os atributos (incluindo as restrições, quando houver) a cada classe representada [Detoni et al., 1996 e Eastman, 1997]. Com o emprego do material abaixo discriminado, foi possível realizar a seguinte seqüência de operações:

- digitalização da área de trabalho e dos PIs;
- conversão dos PIs referentes aos critérios, do formato vetorial para matricial;
- criação de mapas temáticos, a partir dos PIs de critérios, atribuindo-se valores de 0 a 255, conforme a avaliação parcial de cada um. Quanto maior o impacto do critério, maior o número do valor de nível de cinza que se apresenta;
- criação, a partir dos PIs de restrições, de máscaras (imagens Booleanas) de valores 0, para as áreas de restrição e 1 para as demais;
- definição de pesos relativos, estabelecidos em função de sua importância, a cada critério ou ponto de vista presente na análise (explicitar aqui e/ou incluir no MCDM);
- aplicação de algoritmo para construção da imagem (L) de localização / condição mais favorável, operando

$$L = \sum w_i * x_i \quad (5.1)$$

onde w_i são os pesos relativos de cada fator i , e x_i são os escores do fator i , ou as respectivas imagens temáticas; e

- reclassificação da imagem (L), identificando a localização / condição que atende aos critérios do problema proposto.

O emprego do SIG dá-se em um sistema de *hardware* constituído de: computador Pentium® II com 128MB de RAM, vídeo 17” e placa de 4MB, HD com 4,1 MB, *drive* de 3.1/4”, CDRoom de 32X, ZIP *drive* interno, mesa digitalizadora marca Summagraphics modelo Sumagrid IV (tamanho A1), *scanner* Hewlett Packard modelo OfficeJet Pro 1150-C, do Comitê de Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Maria e lotado na sala 301-A, Departamento de Termotécnica, Processos e Operações Industriais, Centro de Tecnologia.

As cartas na escala 1:50 000, imagens, *softwares* Idrisi® 2.0, Microstation® e MS-Paint® foram empregados com objetivo de gerar mapa básico geo-referenciado e planos de informação que incluem redes elétricas, rodovias, pontos de processamento agroindustrial e geração do resíduo. Também pode-se constituir PIs secundários, derivados daqueles e que apresentam o cruzamento de informações, contendo o potencial de geração termoelétrico, mapa da economicidade do processo produtivo (em função da disponibilidade de resíduos, da demanda energética, da tecnologia elegida e das distâncias), além de outros que possam apoiar a tomada de decisão em investimentos no setor.

5.5 Processo de apoio à decisão: o problema multicritério aplicado à pequena geração termoelétrica.

A escolha do método MCDM a ser utilizado é, em si, uma escolha multicritério que envolve, conforme os diversos autores consultados para a revisão bibliográfica, quesitos como facilidade de emprego, credibilidade, desempenho, presença ou não de interação na alocação de valores e pesos, entre outros. Em um ponto, no entanto, todos concordam: importa não aceitar, sem questionar, os resultados do modelo como respostas finais.

A subjetividade dos resultados é avaliada mediante a introdução de análise de sensibilidade, por meio de testes de consistência naqueles métodos que empregam interações e são resultado de entrevistas de grupo de decisores conduzidos por um facilitador (como o AHP e o MACBETH), ou análise de “robustez” por simulações de função de distribuição da probabilidade, nos que têm caráter determinístico (como o MAUT e o MAL). Pelas análises preliminares, a escolha recai sobre o Método Aditivo Linear – MAL, que se enquadra na família de modelos aditivos de MCDM, sendo um método “robusto” de priorização ou ordenação de projetos, especialmente indicado para Análise Social de Projetos – ASP [Bramont, 1996].

Suas principais características são:

- simplicidade, transparência e facilidade de entendimento;
- têm projetos e critérios definidos *a priori*;
- o número desses é finito e de natureza discreta;
- os parâmetros analisados são de determinísticos;
- as incertezas são consideradas na avaliação de robustez e de eventuais cenários;
- as funções individuais de valor são lineares;

- os critérios devem ter independência mútua quanto à preferência, sendo mensuráveis em unidades físicas e os intangíveis são incluídos em uma escala binária;
- os *tradeoffs* entre critérios apresentam-se constantes;
- a decisão é tomada uma só vez; e
- o decisor é único e possui uma estrutura de preferências bem definida.

A estimativa dos coeficientes c_i procede diretamente do decisor, sendo expressa em unidades de valor, de modo subjetivo, porém não arbitrário. É resultado do conhecimento deste. Os valores não necessitam estar presos a uma escala, mas devem refletir a importância relativa entre os k critérios, o que permite dispensar a normalização dos valores.

“Por exemplo: ao atribuir 100 pontos para mil empregos gerados e 50 pontos para 10^3 km² de área preservada, isto quer dizer que mil empregos têm o dobro do valor de mil quilômetros quadrados de área preservada” [op. cit.]. Uma escala de unidades de valor de 0 a 10, necessariamente tem a importância mínima em 0 e a máxima em 10; se o coeficiente relativo a um critério for nulo, tal critério é descartado pelo próprio método.

O valor de cada projeto, relativo aos diversos critérios, é obtido mediante a multiplicação dos coeficientes dos critérios pelos desempenhos de tais projetos, de acordo com a equação V.11, também sem a necessidade de normalização. O somatório desses valores assim obtidos constitui a priorização inicial, podendo-se ordenar os diversos projetos de diferentes formas.

Já a análise de robustez envolve simulação de “Monte Carlo”, em que as estimativas dos coeficientes são variadas aleatoriamente e independentemente, conforme uma função de probabilidade a ser especificada, até que ocorra alteração na priorização. Escolhendo-se a distribuição uniforme, por exemplo, têm-se como limites mínimo e máximo iniciais da função densidade de probabilidade os valores $c_i - 0$ e $c_i + 0$, sendo c_i as estimativas iniciais dos coeficientes relativos aos critérios i , 0 é um valor percentual relativo a c_i , especificado pelo decisor, e a simulação é realizada m vezes. Caso não ocorra alteração na ordenação, os limites de variação dos coeficientes são ampliados em $I\%$, sucessivamente para $c_i - (0+I)$ e $c_i + (0+I)$, $c_i - (0+2I)$ e $c_i + (0+2I)$ etc, até um limite estabelecido de $c_i - \text{final}$ e $c_i + \text{final}$. Diz-se que a ordenação é robusta frente a variações inferiores a “valor” % nas estimativas dos coeficientes [Bramont, op. cit.].

Tal análise se dá mediante emprego de programa específico, indicado pelo Dr. Pedro Paulo Bramont, que consiste numa associação de planilhas do MSExcel® versão 5.0, programadas em *visual basic* (VBA), que produz, conforme orientação exposta acima, uma série de dados e gráficos, com cálculo de erro e dispersão, o que permite avaliar com maior precisão as

estimativas feitas, tanto nos critérios quanto em seus pesos relativos. O produto final consiste em uma priorização que pode servir para balizamento de decisões sobre os casos estudados.

Os critérios a serem utilizados para o presente trabalho estão discriminados no Capítulo 9 de análise dos dados de campo sob a ótica no MCDM, tendo em vista serem resultantes da sensibilidade adquirida na vivência junto aos geradores de resíduos e fabricantes de equipamentos, bem como a elementos acessórios. Para o caso, o decisor passa a ser o próprio autor.

Os cenários que possam ser estabelecidos apresentam grande influência no resultado final, pois com eles variam os valores dos coeficientes e os próprios critérios (como, por exemplo, o acesso à tecnologia que, uma vez garantido, não mais tem sentido em ser considerado). Dois casos são propostos para o presente: cada empresa com sua geração individual e a união de duas ou mais empresas para atendimento conjunto. Os cenários podem ser vistos de prismas econômicos e sociais amplos e locais, e conjunturais e estruturais.

Entre as principais limitações do MAL, pode-se citar:

- função individual de valor linear – esta característica limita e obriga o emprego de funções lineares, ao menos no intervalo de valores que se trabalha. Por outra, facilita a tarefa do decisor, que não necessita construir as funções individuais de valor, reduzindo a subjetividade;
- ausência de teste de consistência dos julgamentos do decisor, que pode ser minimizada pelo menor número de estimativas requeridas e uma menor quantidade de julgamentos realizados, o que reduz as falhas, sem falar na análise de robustez, que visa à redução dessas; e
- não trata de aceitar ou rejeitar determinado projeto, antes é próprio para priorização de alternativas ou propostas dentro de um conjunto.

Embora o MAL seja pouco testado em empreendimentos privados [Bramont, 1997], ele foi escolhido principalmente por apresentar-se útil no estabelecimento de políticas públicas, em nível municipal, regional, estadual ou outro qualquer, no que tange ao gerenciamento dos resíduos agroindustriais existentes em uma dada região, como pode ser comprovado na discussão dos resultados.

Alie-se a essa razão o fato de supor-se um decisor apenas, tornando o método PCT uma proposta futura, envolvendo grupos de decisores. O mesmo pode-se aplicar aos métodos AHP e MACBETH, modelos aditivos da classificação MADM como o MAL, porém exclusivamente aplicáveis a grupos de decisores que buscam consenso com auxílio de um analista, ou consultor, objetivando priorizar ou medir a atratividade dos elementos sob análise.

Como é suposto ter o decisor uma estrutura bem definida e ampla quanto a suas preferências, também os modelos lexicográficos, *outranking* e *fuzzy* não se aplicam. Igualmente os modelos MODM não se aplicam, por investigar-se um só objetivo, no caso a oportunidade do projeto termoeletrico.

Assim, a facilidade e simplicidade no estabelecimento de valores e juízos em funções lineares, a não necessidade de normalização, a independência quanto a escalas pré-definidas, a possibilidade de análise de robustez e a presença de um único decisor, com funções de escolha e prestação de contas das suas decisões, tornam o MAL uma forte ferramenta de análise na ordenação e priorização de projetos termoeletricos em pequena escala, usando resíduos agroindustriais como combustível.

Obviamente que a análise custo benefício é importante e participa implicitamente, por exemplo, na determinação da TIR, mas como ela tende a reduzir a comparação de todos os aspectos em um único critério, qual seja, o econômico, a técnica ACB é classificada como de mono critério de apoio à decisão.

6 Análise introdutória e amostragem.

Neste capítulo, apresentam-se as análises e os resultados dos levantamentos exclusivos, produtos da aplicação da proposta metodológica delineada no capítulo anterior. Detalhamentos e discussões sobre o porquê de certos caminhos são também enfocados.

6.1 Amostragem.

Tanto sob o ponto de vista da disponibilidade de biomassa residual quanto de localização geográfica da mesma, pode-se realizar uma verificação metodológica com a finalidade de testar a consistência da oferta e uso de energia, a adequação técnica das alternativas tecnológicas, a viabilidade econômica e financeira, a oportunidade ou não do empreendimento termoelétrico e a aplicação de políticas de incentivo.

Torna-se necessária a fixação de uma área para amostragem, uma vez que a estrutura fundiária e de produção oscilam tremendamente de uma região para outra, de uma unidade geopolítica a outra. Pensando no alcance público e social, mesmo tratando-se de investimentos privados, partiu-se para o reconhecimento da unidade municipal como sítio mais homogêneo, estruturado e consolidado em seus dados e informações, além de econômica, geo e politicamente ser a menor parcela da União. Já escolha simultânea de vários prejudicaria a composição de uma amostra que se deseja confiável e com mínima dispersão.

Certamente o Município não apresenta todo espectro de alternativas, como pode ser encontrado em um Estado, Região ou País, mas a homogeneidade dos resultados se reproduz no estudo de cada energético individualmente, tornando mais simples e consistente a análise do comportamento dessas opções. Assim, sobre energéticos diferentes, criam-se critérios diferentes, ensejando a avaliação de um município com uma vocação dirigida a um energético específico, possibilitando o cotejamento de opções ou projetos.

Tal escolha, no entanto, não impede, na verdade até facilita, que o método a ser consolidado tenha reprodutibilidade em base municipal, o que pode também ser postulado em base regional, para certas áreas com características homogêneas (geomorfologia, solos, hidrografia, estrutura fundiária, etnia, etc). Para fins de confirmação, será utilizado como amostragem o município de São Pedro do Sul, sito na Região Centro do Estado do Rio Grande do Sul, como mencionado no Capítulo 2.

Com tal amostra, pode-se também obter maior sensibilidade, relativa às variáveis, criar resultados orientados e métodos de validação, os quais irão permitir sua ampla utilização em outros locais, com qualquer fonte primária de origem agrícola, cujos dados físicos e químicos sejam suficientemente conhecidos.

Para o desenvolvimento de todos os tipos de avaliações necessárias, os cinco engenhos de arroz do município escolhido foram classificados genericamente por ordem alfabética, de letras A a E, como forma de manter-se reservadas eventuais características que os empresários considerem mais sigilosas. Todos os dados, doravante apresentados, referir-se-ão às unidades produtivas desta forma. Outros sinônimos utilizados são Arrozeira e Empresa.

6.2 Disponibilidade de biomassa no Município.

Em termos de resíduos agrícolas e agroindustriais, o Município de São Pedro do Sul apresenta-se com maior volume àqueles relacionados aos resíduos de beneficiamento dos cereais arroz e milho, aparecendo com pouca expressão o soja, sem nenhum registro significativo o florestal (árvores de eucalipto são plantadas nas propriedades rurais para uso geral), e muito disperso o resultante de criação e abate de animais, como consta na Tabela 6.1.

Cultura	Produção por safra	Beneficiamento industrial	Destino dos resíduos
Arroz	440 mil sacas	950 mil sacas	Lavouras e indústrias
Milho	7 770 toneladas	522 toneladas	Lavouras
Soja	1 950 toneladas	não	Lavouras

Tabela 6.1 – Produção de grãos, beneficiamento industrial e destino de resíduos no Município de São Pedro do Sul, safras 96/97 (para arroz) e 97/98.

Fonte: Secretaria Municipal de Agricultura, 1998 e IRGA, 1997.

O aproveitamento energético mais imediato e significativo é o da casca de arroz, visto ocorrer de forma concentrada, junto às unidades de beneficiamento, ou engenhos de arroz, o que facilita seu gerenciamento. É importante salientar que os resíduos, objetos deste estudo, estão ligados ao processamento industrial do produto primário (ou processos de pós-colheita: beneficiamento ou transformação), não estando, deste modo, vinculados aos dados de produção primária, mas sim aos de industrialização. Logo, para fins de avaliação energética e balanço

municipal, o valor a considerar é a produção dos engenhos e sua localização, não cabendo para estes fins estabelecer relações com as lavouras ou sua localização em campo. Esses dados, entretanto, passam a ser fundamentais nas projeções de potencial, quando na condição de estabilidade de mercado produtor e consumidor, na qual, por questões como o custo de transporte, os produtos são beneficiados no próprio município.

Safra	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97
Produção (mil sacas)	648	551	394	520	616	605

Tabela 6.2 – Série histórica da safra de arroz da região “São Pedro do Sul”.
Fonte: 35^o NATE – IRGA, 1998.

Como exemplo, pode-se citar a produção agrícola de arroz do Município amostrado, que foi de 440 mil sacos na safra 96/97, embora na listagem do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA) apareça um número maior, uma vez que sob o título “São Pedro do Sul” sejam incluídas as produções de Mata e Toropi (Tabela 6.2). Já a industrialização do mesmo produto alcança uma capacidade de 1 milhão de sacas por ano, conforme apresentado na Tabela 6.3. Este último número é que tem interesse e mostra a característica que São Pedro do Sul tem de ser um pólo micro-regional no setor arroseiro, beneficiando também parte do arroz produzido nos Municípios de São Vicente e Cacequi.

Engenho	Beneficiamento (sc/ano)	Capacidade estática (sacas)
A	450 000	215 000
B	250 000	160 000
C	100 000	150 000
D	100 000	150 000
E	50 000	310 000
Total	950 000	975 000

Tabela 6.3 – Relação dos engenhos, com as capacidades de beneficiamento e armazenagem estática (sacas de 50 kg).
Fonte: 35^o NATE – IRGA, 1998 e Secretaria Municipal de Agricultura, 1997.

A geração de energia, a partir da casca do arroz beneficiado, é avaliada em função da produção de fardos de arroz de cada engenho (1 fardo = 30 kg de arroz beneficiado e embalado). Considerando que todos beneficiam arroz branco e é válida a proporção de produto, subprodutos

e resíduos, a partir do arroz bruto e seco (1 saco = 50 kg de arroz em casca, com 12 % de umidade em base úmida) apresentada na Tabela 6.4, é possível inventariar a disponibilidade da principal biomassa residual, casca de arroz, em função dos dados de produção colhidos nos engenhos (ver Tabela 7.1 adiante).

	Arroz branco	Casca	Farelo	Outros
Em peso (kg)	34,7	11	3	1,3
Em porcentagem (%)	69,4	22	6	2,6

Tabela 6.4 – Distribuição mássica e percentual de produtos, sub-produtos e resíduos originados pelo beneficiamento tradicional de uma saca de arroz bruto.

Fonte: Dados médios obtidos nos engenhos.

6.30 manejo da energia nas unidades produtoras de biomassa.

Os engenhos pesquisados enquadram-se, todos, no subgrupo de consumo A4, recebendo energia elétrica da concessionária em faixa de tensão entre 13,8 e 23 kV (alta tensão). Apresentaram-se em dois tipos distintos quanto ao sistema tarifário em que se enquadram suas contas de energia elétrica: o de tarifa convencional, com demanda inferior a 300 kW e sem contrato de fornecimento estabelecido (entram em consideração o consumo, em kWh, e a demanda de energia em kW); e o de tarifa horo-sazonal (preços diferenciados de demanda e consumo, conforme o horário do dia e o período do ano), que no caso presente é um consumidor com a tarifa verde (preço de demanda, independente de período e horário, e preço diferenciado de consumo, de acordo com as horas do dia e períodos do ano).

A tarifa sobre demanda é, conforme legislação, faturada sobre o maior valor entre: a demanda registrada, a maior demanda verificada em qualquer dos onze meses anteriores, e a demanda fixada em contrato de fornecimento. Pela análise das contas de energia elétrica, poder-se-á verificar posteriormente que existe um gasto significativo para maior, isto é, um custo para as empresas, devido ao não gerenciamento deste fator, visto ser o valor da energia faturada bem menor que o da demanda registrada.

Com relação à demanda de calor no processo de industrialização, algumas unidades promovem somente a aeração da matéria-prima nos silos, dispensando calor para secagem pelo fato de receberem arroz previamente seco. Nas demais, esta é consumida, a exceção de uma única empresa, diretamente pela combustão de parte da casca, em fornos adaptados a secadores, os

quais reduzem a umidade do arroz vindo da lavoura para valores em torno de 13%, antes do acondicionamento em silos. A empresa que atualmente emprega secagem com trocadores de calor, queima as cascas em uma caldeira e utiliza parte do vapor gerado para tal fim.

6.4 Aspectos econômicos.

Em uma vista rápida sobre a questão econômica, é possível afirmar que a viabilidade de um projeto termoeletrico com resíduos agroindustriais está baseada grosseiramente em quatro elementos principais: no montante de energia consumida; nos preços pagos pela mesma; no custo e características das tecnologias empregadas e nas condições de financiamento do investimento.

Muitos outros itens, porém, contribuem para a aprovação econômica de um projeto, além da eliminação total ou parcial das contas de energia elétrica, entre os quais destacam-se três principais:

- a possibilidade de venda de eventuais excedentes de energia elétrica, para aqueles casos em que a unidade produtora possua uma potência instalada, total ou parcialmente superior à demanda máxima requerida em sua planta;
- o custo evitado com os resíduos, para os quais, além dos gastos com transporte, um ponto adicional terá em breve de ser enfrentado e resolvido pelos beneficiadores de arroz: a fiscalização ambiental que se processará junto às indústrias; e
- a possibilidade de operação durante o horário de ponta, para aqueles produtores que possam atender integral ou parcialmente a demanda de potência no período, fato que permite elevar a capacidade produtiva da empresa, sem ônus significativos nos custos de beneficiamento ou necessidade de investimentos em equipamentos no setor.

6.5 Questões técnico-tecnológicas.

Dentre os cinco engenhos avaliados, há somente uma exceção na qual a auto produção de energia elétrica já é empregada, pois a empresa possui uma caldeira convencional e pratica a geração termoeletrica com o emprego de uma locomóvel. Os demais utilizam a casca apenas parcialmente, em quantidades variáveis, conforme consta na Tabela 7.1, sendo os eventuais excedentes de biomassa transportados para serem descartados a céu aberto, em terras de produtores, associados e outros. Os demais resíduos gerados em pequenas quantidades durante a

produção de arroz branco polido, como palha e pó, não têm aplicação e igualmente não possuem valor comercial, sendo descartados nas imediações dos engenhos.

Em termos de aproveitamento energético, a característica dos produtos como, no caso, a produção exclusiva de arroz branco, bem como o baixo nível de modernização tecnológica observada na maior parte das unidades de amostragem (baseiam-se em processos tradicionais e de baixo custo para o beneficiamento do produto), limitam significativamente as possibilidades de aproveitamento associado de calor e força, através do emprego de cogeração.

Como descrito anteriormente, o mercado de equipamentos de geração termelétrica esteve sempre orientado ao atendimento de uma demanda de grandes empreendimentos e, por conseqüência, na produção de equipamentos de grande porte.

Igualmente, em função da escala de produção e da tradição em geração termelétrica, a boa queima da casca de arroz encontra-se em fase incipiente, se comparada ao desenvolvimento de sistemas eficientes de combustão, já existentes para outros combustíveis, como o bagaço de cana.

Uma recente mudança na orientação do mercado fornecedor de turbinas e caldeiras foi determinante para a viabilização de iniciativas de geração em pequena escala, baseados em combustíveis das mais variadas características.

Em todos os casos analisados, é virtualmente inviável o emprego de modernas tecnologias, do tipo ciclo combinado, por questões relacionadas à economia de escala de tais tecnologias no mercado nacional e ao porte dos projetos inicialmente realizados, ou disponibilizados no País, o que os torna inviáveis para o setor arrozeiro, principalmente em escalas pequenas de geração.

7 Relações entre oferta de biomassa e demanda de energia.

Os processos industriais referentes ao beneficiamento de arroz diferem significativamente entre si pela geração de biomassa residual, pelo consumo de energia elétrica e térmica ao longo do ano e pelo perfil de utilização de calor e trabalho em suas unidades produtivas. Isso decorre da natureza do produto que comercializam, dos processos adotados pelas empresas e de parâmetros adicionais, como o tecnológico, da manutenção e, conseqüentemente, da eficiência dos equipamentos empregados.

Tais fatos criam inúmeros cenários e possibilidades de emprego de alternativas de geração, as quais devem adequar-se à produção de arroz branco, parboilizado e, ainda, novas variações de produtos do arroz, em ascensão no mercado consumidor.

Independentemente do tipo de processo empregado na produção de arroz, o levantamento da vocação termoelétrica de uma unidade de produção passa por uma abordagem tradicional, recomendando-se a análise de dois pontos fundamentais: a oferta de biomassa residual e o perfil de consumo de energia. Estes dois aspectos são a base para todo o trabalho de engenharia de processos, de detalhamento e de engenharia econômica, pois determinam alterações substanciais nas opções tecnológicas a serem adotadas.

7.1 Oferta de biomassa.

A avaliação da oferta de biomassa energética, no caso da casca de arroz, merece uma abordagem criteriosa, uma vez que, à semelhança do bagaço de cana, a matéria prima trazida da lavoura não está apta à combustão direta.

Este parâmetro leva a alterações significativas nas bases de cálculo da quantidade de combustível disponível e, principalmente, na localização da oferta de combustível a custos que irão viabilizar o empreendimento. Avaliações de aproveitamento energético em serrarias, especialmente de *Pinus*, encontram-se minuciosamente descritas no trabalho de Fontes, 1994, onde é possível, também, diferenciar-se as características quanto à geração e propriedades de tais resíduos, comparativamente a casca de arroz, por exemplo.

Interpretando-se a casca como o único combustível dos processos termoelétricos em questão, o seu manejo e circulação nos engenhos é extremamente favorável, uma vez que é produzida diretamente no local onde se necessita de energia. Pode-se considerá-la, para uma

única unidade de produção, sempre como apresentando custo zero, pois seu deslocamento dentro dos engenhos já possui, tradicionalmente, uma concepção de recair em acumuladores elevados, que objetiva seu descarte.

Em verdade, os custos são invariavelmente negativos, em função dos já mencionados gastos com a remoção das cascas para locais afastados, por meio de transporte em caminhões.

Neste sentido, outro ponto positivo da casca de arroz sobre os demais combustíveis está relacionado as suas características físico-químicas e, especialmente, ao seu poder calorífico, atingidos em função da necessidade de condicionamento, através da secagem, do arroz bruto vindo das lavouras.

Em termos de manejo do combustível, surgem grandes diferenças na oferta final disponível à queima quando fornos convencionais de secagem são empregados e, adicionalmente, quando a empresa opta pela produção de arroz parboilizado, fato que triplica a demanda de calor de processo e torna-o homogêneo ao longo do ano.

Quando comparadas com resíduos de serrarias, as cascas de arroz irão apresentar algumas desvantagens significativas, porém as duas principais são: a maior dificuldade de obter-se fornecedores de caldeiras ou queimadores que procedam a queima eficiente do material; e os altos custos com transporte por unidade de energia obtida, devido à massa específica extremamente baixa (vide Apêndice 3), mesmo considerando-se o menor poder calorífico dos resíduos florestais.

A casca gerada nos engenhos não possui, até o momento, outra utilização que a torne competitiva no mercado. A lenha tem concorrência nos setores comercial, industrial e doméstico, com custo CIF de cerca de R\$ 10,00/mst, dependendo do local.

Para fins de avaliação da disponibilidade de biomassa para geração termelétrica, o montante de casca consumido em secagem é estimado em função de um coeficiente, o qual também está na Tabela 7.1, onde se apresenta, ainda, a distribuição deste montante nos meses do ano.

O pó, resíduo gerado no processo de produção de arroz branco, apresenta-se em quantidade variável, sendo função da localização, número e eficiência de captação dos ciclones instalados em cada empresa. Seu recolhimento está diretamente ligado a exigências e restrições ambientais e a procedimentos administrativos, podendo chegar a 4% em peso de casca do arroz processado e contribuir, portanto, no montante de biomassa combustível. Devido à escala dos engenhos analisados, o pó teve de ser ignorado nos cálculos apresentados no presente trabalho, por não ser coletado para fins de combustão, e por sua possibilidade de combustão estar sujeita às tecnologias empregadas.

Empresa	A	B	C	D	E	Total
Produção em fardos/mês	30 000	17 000	9 000	8 000	3 600	67 600
Coefficiente quando do uso de casca na secagem	0 (usa vapor)	0,6	0,8	0,6	0 (usa lenha)	-
Janeiro	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Fevereiro	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Março	285.302	64.668	17.118	30.432	34.236	431.756
Abril	285.302	64.668	17.118	30.432	34.236	431.756
Maió	285.302	64.668	17.118	30.432	34.236	431.756
Junho	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Julho	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Agosto	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Setembro	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Outubro	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Novembro	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Dezembro	285.302	161.671	85.590	76.080	34.236	642.881
Total (kg/ano)	3.423.630	1.649.049	821.671	776.023	410.836	7.081.208

Tabela 7.1 - Resíduo agrícola – kg de casca de arroz/mês – geração estimada em função da produção de arroz branco.

Os valores da segunda linha, na Tabela 7.1, representam a parcela de casca que é consumida nos secadores durante o período da safra (março a maio). Um coeficiente de valor igual a 0,6, indica que 60% da casca é destinada à secagem durante a safra..

O montante de palhas acumuladas no sistema de limpeza do arroz bruto que será beneficiado é pouco significativo e não atinge 1% sobre o valor bruto, em peso, do arroz que chega da lavoura. Para fins energéticos, não se considera sua interferência nos cálculos.

7.2 Avaliação da demanda de energia nas unidades de amostragem.

Em termos de demanda de energia, deve-se sempre compreender o binômio calor e trabalho como determinante em um aproveitamento bioenergético eficiente, porém a composição de custos associada à demanda de capital necessário aos investimentos para o aproveitamento térmico da energia é um parâmetro impeditivo ao aproveitamento simultâneo deste.

Em termos de energia elétrica, o consumo, lido a partir das contas de energia fornecidas pelos engenhos, é apresentado na Tabela 7.2, cujos dados demonstram a grande variação entre os períodos de pico (safra), nos meses de março, abril e maio, e fora deste, causados principalmente

pelos processos de descarga, movimentação, elevação, armazenagem, aeração e secagem do arroz, que chega úmido da colheita. Nesse período, aumentam significativamente o regime de operação e a intensidade de consumo de energia elétrica das empresas.

Mês/Firma	A	B	C	D	E	Total mensal
Janeiro/98	68.882	27.275	7.595	9.164	14.207	127.123
Fevereiro/98	60.142	21.649	6.427	7.995	9.656	105.869
Março/98	99.987	37.946	5.750	6.581	7.995	158.259
Abril/98	10.1487	78.905	49.385	25.646	35.117	290.540
Mai/98	100.500	59.255	38.438	19.465	34.809	252.467
Junho/97	52.735	41.575	12.269	15.160	26.025	147.764
Julho/97	48.355	39.083	9.225	8.487	26.199	131349
Agosto/97	43.537	33.364	18.050	10.178	25.215	130.344
Setembro/97	36.810	25.646	17.712	11.285	27.552	119.005
Outubro/97	26.943	25.584	15.000	11.378	30.935	109.840
Novembro/97	42.936	25.215	10.301	10.455	21.525	110.432
Dezembro/97	33.924	22.478	8.579	7.411	21.341	93.733
Total anual	716.238	437.975	198.731	143.205	280.576	1.776.725

Tabela 7.2 - Consumo mensal de energia(kWh) dos engenhos (97-98).

Fonte: Faturas mensais de energia dos diversos engenhos.

Pequenas oscilações com relação ao mês de máximo consumo devem-se, principalmente, a parâmetros relacionados com a oferta e demanda do mercado brasileiro consumidor de arroz.

Em termos das demandas de potência dos engenhos, somente no caso "A" a empresa optou por contratar demanda, os demais apresentam valores considerados pequenos e, eventualmente, não atingem um mínimo requerido para contratação, ou não têm interesse de contratação de demanda devido à sazonalidade.

Nos demais casos, foram tomados os valores máximos de demanda mês a mês para cada empresa, adotando-se os mesmos como valores máximos mensais ou o maior valor entre estes, como a máxima demanda de potência, para fins de cálculos posteriores, conforme o caso.

A Tabela 7.3 apresenta os valores de demanda de potência das empresas, tomados a partir das contas de energia elétrica.

Mês/Empresa	A	B	C	D	E	Total mensal
Janeiro/98	300	100	94	75	122	691
Fevereiro/98	300	93	94	75	122	684
Março/98	300	147	94	96	122	759
Abril/98	300	190	120	82	111	803
Mai/98	300	188	132	88	131	839
Junho/97	300	168	111	75	122	776
Julho/97	300	167	94	78	122	761
Agosto/97	300	104	94	77	122	697
Setembro/97	300	104	94	75	122	695
Outubro/97	300	110	94	75	122	701
Novembro/97	300	108	94	75	122	699
Dezembro/97	300	98	94	75	122	689
Média mensal	300,00	131,42	100,75	78,83	121,83	732,83

Tabela 7.3 - Demanda mensal (kW) dos engenhos de São Pedro do Sul (97-98).

Fonte: Faturas mensais de energia dos diversos engenhos.

Para fins de uma posterior avaliação de parâmetros econômicos, as Tabelas 7.4 e 7.5 apresentam as tarifas mensais de um ano de consumo energético dos cinco engenhos pesquisados, mostrando, entre outras, a importância do equilíbrio da média de consumo anual, em relação à demanda e os benefícios que o contrato de demanda pode trazer, em termos de redução do preço final do kWh consumido.

Note-se, em especial, o caso A que tem o menor custo por MWh consumido, apesar de ser o maior consumidor. Este fato explica-se devido ao contrato de demanda em tarifa verde que a empresa mantém, bem como pela geração própria que é usada no horário de pico (das 18 às 21 horas), evitando o pagamento da energia com custo mais elevado.

Evidencia-se que a energia auto produzida pelo Engenho 'A' não é computada em nenhuma etapa de cálculo, devendo-se considerar que, tanto para fins de avaliação do fator de utilização da empresa, como para os montantes de energia consumida, os valores reais são superiores àqueles aqui demonstrados. Esta parcela de auto geração não possui nenhum sistema de medição, logo suas estimativas não ultrapassam os valores passíveis de serem obtidos a partir de um arranjo de 250 kVA.

Mês/Empresa	A	B	C	D	E
Janeiro	4.938,00	3.081,68	1.268,92	1.291,32	2.090,42
Fevereiro	4.347,00	2.530,26	1.187,02	1.185,79	1.626,41
Março	6.831,00	4.339,26	1.126,13	1.289,48	1.476,39
Abril	8.683,00	8.536,34	5.321,44	2.863,08	3.867,72
Maió	6.352,00	6.794,34	4.662,01	2.401,20	3.906,10
Junho	5.609,00	4.734,34	1.772,77	1.810,84	3.066,51
Julho	4.585,00	4.507,42	1.397,32	1.233,73	3.082,92
Agosto	4.427,00	3.612,30	2.212,71	1.378,51	2.995,12
Setembro	4.054,00	2.923,63	2.154,61	1.465,07	3.203,65
Outubro	3.648,00	2.954,75	1.913,15	1.473,37	3.505,51
Novembro	4.209,00	3.026,04	1.500,71	1.391,01	2.665,87
Dezembro	3.797,00	2.604,29	1.339,68	1.119,40	2.649,45
Total anual	61.480,00	49.644,65	25.856,47	18.902,80	34.136,07
Média mensal	5.123,33	4.137,05	2.154,71	1.575,23	2.844,67

Tabela 7.4 – Valor mensal pago pela energia elétrica (97-98), em R\$.

Fonte: Faturas mensais de energia dos diversos engenhos.

No que diz respeito à energia térmica, o principal uso atual é na secagem do arroz *in natura*, especialmente nos meses em torno da colheita, visto que há a necessidade de retirada da umidade excedente do produto colhido antes de seu armazenamento em silos. Os secadores existentes são de dois tipos principais, quanto ao aquecimento do ar de secagem: indireto, com camisa de vapor, e direto, por passagem dos fumos de um queimador (geralmente de casca ou lenha).

Mês/Empresa	A	B	C	D	E
Janeiro	60,93	96,04	142,01	119,78	125,07
Fevereiro	61,44	99,35	156,99	126,07	143,17
Março	58,07	97,20	166,47	166,55	156,96
Abril	72,72	91,96	91,59	94,89	93,62
Maiο	53,72	97,46	103,09	104,86	95,38
Junho	90,41	96,79	122,82	101,53	100,15
Julho	80,60	98,03	128,75	123,56	100,02
Agosto	86,43	92,03	104,20	115,12	100,97
Setembro	93,61	96,90	103,40	110,35	98,84
Outubro	115,09	98,17	108,41	110,07	96,32
Novembro	83,33	102,01	123,83	113,09	105,27
Dezembro	95,14	98,48	132,73	128,39	105,53
Média mensal	79,29	97,03	123,69	117,85	110,11

Tabela 7.5 – Valor mensal médio pago pela energia elétrica (97-98), em [R\$/MWh].
 Fonte: Calculado a partir das faturas mensais de energia dos diversos engenhos.

Não existe nenhum outro tipo conhecido de processamento térmico do arroz, tal como parboilização ou pré-cozimento, que demande calor diretamente obtido do aquecimento de gases ou vapor, para as unidades de amostragem.

7.3 Determinação do potencial termoelétrico das unidades de amostragem baseado na oferta de biomassa.

Com a finalidade de estabelecer-se as bases de montantes de energia e cargas passíveis de serem geradas, foram tratados os dados de produção de biomassa e estabelecidas as ofertas individuais das unidades produtivas, em função de suas características de processo e do consumo de casca pela combustão direta.

Igualmente, a união dos dados coletados e tratados anteriormente permite a determinação do real potencial de geração elétrica a partir do resíduo, em cada agroindústria considerada individualmente e para o Município, como um todo.

Operando-se os dados globalmente, pode-se chegar a quase 4 mil MWh_e ao ano (ver Tabela 7.6), para um rendimento global de transformação considerada em 15% ($\eta_g=0,15$), o que representa uma potência instalada de 460 kW_e e 1300 kW_t (que necessitam encontrar um uso adequado), em regime integral de funcionamento, isto é, 365 dias ao ano e 24 horas ao dia, embora se saiba que este regime de operação é irreal.

No entanto, para se chegar aos números de energia gerada e subsidiar as etapas que antecedem a engenharia de detalhamento dos equipamentos mais adequados a cada caso, bem como as análises de viabilidade econômico-financeiras, é imprescindível que se delimitem os objetivos que o empresário quer, e/ou o que este pode desejar, de um projeto termoeletrico com os excedentes de casca gerada em sua unidade de beneficiamento.

Assim, tem-se em primeiro a questão relevante a todas as análises posteriores, quanto ao regime de trabalho da termoeletrica: será em tempo integral (24 horas/dia), ou em consonância com a operação do engenho?

Mês/Empresa	A	B	C	D	E	Total mensal
Janeiro	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Fevereiro	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Março	159,24	36,10	9,55	16,99	19,11	240,98
Abril	159,24	36,10	9,55	16,99	19,11	240,98
Maiο	159,24	36,10	9,55	16,99	19,11	240,98
Junho	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Julho	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Agosto	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Setembro	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Outubro	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Novembro	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Dezembro	159,24	90,24	47,77	42,46	19,11	358,82
Total anual	1910,86	920,40	458,61	433,13	229,30	3952,30
Pot. Inst. (kW)	221,17	106,53	53,08	50,13	26,54	457,44

Tabela 7.6 – Potencial de geração termoeletrica (MWh) com casca de arroz, em unidades com $\eta_g=0,15$.

Em segundo plano, referente à oferta de biomassa, será a casca toda utilizada para queima, aproveitando ao máximo o potencial de geração, ou será utilizada apenas a quantidade suficiente para gerar a eletricidade que é consumida pela empresa, ou ainda, apenas em determinados horários?

Essas simples questões refletirão posteriormente uma forte interferência nos resultados, já que podem produzir potências instaladas de diferentes portes.

Um exemplo prático, para fins de análise de sensibilidade, pode ser observado na Tabela 7.6, acima, a qual apresenta o potencial termoeletrico máximo possível, baseando-se no volume de casca anual produzida ao longo do ano, já debitado o consumo de cascas para a secagem e gerando-se durante as horas de operação dos próprios engenhos.

Um dos parâmetros que mais interfere, em termos de consumo, custos de operação e de potencial de geração, é o número de horas operacionais do engenho os quais, para as unidades de amostragem, apresentam valores como os descritos na Tabela 7.7.

Empresa	A	B	C	D	E
Horas / mês	475,6	362,2	241,1	204,3	192,0
Horas / ano	5232	3984	2652	2247	2112

Tabela 7.7 – Número médio de horas de operação dos engenhos.

Contabilizando-se os dias e as horas de operação das unidades, em termos médios para cada uma, pode-se chegar a um fator de utilização de energia elétrica, valor aproximado, conforme apresenta a Tabela 7.8.

Empresa	A	B	C	D	E
Fator	0,4563	0,8365	0,7438	0,8084	1,0904

Tabela 7.8 - Fator de utilização dos engenhos.

Fonte: Calculado a partir das Tabelas 7.2, 3 e 7, tomados os valores médios.

Note-se, em especial, o caso A, que apresenta duas situações simultâneas: o menor custo por MWh consumido e, adicionalmente, o menor fator de utilização, o que poderia ser contraditório. Porém, explica-se devido ao contrato de demanda em tarifa verde que a empresa mantém, bem como pela geração própria que é usada no horário de pico (das 18 às 21 horas),

evitando o pagamento da energia com custo mais elevado, bem como por não atingir a demanda contratada.

De outro, se a pretensão é atender a demanda, ou gerar energia elétrica apenas durante o horário de funcionamento do engenho, certamente as potências irão mudar, juntamente com os custos fixos e variáveis, alterando a avaliação dos investimentos, mesmo quando a energia total ao longo do ano seja a mesma.

Para fins de resultados que possam posteriormente ser lançados nos cálculos e planilhas de análise econômica, escolheram-se as seguintes combinações:

- 1 - queima de toda a casca excedente, com geração termoelétrica em regime integral;
- 2 - queima de toda a casca excedente, com geração termoelétrica em regime que acompanhe o funcionamento do engenho; e
- 3 - geração termoelétrica suficiente apenas para atendimento da potência demandada, com possível sobra de casca.

A hipótese “1” foi inicialmente desconsiderada para análises individuais, por se obter escalas de geração de potência extremamente baixas no caso das unidades de amostragem, bem como pelo aumento nos custos com mão-de-obra. Logo, esta seria admitida só na construção de uma hipótese onde as empresas criassem uma central de cascas, e nesta fosse instalada a central termelétrica. Mesmo assim, tanto essa quanto as outras duas têm seus resultados apresentados a partir do Capítulo 8.

É importante considerar a hipótese de uma planta única, reunindo aqueles engenhos que estejam em um raio adequado à coleta da casca e distribuição da energia produzida, à semelhança de iniciativas em fase incipiente de estudo, como no Município de Uruguaiana-RS.

Obter-se-iam, assim, benefícios de economia de escala, impossíveis de serem atingidos enquanto unidades independentes. Neste caso, propõe-se a constituição de uma empresa (pode ser em regime cooperativado, de empresa de participação comunitária (EPC), ou outro semelhante), operando 24 horas por dia, com central de coleta de casca e usina termoelétrica em terreno criteriosamente escolhido pelos custos de transporte da matéria-prima e custos evitados com o descarte da casca, como rejeito, em diversos locais na zona rural do município. A maior escala, por sua vez, proporcionaria acesso a técnicas disponíveis no mercado nacional e, por tanto, de menor custo.

8 Viabilidade dos empreendimentos termoeletricos, avaliados sob a ótica da análise econômica.

Empregando a metodologia de análise econômica já descrita, em método análogo ao empregado por Pretz, 1997 (baseado em Woiler & Mathias, 1992), e adicionando-se a esta os dados de tecnologia e custo para a opção apropriada e/ou existente no mercado, os números obtidos *in situ*, através dos questionários específicos (conforme descrito no Apêndice 2) e as tarifas vigentes para a energia, é possível obter-se uma série bastante confiável de índices econômicos que traduzam a viabilidade, ou não, de uma determinada planta de geração termoeletrica, com configuração específica para cada caso.

Entretanto, na construção de uma metodologia para tal avaliação, vários sub-itens devem ser especificados. Obtém-se, ainda, informações sobre a oportunidade desses empreendimentos de modo individual ou associativo, em função de variáveis de processo, volume de produção e matéria-prima, bem como a sensibilidade em relação a fatores tais como:

- custo dos equipamentos;
- custo das matérias-primas;
- custo da mão-de-obra;
- custo financeiro;
- outros custos fixos e variáveis;
- período de carência e pagamento; e
- custo da energia atualmente empregada e demais formas de lucro não operacional.

Para a estimativa dos custos totais adotados para cada parte da central termoeletrica, considerou-se somente um grupo de fornecedores de equipamentos, os quais já demonstraram uma resposta satisfatória em seus desempenhos requeridos e confiabilidade no mercado.

Tal opção não interferirá em possíveis análises com outros fornecedores que apresentem valores diferentes para equipamentos de mesmas características, por entender-se sua alteração como linear, não afetando o processo em termos de sua compreensão como método de validação. Buscou-se, então, subdividir os principais itens e discriminar o modo como foram atribuídos valores e estabelecidas relações de custos e benefícios a cada projeto.

8.1 Cronograma de implantação.

Em termos de previsão de operação do equipamento, estima-se um prazo de oito meses desde o momento da emissão do pedido junto aos fornecedores de equipamentos, até a unidade estar pronta para entrar em operação. Este período pode variar significativamente, conforme a execução do projeto, porém pode ser tomado com um valor médio adicionado de margem de segurança, que visa não frustrar as expectativas do investidor, para projetos nas escalas propostas.

A Figura 8.1 apresenta um cronograma típico de implantação de uma unidade de geração termoeétrica, em escala apropriada para as plantas avaliadas no presente estudo.

CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO	mês 1	mês 2	mês 3	mês 4	mês 5	mês 6	mês 7	mês 8
Desenvolvimento do projeto da planta	█	█	█	█				
Aquisição e fabricação da caldeira	█	█	█	█				
Aquisição e fabricação do turbo-redutor	█	█	█	█				
Aquisição e fabricação do conjunto de alimentação da caldeira			█	█				
Aquisição do gerador e sistema elétrico	█	█	█	█	█	█		
Obras civis				█	█	█		
Montagem					█	█	█	
Testes e ajustes							█	
Início de operação								█

Figura 8.1 - Cronograma de implantação da pequena central termoeétrica - PROMASE.

8.2 Avaliação geral dos investimentos necessários.

Para a instalação da unidade de geração termoeétrica, os espaços necessários nas unidades industriais são extremamente reduzidos, em função da escala de geração considerada e

dos sistemas de condensação adotados. Logo, com larga margem de segurança, pode-se afirmar que, nos engenhos considerados, há condições de instalar-se as unidades sem a necessidade de investimentos em terrenos ou grandes obras civis.

O detalhamento dos custos do projeto em termos de engenharia, construção civil, equipamentos e utilidades, é aqui apresentado de forma simplificada e visa somente dar um indicativo dos investimentos, em termos de capital fixo, em grandes grupos que abrigam determinados equipamentos e/ou processos dentro da unidade.

Entretanto, os custos foram amplamente pesquisados junto a grande número de fornecedores de equipamentos, de forma a estarem compatíveis com valores que deverão surgir na execução real de qualquer desses projetos.

Os custos prevêm, além da montagem, todos os componentes de instalação como tubulações, válvulas, purgadores, juntas, etc., bem como, construção civil, equipamentos para montagem, transporte até o local, seguro e impostos incidentes nas operações.

8.3 Equipamentos e custos associados.

Uma unidade de geração termoeétrica é composta por dezenas de pequenos itens e componentes, principalmente aqueles associados a tubulações, como purgadores, juntas de expansão, válvulas de segurança, isolamento térmico e demais elementos de linha.

Na descrição dos equipamentos, os preços incluem todos os equipamentos e utilidades necessários ao seu funcionamento de acordo com as especificações indicadas pelos próprios fabricantes dos grupos de equipamentos, já se incluindo impostos incidentes na data de cotação dos equipamentos.

Na listagem dos equipamentos apresentada na Tabela 8.1, estes estão divididos em grandes grupos, a fim de simplificar o processo descritivo, dada a pequena diversidade de fabricantes e fornecedores, para esta escala, no Brasil e a grande oscilação nos preços apresentada entre estes. Foi adotado como critério para a seleção dos fornecedores, o equipamento de menor custo. Os custos foram discriminados na condição FOB, sendo as despesas com transporte incluídas posteriormente, de acordo com o caso.

Conhecendo-se as características dos equipamentos, em especial da turbina, em termos de seu consumo específico de vapor, é possível determinar o montante de vapor necessário, o qual irá igualmente estar condicionado à disponibilidade de biomassa e, dependendo do conceito do projeto adotado, à demanda de potência previamente estabelecida.

Grupo de equipamento	Escala (kW _e instalado)		
	0-200	200-500	500-1000
Turbina/redutor	48.000,00	48.000,00	110.000,00
Gerador	17.000,00	20.000,00	30.000,00
Painéis	10.000,00	13.000,00	18.000,00
Outros	5.000,00	7.000,00	11.000,00
Total	80.000,00	88.000,00	169.000,00

Tabela 8.1 - Variação de custos do conjunto de equipamentos e acessórios, em R\$.
Fonte: Fornecedores de equipamentos, dezembro 1998.

Como conjunto a caldeira ou gerador de vapor, podem ser entendidos todos os elementos e acessórios necessários à geração de vapor, desde a tomada de água bruta até a entrada do vapor no flange da turbina, sem considerar-se alguns periféricos, como baterias de ciclones, tanques, pequenos acessórios e sistema de tratamento d'água, que terão um custo associado, conforme a escala. Pode-se dividir o dimensionamento desse conjunto por faixa de potência, para os respectivos tipos de turbina, conforme a Tabela 8.2.

Faixas de potências a serem atingidas (kW _e)	Vazão (t/h)	P (atm.)	T (°C)	Custo (R\$)
< 200	3	22	350	150.000,00
200 até 300	4	"	"	192.000,00
300 até 500	6	"	"	260.000,00
500 até 800	10	"	"	398.000,00
800 a 1000	12	"	"	475.000,00

Tabela 8.2 - Custo do conjunto gerador de vapor.
Fonte: Fornecedores de equipamentos, dezembro de 1998.

Todos os valores acima apresentados estão sujeitos a alterações sem prévio aviso, dependendo diretamente das condições de mercado, no momento em que se estabelecem as bases da negociação.

8.4 Análise operacional – Custos e receitas.

A análise operacional descreve, sucintamente, como foram constituídos e levantados todos os custos e estimativas de receitas operacionais e não operacionais, empregadas na obtenção do perfil econômico e financeiro do projeto.

Apresenta, portanto, os principais componentes de custos e receitas, bem como os quadros de projeção de elementos necessários à análise operacional, os quais são empregados nas simulações e permitem a obtenção dos indicadores econômicos.

8.4.1 Custo do combustível.

Para fins de cálculos no decorrer do projeto, sempre o combustível chega ao queimador da caldeira a custo “zero”, pois se supõe que todas unidades seriam instaladas em área contígua aos silos ou caixas de cascas elevados, já existentes nas empresas.

A avaliação é efetuada mesmo considerando-se que as empresas tenham um gasto mensal com a remoção das cascas, o que atribui um custo negativo e, conseqüentemente, gera um lucro não operacional com relação à situação atual.

Isto decorre do fato de considerar-se todas as questões relativas à proximidade da termoeétrica e das fontes de biomassa, pressuposto inicial do trabalho, e que a remoção da biomassa já onera os engenhos. Logo, o deslocamento até a termoeétrica, nas proximidades, constitui-se numa redução de custos real.

De modo geral, o mesmo ocorre com os resíduos da indústria florestal e de agroindústrias que processam produtos de origem animal, cujo resíduo implica em onerosos, embora necessários, tratamentos.

8.4.2 Depreciação.

A vida útil de uma termoeétrica a vapor é de 30 anos, porém dependendo da manutenção e do acompanhamento operacional, tem-se relatos de empresas que conseguiram dobrar este tempo.

Para fins de cálculo, e segundo parâmetros econômicos favoráveis, utiliza-se as taxas de depreciação e amortização descritas na Tabela 8.3.

Itens	Taxa anual (%)
1-Construção civil	4
2-Máquinas e equipamentos	5
3-Móveis e utensílios	20
4-Veículos	20
5-Despesas pré-operacionais (quando lançadas)	20

Tabela 8.3 - Taxas anuais de depreciação para itens da planta termoeétrica.

Fonte: Fornecedores e construtores.

8.4.3 Custo de pessoal.

Supõe-se a instalação em empresa com infraestrutura mínima de administração, recepção e manipulação do combustível, composta de 2 funcionários por turno, na planta, onde somente um é computado, devido ao remanejamento das atividades desse funcionário, normalmente empregado nas atividades de manejo de casca. Esses recebem, na região, uma remuneração básica de R\$ 300,00. Na hipótese de regime de operação de 24 h/dia, deve haver um remanejamento de horários entre os funcionários, de forma que a base de cálculo dos custos de pessoal nessa condição, preveja a adição semanal de um total de 14 horas extras de trabalho. Inclua-se, para todos os casos, no custo de mão-de-obra na planta, os encargos trabalhistas decorrentes de tal tipo de trabalho.

8.4.4 Custo de manutenção.

O custo de manutenção de uma termoeétrica com as características apresentadas, é usualmente estimado em 1% do valor total do investimento em equipamentos, ao ano, e encontra-se computado como custo fixo [Pretz, 1997 e 1998].

8.4.5 Tarifa de venda ou comercialização.

Considera-se a receita de duas formas: uma parte da energia será consumida diretamente pelas empresas, não ficando sujeita a regime de tributação, devido ao fato de serem lucros não operacionais; e os eventuais excedentes, que serão comercializados com outras empresas ou a concessionária local, através do emprego das redes de distribuição de energia elétrica, ficando, nesse caso, sujeita à tributação referente à operação do transporte de energia, a parcela referente aos custos de distribuição a cargo das empresas que utilizarão o transporte.

Para fins de avaliação, em termos de receita com a venda de energia, toma-se um valor para cada unidade de amostragem, igual ao valor médio pago atualmente pelo kWh, descontando-se o ICMS, o qual deixa de ser creditado para fins de cálculo no fluxo de caixa líquido de cada empresa..

As empresas que se servirem do transporte de energia via rede assumem, adicionalmente, perante a concessionária, o ônus do transporte de energia, conforme regras vigentes, permanecendo beneficiadas igualmente pela redução de tarifas, uma vez que consomem em um regime de tensão que, em média, eleva o preço do MWh, praticado pela concessionária, para valores finais atualmente em torno de R\$ 171,00/MWh.

8.4.6 Energia produzida.

Sobre os valores de energia consumida e demanda de potência, para cada hipótese admitida entre as apresentadas no item 7.3, toma-se um montante de energia produzida igual ao passível de ser gerado nas condições de operação estabelecidas, respeitando-se as restrições inerentes a eventuais débitos de demanda, o qual implicaria na compra da parcela em débito.

No caso de excedentes considerou-se, para fins de simplificação, que estes sejam vendidos à concessionária por um valor mínimo de R\$ 38,00/MWh, incluso o ICMS. Tal valor tem surgido em alguns eventos que tratam da regulamentação das fontes alternativas de energia, como um valor razoável de ser coberto pelas empresas detentoras de concessões no setor elétrico.

8.4.7 Aspectos tributários.

Os investimentos apresentam uma situação atípica: a parcela de energia que é auto consumida por diretamente cada empresa, não fica sujeita a nenhum tipo de recolhimento; já a energia inserida na concessionária, para venda a esta, ou transportada até as empresas, no caso da formação de uma única central termoeletrica, é normalmente tributada. Entretanto, às empresas associadas, compradoras da energia, é imputado um custo adicional de transporte de energia, o qual é cobrado diretamente pela concessionária da rede de distribuição e apresenta os tributos referentes a esta operação inclusos na fatura mensal.

A atividade de produção de energia é isenta de IPI e o ICMS sofre redução de acordo com o incentivo concedido, por exemplo, pelo Programa Setorial de Desenvolvimento das Indústrias de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica (PROENERG - 1996), essa vai até o limite máximo de 75% do incremento real de ICMS (18,7 %).

Supõe-se que, por razões relacionadas à redução da demanda de energia na região, apresente ou não demanda reprimida, bem como pelo fato de as empresas gerarem uma quantidade considerável de empregos em nível de município, haverá por parte das autoridades municipais, incentivos de forma a reduzir a alíquota de ISSQN.

Para fins de cálculo de expectativas de resultados, a receita da economia de energia diretamente as próprias Empresas arroseiras, é computada como um lucro não operacional, devendo ser revisada posteriormente esta hipótese, incluindo-se os aspectos tributários pertinentes. Estes não foram inicialmente considerados por não apresentarem, para fins de estimativas, uma significativa participação nos resultados finais.

Supondo-se haver convênio entre Estado e Município para esta atividade, pode-se atingir valores cuja soma final do ICMS mais o ISSQN seja em torno de 4,5%.

8.4.8 Composição do capital de giro.

O capital de giro necessário à operação das unidades em separado não foi considerado, devido ao fato de que a relação entre os valores disponíveis, realizável e exigível a curto prazo, apresentam valores irrelevantes para fins de avaliação do retorno do investimento e fluxo de caixa.

Com relação à hipótese da composição de uma central de todas as empresas, adotou-se como critério para o capital de giro os valores mencionados por Pretz, op. cit., como valores típicos de centrais termoeletricas, que se caracterizam em regime de autoprodutor com excedente de energia:

- disponível – adota-se como base de cálculo o percentual de 37 % sobre o valor do faturamento mensal;
- realizável a curto prazo - considera-se que o empreendimento no curto prazo apresenta duplicatas a receber em um valor equivalente ao faturamento mensal;
- exigível a curto prazo - para o pagamento de fornecedores, estimou-se um percentual de aproximadamente 8% sobre o faturamento mensal; e
- inflação - para fins de cálculo, considera-se as variáveis macroeconômicas, como inflação, sob controle e próxima de zero, sem variação nos preços e projeções. Tal fato permite ao empreendedor planejar e melhor calcular sua estrutura de custos e receitas.

8.4.9 Projeção de vendas e resultados.

A energia possui como principal característica a facilidade de estabilizar a produção e mantê-la em um padrão relativamente uniforme ao longo do ciclo produtivo.

Para as potências geradas e apresentadas, foram aplicados fatores de utilização específicos para cada uma das empresas e, posteriormente, para seu somatório, o que permitiu analisar as receitas com a comercialização da energia de forma direta e indireta.

Adota-se um consumo de energia aproximadamente constante, pois representa consumos médios nos períodos de tempo em questão, fato que permite uma estimativa de vendas com um nível bastante alto de confiabilidade.

A Tabela 8.8 apresenta um quadro de resultados contendo a expectativa de venda do produto e a projeção dos resultados para os 10 primeiros anos do investimento, bem como as despesas abatidas, até obter-se o lucro líquido em base anual. Essa tabela tem fins ilustrativos e é replicada na metodologia de cálculo empregada para todos os demais casos.

8.4.10 Custos evitados computados como resultados não operacionais.

Desconsiderando-se a energia elétrica, o transporte e a remoção de cascas constitui-se no principal custo evitado, podendo ser estimado, atualmente, em R\$ 10,00 por caminhão com capacidade de 15 m³ (ou 2 t), para o transporte da casca em um raio de até 10 km.

8.4.11 Fluxo de caixa líquido.

Considerando-se a Tabela 8.9, a qual contém o quadro de “Projeção do Fluxo de Caixa”, para um único caso específico, podem-se tecer algumas considerações:

- o fluxo líquido de caixa parte do lucro líquido, com base na projeção de resultados. Adota-se este método por ser o mais adequado para projeções de caixa de longo prazo, embora apresente a limitação de fornecer uma menor quantidade de detalhes na projeção;
- considera-se tanto o período de implantação quanto o período de projeção;
- o valor residual correspondente ao capital de giro próprio, diz respeito a própria aplicação que foi feita no início da operação. O valor residual dos demais itens é aquele que se obtém contabilmente, isto é, como saldo das depreciações efetuadas;
- o final da coluna referente ao ano de implementação do investimento, corresponde aos recursos aportados pelos sócios, ou seja, ao valor próprio que foi investimento no projeto;
- as demais colunas Ano 2, Ano 3, etc, correspondem aos recursos passíveis de serem retirados pelos sócios.

8.5 Definição das condições de financiamento adotadas.

Embora haja uma gama muito ampla de possibilidades e alternativas em opções de financiamento, como prazos, carências, níveis de participação e taxas aplicáveis, as tabelas geradas nas simulações que se seguem apresentarão os resultados obtidos da projeção do emprego do programa de financiamento “FINAME Especial”, do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), para as condições de: período total de 8 anos, com 2 anos de carência; encargos básicos à Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP); e encargos adicionais 3,5 %, mais um *spread* (ou *del credere*) do agente financeiro de 3,0 %.

Os níveis de participação são de 100 %, para equipamentos financiados via FINAME e de 70 % nos demais itens, como serviços e pré operação, sendo aplicado em tais casos, o “Programa BNDES Automático” (ver Apêndice 7). Nas simulações, para fins de financiamento, não é considerada a inclusão dos juros durante o período de carência como despesas pré operacionais.

Na modalidade de financiamento considerada, os juros são capitalizados trimestralmente durante a carência e mensalmente durante a amortização, sendo adotado o Sistema de Amortização Constante (SAC).

8.6 Análise e Resultados das Unidades de Amostragem Individualmente

Os casos individuais apresentados a seguir representam a aplicação da metodologia descrita e pormenorizada anteriormente no Capítulo 5 e Anexo V, porém somente no item 8.6.1 são apresentadas as etapas intermediárias que conduzem aos indicadores econômicos, os quais determinam a viabilidade e dão suporte à decisão quanto a preferência, ou atratividade relativa, dos empreendimentos propostos.

O principal indicador empregado para todas as alternativas é a Taxa Interna de Retorno (TIR), por ser este um critério dos mais consistentes de avaliação de viabilidade e atratividade de investimentos, apesar de, em alguns casos, lançar-se mão do uso do Tempo de Recuperação do Investimento (*Payback*), para demonstração de valores extrapolados ou inconsistentes da TIR. Ambos os indicadores são “descontados”, usando-se a TJLP (que valia 12,85 %, quando da realização das simulações) como TMA (taxa mínima de atratividade), ou juros de desconto.

8.6.1 Arrozeira A.

Possui características distintas das demais, não só pela escala de produção (é a maior) e tarifação energética com demanda contratada, como também por já utilizar a casca na geração de calor (secagem com radiadores a vapor) e energia elétrica (locomóvel, em períodos de ponta), e ainda localizar-se fora do limite urbano do município.

Devido a essas condições, há uma nítida tendência de a empresa viabilizar-se sozinha, pois o transporte de casca seria oneroso e, principalmente, porque a empresa tem facilidades que tornam o projeto mais atrativo em uma vista preliminar, tais como: caldeira para 6 t/h de vapor – superaquecido a 350°C e 22 atm. - já instalada; gerador elétrico de 200 kW; estrutura e boa experiência em combustão e uso da energia gerada; aumento da eficiência pelo uso associado de vapor de baixa pressão na secagem e possibilidade de implantação de processos mais modernos de beneficiamento do arroz.

Em termos de energia elétrica, a sua participação na implantação de um sistema conjunto de geração, a partir de uma central de cascas, estaria duplamente comprometida: primeiramente pela distância de transporte de cascas (aproximadamente 20 km), fato que onera a empresa com relação às demais, em termos de custos de transporte. Em um segundo momento, a empresa necessitaria contratar da concessionária o transporte de energia até sua unidade no meio rural, onerando novamente o produtor, razão pela qual este não é considerado como parte integrante da análise conjunta, descrita no item 8.7.

Para o desenvolvimento e avaliação das alternativas previstas para esse Engenho, construiu-se um processo simplificado de engenharia de processos, por grupos de potências e tecnologias empregadas, as quais se baseiam nos montantes de energia passíveis de serem obtidos em processos convencionais, Tabela 7.6, e na aplicação dos respectivos critérios de opção de montantes de demanda de potência necessários.

Uma alternativa extremamente interessante para a empresa seria o aproveitamento da caldeira existente e parte do sistema elétrico de geração, com aquisição somente de alguns itens necessários à modernização da central. Entretanto esta hipótese, que apresenta uma excelente viabilidade, não é apresentada por motivos de padronização das análises, bem como de posteriores comparações das alternativas entre as unidades de amostragem.

As três hipóteses, assumidas para a empresa e descritas no item 7.3, passam a dar origem aos resultados apresentados na Tabela 8.4.

Condição	Potência [kW]
1. Potência instalada máxima, 24 horas por dia.	221,16
2. Potência instalada máxima, regime de operação.	334,79
3. Potência instalada igual à demanda e no regime do engenho.	300,00

Tabela 8.4 – Potências instaladas nas três condições de simulação.

Os indicadores econômico-financeiros apresentados a seguir são, em sua maioria, representativos quanto à análise de investimentos nos quais a instituição procede um aporte de recursos, e/ou executa o projeto de acordo com um sistema de financiamento. Para as faixas de potência acima descritas, empregam-se critérios de composição de custos previamente selecionados das Tabelas 8.1 e 8.2.

A Tabela 8.5 mostra os valores obtidos pela aplicação do método de projeção de depreciações, empregado nos cálculos, a um taxa variável de acordo com a vida útil e a obsolescência dos itens relacionados e que apresentam os valores para o caso “1” da Tabela 8.3.

Itens	Valor inicial	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Valor residual
1. Máquinas e equipamentos	230.000,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	46.000,00
2. Móveis e utensílios	23.000,00	4.600,00	4.600,00	4.600,00	4.600,00	4.600,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	253.000,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	46.000,00

Tabela 8.5 - Depreciações para arrozeira “A”, Caso “1”.

A Tabela 8.6 apresenta as fontes de aplicações de recursos, para o investimento no ano de implantação (e primeiro de operação, já a partir do oitavo mês), as quais têm emprego na avaliação da distribuição de financiamentos e na construção de planilhas utilizadas nos cálculos do fluxo de caixa.

ITEM	Ano 1
FONTES	
Recursos de terceiros:	
financiamento bancário	260.364,60
fornecedores/Outros	0
Recursos próprios	13.013,40
TOTAL DAS FONTES	273.378,00
APLICAÇÕES	
Ativo Fixo	273.378,00
Ativo Circulante	0
TOTAL DE APLICAÇÕES	273.378,00

Tabela 8.6 - Fontes e aplicações de recursos para arrozeira "A", Caso "1".

Determinadas as fontes e usos dos recursos, baseados na opção dos empresários ou nas condições colocadas à disposição dos investidores pelos agentes financeiros e norteadas pelos programas de financiamentos usualmente indicados e regulamentados pelo BNDES, a construção de uma tabela, como a 8.7, permite a sistematização e a composição das planilhas empregadas nos programas de avaliação econômica de resultados e de fluxos de caixa, conforme as Tabelas 8.8 e 8.9, respectivamente.

Ano	Saldo devedor	Juros	Amortização/Saque
1	260.364,60	45.222,15	-
2	260.364,60	45.222,15	-
3	216.970,50	45.878,88	43.394,10
4	173.576,40	38.232,40	43.394,10
5	130.182,30	30.585,92	43.394,10
6	86.788,20	22.939,44	43.394,10
7	43.394,10	15.292,96	43.394,10
8	-	7.646,48	43.394,10
Totais		251.020,38	260.364,60

Tabela 8.7 - Tabela de financiamento para arrozeira "A", Caso "1".

Já a Tabela 8.8 apresenta a projeção de vendas dos eventuais excedentes de energia, gerados pela oferta de potência em valores maiores que a demanda, ou ainda, pela produção em um número elevado de horas, o que é lançado em “Vendas”, e a descrição dos custos relacionados à produção, proporcionais ao número de MWh_e gerados bem como as horas de operação da central. Obtém-se, assim, os valores descritos como “Custo dos Produtos Vendidos”.

No item “Despesas Gerais” incluem-se todas aquelas decorrentes de custos fixos, em base anual. A linha correspondente ao item “Juros”, traduz aos montantes pagos ao longo dos anos, considerando-se os totais capitalizados e a serem desembolsados nos respectivos períodos.

ITENS	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
VENDAS	15.131,92	45.395,76	45.395,76	45.395,76	45.395,76	45.395,76	45.395,76	45.395,76	45.395,76	45.395,76
(-) Custos dos produtos vendidos	10.890,56	32.671,69	32.671,69	32.671,69	32.671,69	32.671,69	32.671,69	32.671,69	32.671,69	32.671,69
(-) ISSQN + ICMS (6,8%)	1.028,97	3.086,91	3.086,91	3.086,91	3.086,91	3.086,91	3.086,91	3.086,91	3.086,91	3.086,91
(=) Lucro bruto	3.212,38	9.637,15	9.637,15	9.637,15	9.637,15	9.637,15	9.637,15	9.637,15	9.637,15	9.637,15
(-) Despesas gerais	2.063,73	6.191,20	6.191,20	6.191,20	6.191,20	6.191,20	6.191,20	6.191,20	6.191,20	6.191,20
(-) Juros	45.222,15	45.222,15	45.878,88	38.232,40	30.585,92	22.939,44	15.292,96	7.646,48	0,00	0,00
(-) Depreciações e amortizações	0,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00
(=) Lucro antes do IR	(44.073,50)	(69.376,20)	(70.032,92)	(62.386,44)	(54.739,96)	(47.093,48)	(34.847,00)	(27.200,52)	(19.554,04)	(19.554,04)
(-) Imposto de renda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(=) Lucro líquido	(44.073,50)	(69.376,20)	(70.032,92)	(62.386,44)	(54.739,96)	(47.093,48)	(34.847,00)	(27.200,52)	(19.554,04)	(19.554,04)
(+) Lucro não operacional	18.930,35	56.791,05	56.791,05	56.791,05	56.791,05	56.791,05	56.791,05	56.791,05	56.791,05	56.791,05
(=) Lucro líquido real	(25.143,15)	(12.585,14)	(13.241,87)	(5.595,39)	2.051,09	9.697,57	21.944,05	29.590,53	37.237,01	37.237,01

Tabela 8.8 - Resultados para arrozeira “A”, Caso “1”.

As “Depreciações / Amortizações” são procedidas segundo as regras e a legislação contábil, conforme a natureza dos bens considerados e já apresentadas na Tabela 8.3.

Em termos de fluxo de caixa, a Tabela 8.9 apresenta os resultados do fluxo de caixa líquido, o qual é empregado para os cálculos dos indicadores econômicos posteriormente apresentados.

ITENS	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
Lucro líquido	(25.143,15)	(12.585,14)	(13.241,87)	(5.595,39)	2.051,09	9.697,57	21.944,05	29.590,53	37.237,01	37.237,01
Depreciação/Amortização	0,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	27.600,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00	23.000,00
Fundos gerados pelas Operações	(25.143,15)	15.014,86	14.358,13	22.004,61	29.651,09	37.297,57	44.944,05	52.590,53	60.237,01	60.237,01
Financiamento bancário	260.364,60	0,00	(43.394,10)	(43.394,10)	(43.394,10)	(43.394,10)	(43.394,10)	(43.394,10)	0,00	0,00
Fornecedores/Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inversões em ativo fixo	(273.378,00)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46.000,00
Aplic. Ativo circulante	31.438,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Recursos aportados / (retirados) pelos sócios	6.718,08	(15.014,86)	29.035,97	21.389,49	13.743,01	6.096,53	(1.549,95)	(9.196,43)	(60.237,01)	(106.237,01)

Tabela 8.9 - Tabela de fluxo de caixa para arrozeira “A”, Caso “1”.

Os valores obtidos como Taxa Interna de Retorno (TIR), foram calculados baseando-se na planilha de fluxo de caixa, gerada a partir dos dados e metodologias descritas anteriormente (vide Tabela 8.10). Para os casos estudados, supôs-se que a empresa mantivesse as condições de consumo de energia, com as respectivas potências geradas nos casos “1”, “2” e “3”, conforme Tabela 8.4.

Condição	TIR
1. Potência instalada máxima, 24 horas por dia.	7 %
2. Potência instalada máxima, regime de operação.	13 %
3. Potência instalada igual à demanda e no regime do engenho.	400 %

Tabela 8.10 – Valores de TIR nas três condições de simulação.

Foram computados e adicionados aos fluxos de caixa, na condição não usual de “Aplicações no Ativo Circulante”, os valores de ICMS creditados no primeiro ano, equivalentes aos montantes calculados a partir dos valores dos equipamentos adquiridos. Tal iniciativa visa obter-se um perfil mais fidedigno do impacto dos investimentos na empresa.

Não foi computado, para fins de avaliação do lucro não operacional, o calor de processo gerado o qual, para algumas das avaliações que se seguem, não encontraria interesse de uso nas empresas.

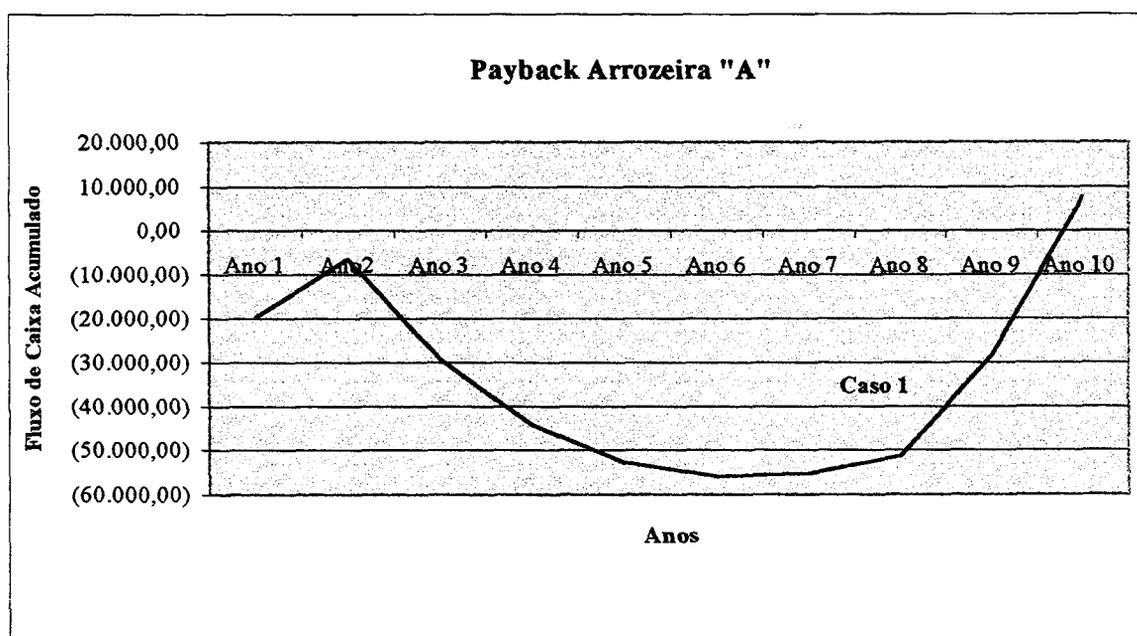


Figura 8.2 – Payback descontado, na condição descrita como Caso “1”.

Se operados cumulativamente, os fluxos de caixa descontados a TJLP, descrevem graficamente o Tempo de Recuperação do Investimento (*Payback*), conforme pode ser visualizado nos gráficos das Figuras 8.2 e 8.3.

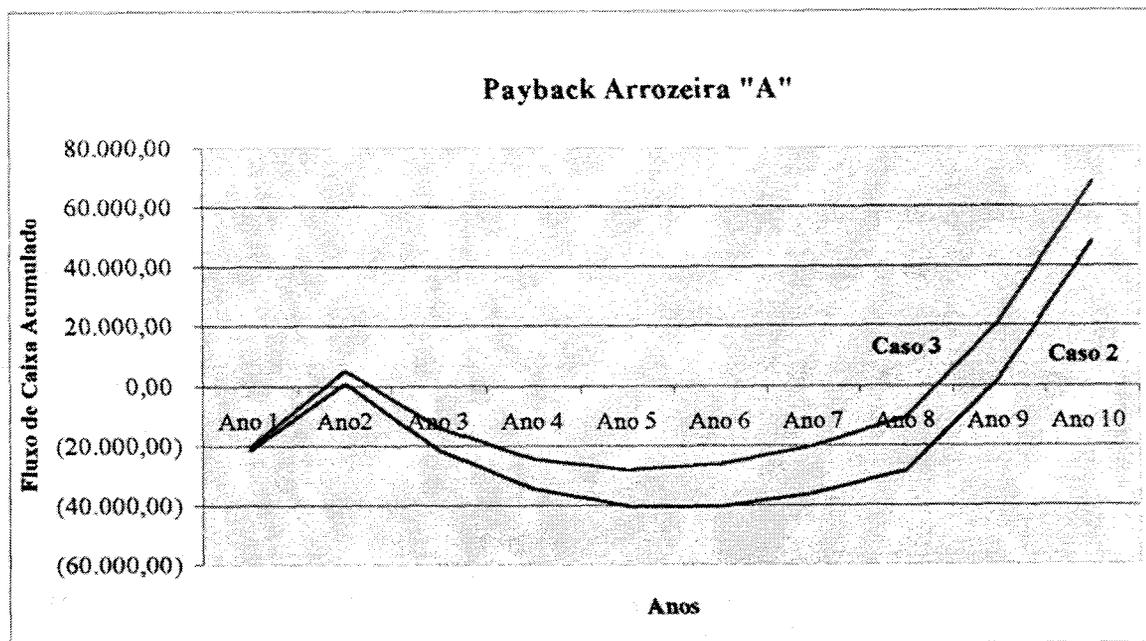


Figura 8.3 – *Payback* descontado, nas condições descritas como Casos “2” e “3”.

8.6.2 Arrozeira B.

A unidade de amostragem “B” distingue-se das demais, por estar em uma faixa intermediária de produção, próximo a 20 mil fardos de arroz branco por mês, fato que a difere das demais na quantia ofertada de biomassa para combustão, tudo visto em nível municipal.

Quanto ao seu comportamento com relação ao consumo de energia, apresenta situação semelhante às demais empresas de menor porte, em função do processo de beneficiamento idêntico, apesar de possuírem diferentes escalas.

Tomando-se os valores da tarifação energética (valores de consumo e demanda registrada em doze meses consecutivos), uso da casca na secagem de arroz (com calor direto dos gases quentes) durante três meses ao ano, podem-se prever os valores de potência oriundos das três hipóteses assumidas para tal empresa (item 7.3), e que dão origem aos resultados constantes na Tabela 8.11.

Condição	Potência [kW_e]
1. Potência instalada máxima, 24 horas por dia.	106,53
2. Potência instalada máxima, regime de operação.	211,77
3. Potência instalada igual à demanda e no regime do engenho.	190,00

Tabela 8.11 – Potências instaladas nas três condições de simulação.

Do caso “1” pretende-se gerar subsídios e dados para justificar, posteriormente, porque a partir de escalas reduzidas, pode-se considerar os empreendimentos como inviáveis. Por essa razão, não serão avaliadas as hipóteses com potências nominais inferiores a 200 kW_e , nesta e nas demais simulações individuais que seguem. Para outros casos analisados, a inviabilidade se traduz pelos índices de TIR inferiores a zero.

Os indicadores econômico-financeiros, considerando-se a aplicação da mesma metodologia do item 8.6.1, produzem os dados constantes na Tabela 8.12.

Condição	TIR
1. Potência instalada máxima, 24 horas por dia.	Inviável
2. Potência instalada máxima, regime de operação.	Inviável
3. Potência instalada igual à demanda e no regime do engenho.	1 %

Tabela 8.12 – Valores de TIR nas três condições de simulação.

A apresentação de gráficos ilustrativos do *Payback* descontado visa demonstrar, através dos dados gerados pelo fluxo de caixa descontado à TJLP, qual o tempo necessário para recuperar o capital investido, conforme se representa nas Figuras 8.4 e 8.5, sendo a passagem pelo zero das ordenadas, a indicação de que o capital anteriormente despendido encontra-se recuperado, em uma condição de mercado na qual o capital é corrigido pela TJLP. Para os casos em apreço, as figuras não demarcam os respectivos *Payback*, que ocorrem em prazos superiores a dez anos.

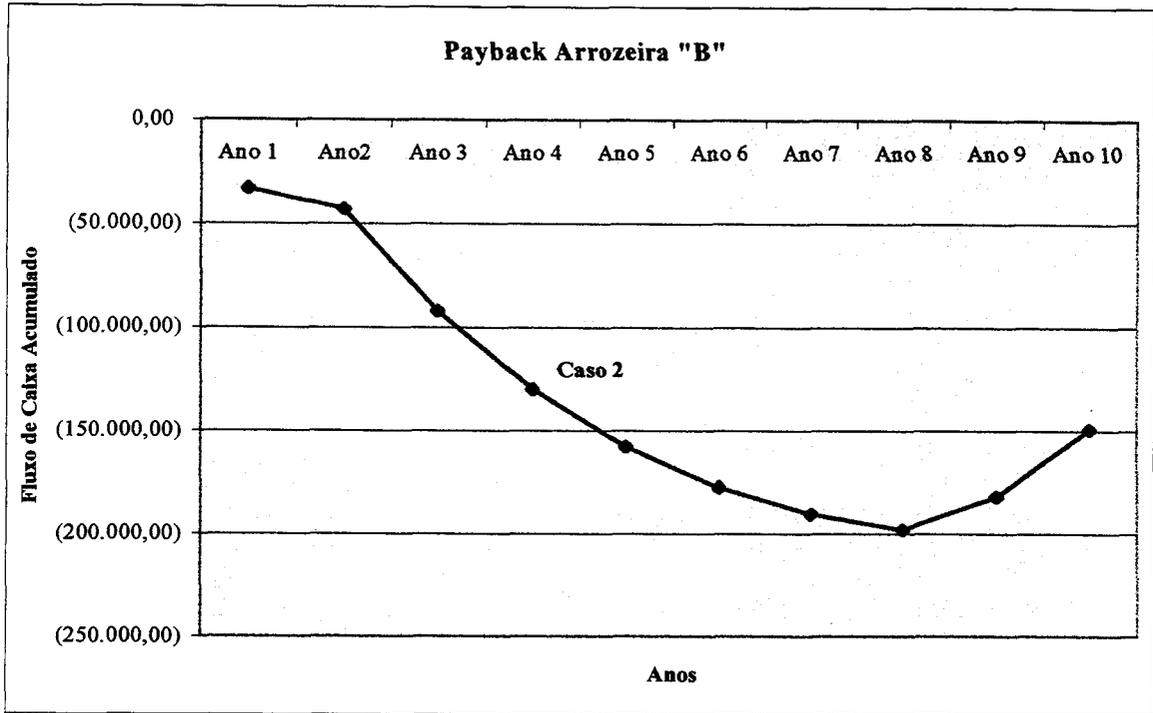


Figura 8.4 - *Payback* descontado, na condição descrita como Caso "2".

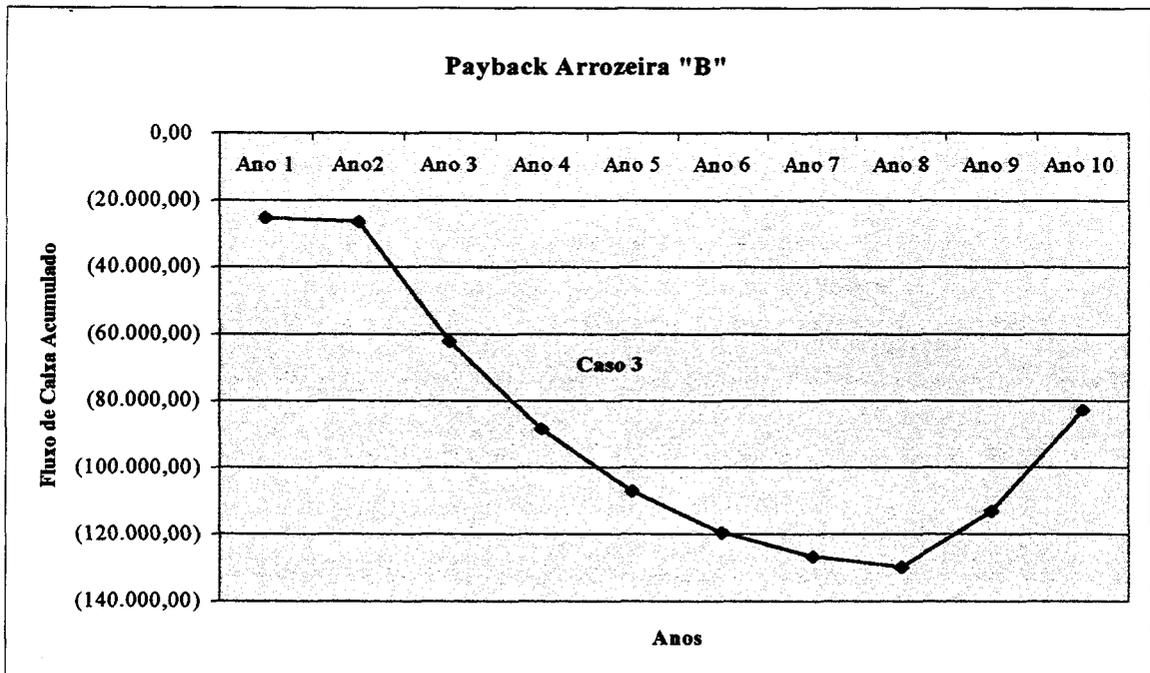


Figura 8.5 - *Payback* descontado, na condição descrita como Caso "3".

8.6.3 Arrozearias C, D e E.

Caracterizam-se por estarem em uma faixa de produção considerada pequena (capacidade de 3 a 10 mil fardos de arroz branco por mês), pela tarifação energética (consumo menor que a maior demanda registrada nos últimos onze meses), uso da casca na secagem de arroz (com calor direto dos gases quentes) durante três meses ao ano e transporte ou depósito a céu aberto do excedente. Localizam-se todas na área urbana ou bem próximo desta.

A unidade industrial “B” está transferindo seu parque industrial e ficará, então, ao lado da unidade “C”. Tal possibilidade, por si só, recomenda avaliações como a procedida no item 8.7. Outra empresa tem desenvolvido experimentos de confinamento de gado, utilizando-se de parte da casca para “cama” dos animais.

Existe a possibilidade de exploração do calor excedente na geração para produção de frio, em *chillers*, a ser empregado no resfriamento da carne produzida, melhorando o rendimento global do aproveitamento da biomassa residual. Sem falar no eventual novo resíduo, esterco e dejetos, passíveis de gerarem gás e terem seu uso em motores estacionários, com mais geração de eletricidade e calor.

A arrozeira “E” é a beneficiadora de menor capacidade, a qual, embora seque uma quantidade bem maior de arroz e de outros grãos (até 60% da quantidade de arroz secado), não utiliza processos que empregam a casca como fonte energética. Possui um regime cooperativado de administração, situa-se igualmente em na zona considerada urbana, queima lenha para secagem de grãos em pelo menos três meses do ano, e tem sua conta de energia tarifada como nos três empreendimentos anteriores.

Condição	Potência [kW _e]		
	Arrozeira “C”	Arrozeira “D”	Arrozeira “E”
1. Potência instalada máxima, 24horas/dia.	53,08	50,13	26,54
2. Potência instalada máxima, regime de operação.	158,52	176,70	99,52
3. Potência instalada igual à demanda e no regime do engenho.	132,00	96,00	131,00

Tabela 8.13 – Potências instaladas nas diversas condições de simulação.

Sua principal função é abastecer, com arroz branco, a demanda de suas lojas e valorizar, mediante a secagem, a produção que é vendida a terceiros, obtendo maior preço no mercado, além de armazenar, distribuir e regular o uso de grãos entre os associados.

A Tabela 8.13 apresenta o conjunto de dados que representam as potências possíveis de serem atingidas individualmente pelas empresas:

Os indicadores econômico-financeiros apresentados a seguir são, em sua maioria, representativos quanto à análise de investimentos nos quais uma instituição procede o aporte de recursos, e/ou executa o projeto de forma individual.

Pelo termo “Inviável”, apresentado na Tabela 8.14, entenda-se igualmente alternativas não avaliadas, para as quais, na escala de geração considerada, não se aplicam as tecnologias descritas anteriormente e, por conseqüência, a comparação e os indicadores econômicos não têm sentido para os fins em que este trabalho foi desenvolvido, conforme se prova a partir da interpretação da referida tabela.

As taxas internas de retorno foram calculadas baseando-se nas planilhas de fluxo de caixa individuais.

Condição	TIR		
	Arrozeira “C”	Arrozeira “D”	Arrozeira “E”
1. Potência instalada máxima, 24 horas/ dia.	Inviável	Inviável	Inviável
2. Potência instalada máxima, regime de operação.	Inviável	Inviável	Inviável
3. Potência instalada igual à demanda e no regime do engenho.	Inviável	Inviável	Inviável

Tabela 8.14 – Valores de TIR nas condições de simulação.

Igualmente descontados a TJLP, os resultados dos fluxos de caixa projetados cumulativamente e representados na forma gráfica irão gerar curvas de *Payback* conforme gráficos das Figuras 8.6 a 8.8. Estas visam, entre outras análises possíveis, descrever graficamente porque há inviabilidade dos investimentos, sob a ótica da TIR, nas condições e nos prazos estabelecidos na construção das hipóteses de simulação.

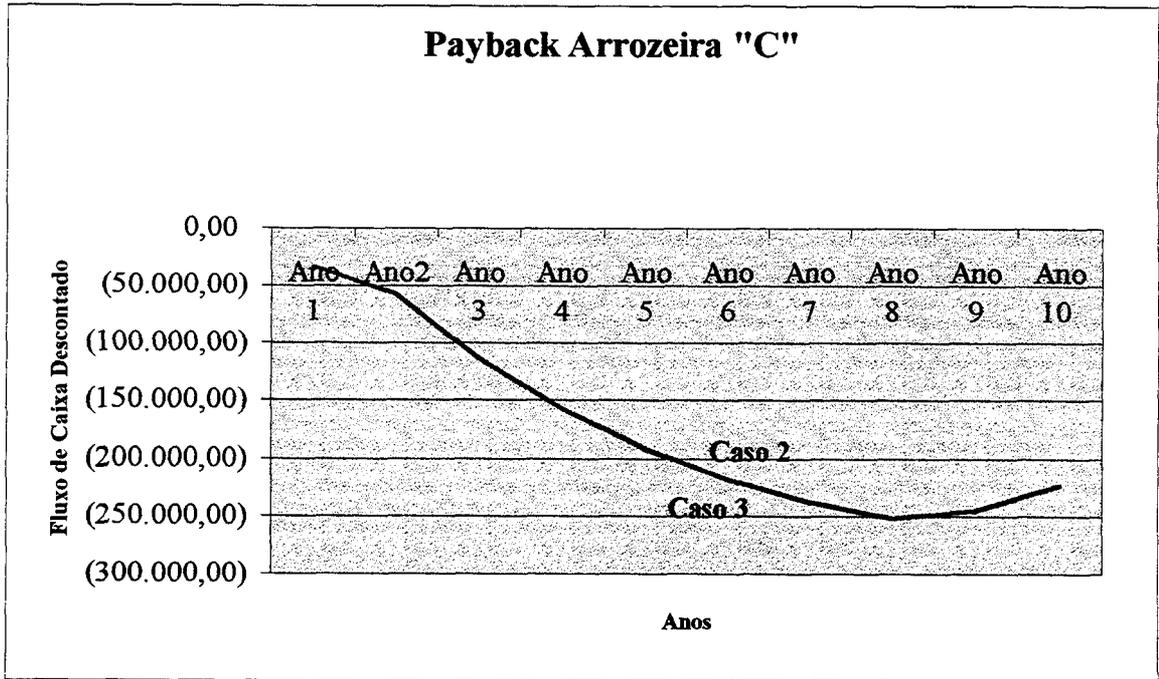


Figura 8.6 - *Payback* descontado, Arrozeira "C", Casos "2" e "3".

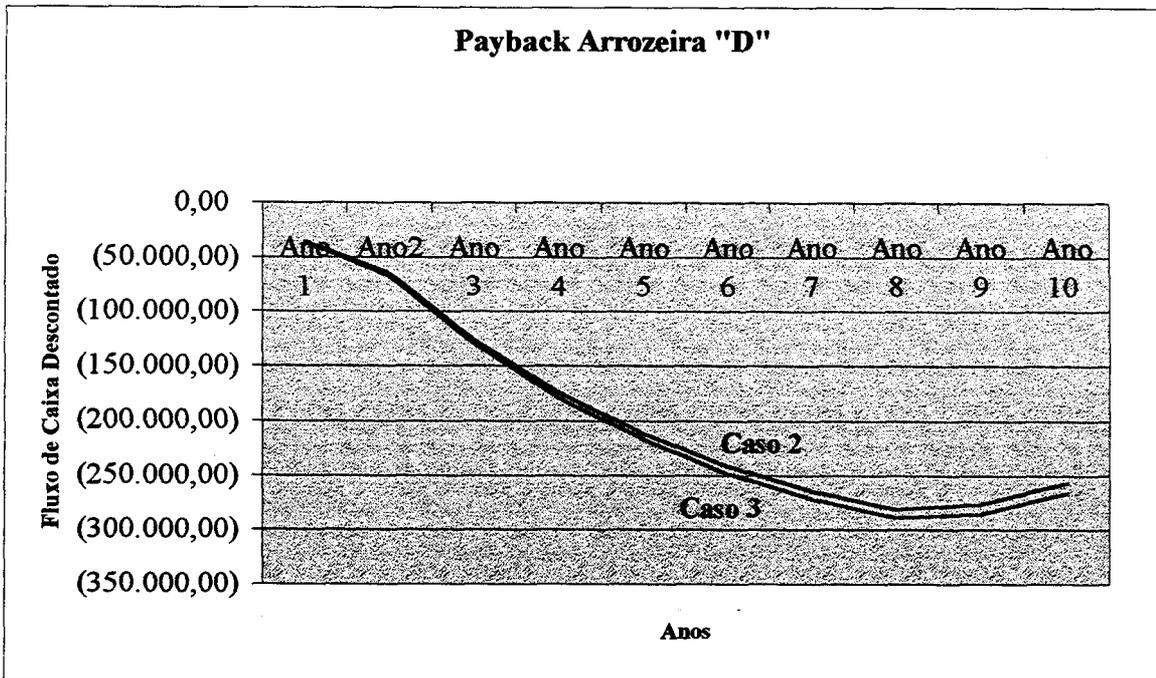


Figura 8.7 - *Payback* descontado, Arrozeira "D", Casos "2" e "3".

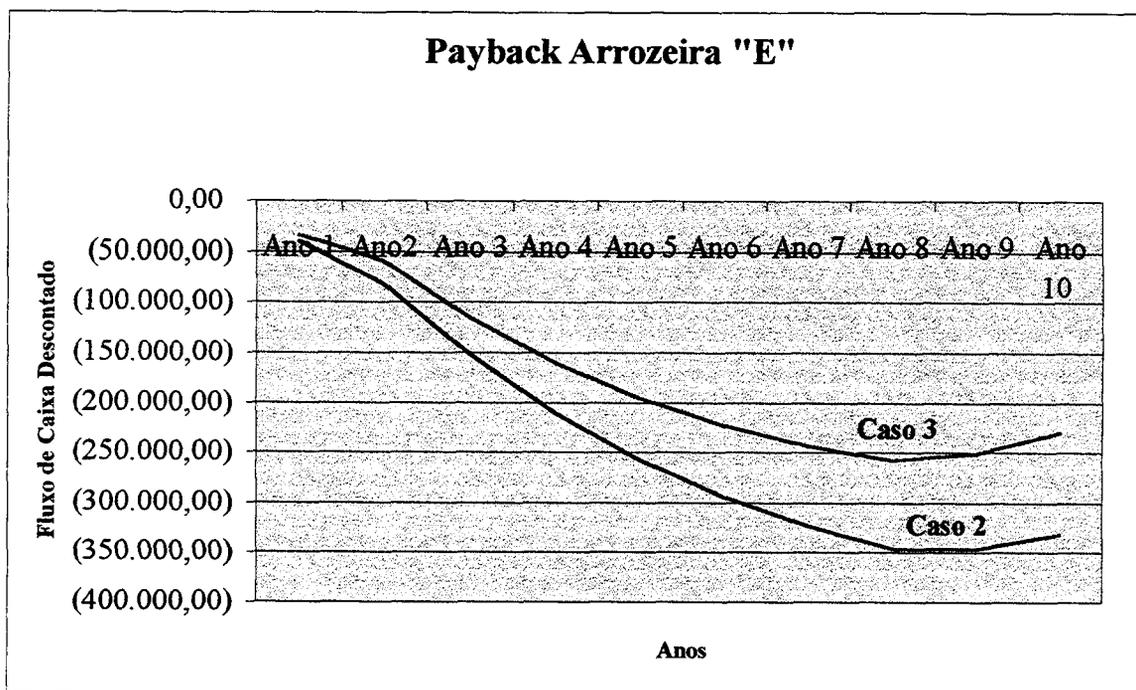


Figura 8.8 - *Payback* descontado, Arrozeira "E", Casos "2" e "3".

8.7 Resultados e análise da viabilidade conjunta.

Uma alternativa apresenta-se promissora e merecedora de estudos mais profundos: a avaliação do agrupamento de várias empresas de pequeno porte. Um sistema assim está sendo concebido atualmente no próprio município objeto do presente estudo, através de proposta apresentada no âmbito do programa PROMASE, do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE - MME) e iniciativas no Município de Uruguaiana - RS.

O parâmetro limitante, que usualmente impede o avanço de tais iniciativas, é o custo associado ao transporte do combustível até o local de instalação da central termoelétrica, por pressupor-se, via de regra, que as distâncias e a baixa massa específica da casca de arroz inviabilizam o projeto, em termos de análise econômica.

Na realidade, esta afirmação é verdadeira para a maior parte dos casos, pois elementos como o custo evitado no transporte de cascas e o valor da energia consumida são decisivos na viabilização de tais iniciativas. Por estas razões, São Pedro do Sul apresenta uma condição atípica: as unidades "B", "C", "D" e "E" distam de um raio máximo de dois quilômetros entre si e, atualmente, deslocam os seus resíduos a distâncias de 10 km, em média.

Basicamente, pode-se considerar dois pontos como motivadores de uma avaliação conjunta: qualquer iniciativa de instalação de uma central termelétrica dentro dos limites de qualquer uma das empresas, ou mesmo em suas proximidades, representaria uma redução nos

gastos com transporte, reduzindo-se significativamente estes custos; e a proximidade cria a alternativa das empresas estenderem redes próprias, desde o painel do gerador de energia elétrica, eliminando-se os custos de eventuais necessidades de transporte pela rede da concessionária.

Em termos de energia elétrica, as quatro empresas estariam duplamente comprometidas na implantação de um sistema conjunto de geração, a partir de uma central de cascas gerenciada por Empresa de Participação Comunitária (EPC).

As três hipóteses de regime e nível de operação anteriormente assumidas e descritas no item 7.3, para a empresa conjunta, possibilitam a geração dos montantes descritos na Tabela 8.15, e passaram a ter uma nova concepção, na seguinte forma:

- alternativa 1- A potência a ser instalada condiciona-se à oferta de biomassa das quatro empresas e à operação integral em 24 h/dia ininterruptamente. Considera-se que os consumos individuais das empresas sejam mantidos e suas demandas atendidas, dentro de seus horários de operação, e somente os excedentes sejam integralmente negociados com a concessionária, nas bases tarifárias previamente consideradas;
- alternativa 2 - A potência a ser instalada condiciona-se à oferta de biomassa das quatro empresas e a produção de energia na central a um número de horas equivalente ao maior número de horas operacionais entre as empresas. Considera-se que os consumos individuais das empresas sejam mantidos e suas demandas atendidas, dentro de seus horários de operação. Somente os excedentes são integralmente negociados com a concessionária, nas mesmas condições anteriores. Não foram estimados eventuais remanejamentos na oferta de cascas, para geração e inserção de energia em horários alternativos, como horário de pico, nos quais a energia possa alcançar um preço maior; e
- alternativa 3 - A potência a ser instalada está igualmente condicionada à oferta de biomassa das empresas e a operação direcionada a atender somente as demandas máximas de potência das mesmas. Considera-se que os consumos individuais das empresas, como nas anteriores, sejam mantidos e suas demandas atendidas dentro de seus horários de operação e somente os excedentes sejam integralmente negociados com a concessionária, seguindo as normas anteriores.

Os indicadores econômico-financeiros apresentados a seguir são resultados da análise de investimentos da empresa, supostamente instituída com o propósito de geração centralizada para as quatro arrozeiras indicadas, com venda de excedentes e que procede a um aporte de recursos e executa o projeto nas condições previamente estabelecidas.

Condição	Potência [kW _e]
1. Potência instalada máxima, 24 horas por dia.	236,28
2. Potência instalada máxima, regime de operação.	469,71
3. Potência instalada igual à demanda e no regime do engenho.	550,00

Tabela 8.15 – Potências instaladas nas três condições de simulação.

A Tabela 8.16 apresenta os valores obtidos para as diversas TIR, obtidas pela aplicação do método já detalhado anteriormente, para as potências dos três Casos de simulação constantes na Tabela 8.15.

Condição	TIR
1. Potência instalada máxima, 24 horas por dia.	0 %
2. Potência instalada máxima, regime de operação.	0 %
3. Potência instalada igual à demanda e no regime do engenho.	0 %

Tabela 8.16 – Valores de TIR nas três condições de simulação.

As Figuras 8.9 e 8.10 apresentam, de forma gráfica e ilustrativa, os *Payback* descontados, que objetivam demonstrar, através dos dados gerados pelo fluxo de caixa descontado a TJLP, qual o tempo necessário para recuperar o capital investido.

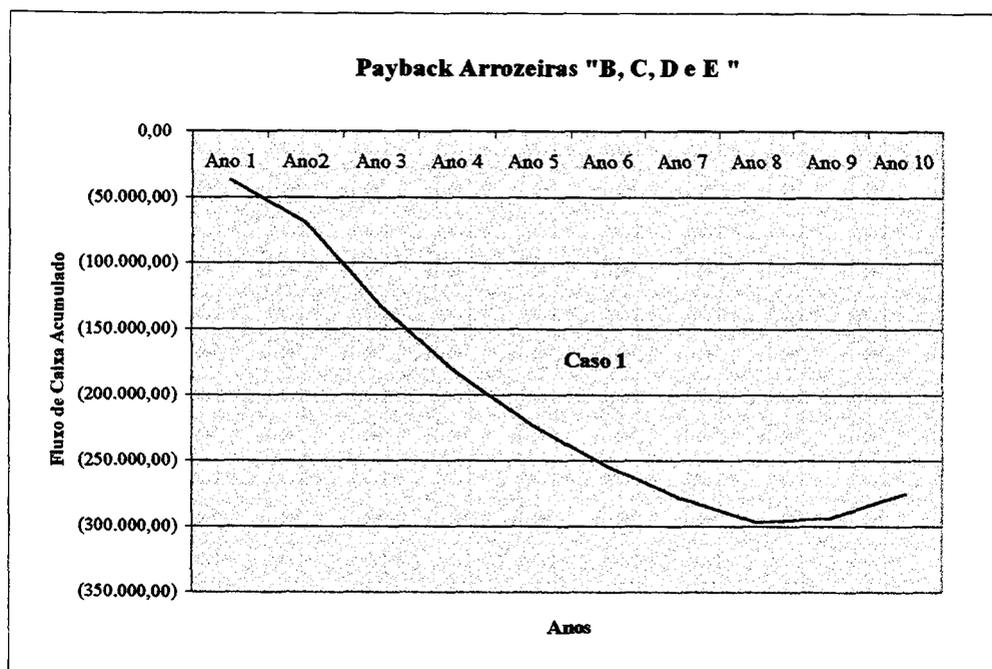


Figura 8.9 – *Payback* descontado, conjunto de quatro Empresas, Caso "1".

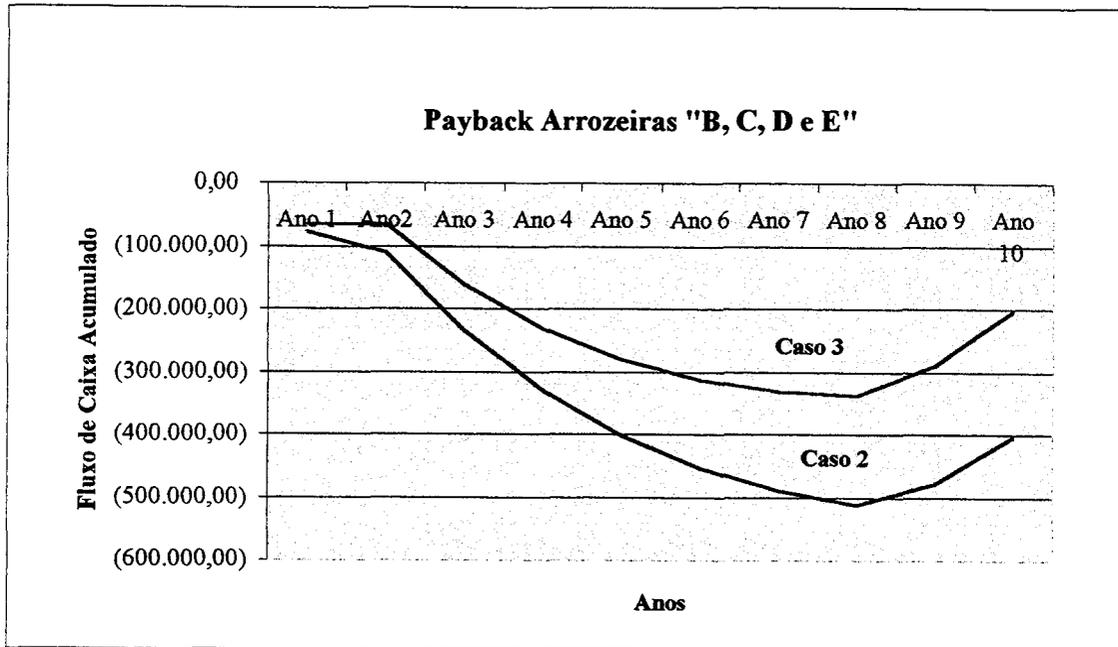


Figura 8.10 - *Payback* descontado, conjunto de quatro Empresas, Casos “2” e “3”.

A baixa viabilidade apresentada, expressa pela TIR nula e pelo longo *Payback*, deve-se principalmente aos montantes de energia que devem continuar sendo adquiridos da concessionária, em função da demanda de potência das empresas (Caso “1”), fato que não é compensado pela energia vendida, principalmente pela baixa expectativa de tarifa de venda.

Nos outros dois casos igualmente se observa que a demanda, relativamente elevada, requerida pelas empresas, inviabiliza a venda de grandes volumes à concessionária na maior parte do tempo, o que, adicionado aos consumos comparativamente baixos de energia e baixos preços pagos por ela nessa escala de produção, criam uma situação *sui generis* de pouca atratividade do investimento, piorando o desempenho em relação inclusive ao Caso “1”.

9 A oportunidade dos projetos termoelétricos, avaliada sob a ótica da análise multicriterial.

Para avaliar a oportunidade, ou não, de investimento em projetos termoelétricos, alimentados com resíduos de biomassa oriundos do processo e beneficiamento industrial da produção primária, estimulando o auto abastecimento de eletricidade e calor, lança-se mão do apoio à decisão por análise multicritério, especificamente empregando o Modelo Aditivo Linear (MAL).

Esta ferramenta não objetiva a avaliação da viabilidade de um projeto, mas antes o estabelecimento de um *ranking* de prioridades e, pela análise dos critérios de valor, das restrições e dos resultados, a proposição de diretrizes para políticas públicas ao setor agroindustrial, carente de energia e/ou perdulário e poluente em seus rejeitos.

Os critérios foram estabelecidos em função do objetivo, que é verificar a “gestão regionalizada dos resíduos agroindustriais para a geração termoelétrica”, no caso, em projetos que usem os resíduos como fonte primária. A composição desses critérios está baseada na experiência e vivência do autor e de seus entrevistados, ligados aos setores em análise, estando sujeito a imperfeições e sendo passível de melhoria e refinamento.

Os coeficientes de critério (c_i) foram estimados, arbitrariamente e conforme o juízo de valores do decisor, em uma escala de unidades de valor, que varia de 0 a 100, de modo que cada critério recebeu valoração como segue:

Critério 1 - TIR – Expressa em %^a, tem grande importância relativa, recebe pontuação máxima, ou seja, 100 pontos para cada 10% alcançados na avaliação econômica;

Critério 2 – Necessidade de potência – Avaliado em relação à demanda mensal máxima de eletricidade e calor, expressa em kW (elétricos e térmicos, quando for o caso), obtém 30 pontos para cada 100 kW_e demandados;

Critério 3 – Localização do depósito de resíduo - Em função do custo, aproximadamente R\$10,00 para cada caminhão transportando 2 t até 10 km. É avaliado em 5 unidades de valor por km de afastamento da Empresa, visto que sua queima, na unidade termoelétrica, traz uma considerável economia mensal com o não transporte do resíduo, além de outros benefícios;

Critério 4 – Capacidade de instalação – Avaliado conforme a disponibilidade de biomassa residual transformada em kW de energia (variável com a eficiência tecnológica), soma 50 pontos para cada 100 kW_e instalados. Na presente avaliação, surgem três casos de potência instalada, dependendo do regime de operação da unidade, conforme explicitado no Capítulo 7;

Critério 5 - Acesso à tecnologia - Como estimativa da existência de equipamentos e alternativas, tecnologicamente factíveis e confiáveis para a faixa de potência necessária e dentro dos parâmetros operacionais adotados. É critério do tipo binário; e por sua importância recebe valor máximo, ou 100 pontos em caso positivo;

Critério 6 – Poluição gerada - Baseada na capacidade instalada da termoeétrica, admitindo-se que 2,5 t de resíduo gerem no mínimo 1 MWh_e, chega-se, para a escala adotada, ao valor de 5 pontos negativos para cada 100 kW_e. Constitui-se em demérito moderado, embora de caráter mais permanente, em termos de geração continuada;

Critério 7 – Poluição evitada – Considerando a relação anterior, o grande volume das cascas, relativo às cinzas, seu poder poluidor (tanto do solo quanto da paisagem, ou estético) e o custo de transporte do resíduo, alcança 80 pontos para cada t/h queimado (ou 20 unidades de valor por 100 kW_e instalados);

Critério 8 – Organização e recursos da empresa - Pode-se traduzir pela disposição e capacidade em investir na planta termoeétrica, podendo envolver ainda os recursos humanos. Sendo critério binário e de fundamental importância, recebe pontuação máxima, com 100 pontos para o sim; e

Critério 9 – Distância da rede de distribuição – Estimado em função dos custos de implantação da mesma, desprezando-se as perdas por transmissão. Sendo o investimento com rede realizado uma só vez, tem pouca importância relativa comparando com outros custos; recebe 5 pontos negativos para cada km a ser implantado, uma vez que não contribui positivamente.

A tábua de valoração individual e o somatório (função multicritério) que constam da Tabela 9.1, são calculados aplicando-se os coeficientes de importância dos critérios, sobre os valores de desempenho e referem-se à simulação individual Caso “1” apresentada na Tabela 9.2. Considera-se que a energia gerada corresponda à potência instalada.

Coeficientes (c_i)	Valor do projeto (x_j) relativo ao critério i e somatório (V)				
	Arrozeira A	Arrozeira B	Arrozeira C	Arrozeira D	Arrozeira E
c_1 - (100/10 % ^a a)	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00
c_2 - (30/100 kW _e dem.)	90,00	57,00	39,60	28,80	39,30
c_3 - (5/km)	0,00	35,00	25,00	20,00	50,00
c_4 - (50/100 kW _e inst.)	110,58	53,27	26,54	25,07	13,27
c_5 - (100 ou 0)	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
c_6 - (-5/100kW _e inst.)	-11,06	-5,33	-2,65	-2,51	-1,33
c_7 - (20/100kW _e inst.)	44,23	21,31	10,62	10,03	5,31
Somatório (função V)	403,75	161,24	99,10	81,38	106,55

Tabela 9.1 – Tábua de valoração resultante da aplicação do MAL – Caso “1”.

Os valores dos coeficientes c_i , estimados pelo autor, representam também os *tradeoffs* entre eles, e podem ser determinados a partir dos valores da primeira coluna da Tabela 9.1.

Critérios	Desempenho da alternativa (a_{ij})				
	Arrozeira A	Arrozeira B	Arrozeira C	Arrozeira D	Arrozeira E
TIR	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Necessidade de potência	300,00	190,00	132,00	96,00	131,00
Localização depósito	0,00	7,00	5,00	4,00	10,00
Capacidade instalada	221,16	106,53	53,08	50,13	26,54
Acesso à tecnologia	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Poluição gerada	221,16	106,53	53,08	50,13	26,54
Poluição evitada	221,16	106,53	53,08	50,13	26,54

Tabela 9.2 – Valores de desempenho das alternativas individuais – Caso “1”.

Para cada caso é possível gerarem-se quadros semelhantes aos mencionados, e cujos valores dão origem às interpretações que são apresentadas neste capítulo. Uma primeira priorização mostra que a atratividade dos cinco projetos estudados é A}B}E}C}D, onde “}” quer dizer “mais atrativo que”.

A verificação de robustez realizada por simulação de Monte Carlo, em acordo com os parâmetros de erro ou confiabilidade prescritos por Bramont, 1996, indica que, para um intervalo de confiança de 99 %, a ordenação é robusta frente a variações inferiores a 19 e 23% nas estimativas dos coeficientes empregados, para distribuição uniforme e normal, respectivamente. Foram realizadas simulações com $m = 1000$, valores iniciais $\theta = 10$ e 20 %, e $I = 1$ %, ocorrendo uma alteração na ordenação inicial, para ambas as distribuições avaliadas.

O *software* determina, também, para cada seqüência gerada, os valores alterados das somas dos projetos x_j , bem como dos coeficiente c_i , com suas médias e desvios padrões. Os coeficiente originais c_j , os desempenhos a_{ji} , os resultados e a dispersão são exibidos graficamente, de modo auto-explicativo.

Projeto	Média dos valores	Desvio padrão
A	405,18	20,94
B	161,62	9,54
C	99,29	5,95
D	81,56	4,79
E	106,58	7,03

Tabela 9.3 – Média e desvio padrão absolutos dos projetos, em unidades de valor, gerados em distribuição uniforme - Caso “1”.

A Tabela 9.3 resume a média dos valores dos projetos e os desvios padrões calculados. Na forma gráfica, os primeiros duzentos valores são apresentados como dispersão de dados pela Figura 9.1.

Os valores mostram que o projeto da Empresa A fica com desempenho bem acima dos demais, especialmente pelo seu porte (220 kW_e) e desempenho econômico-financeiro. Os demais, dentro da confiabilidade admitida (erro=0,01 ou 1 %), podem trocar de ordenação, especialmente os projetos C, D e E, os quais se situam em uma faixa de variação que determina um intervalo de valores comuns (de 70 a 125 pontos).

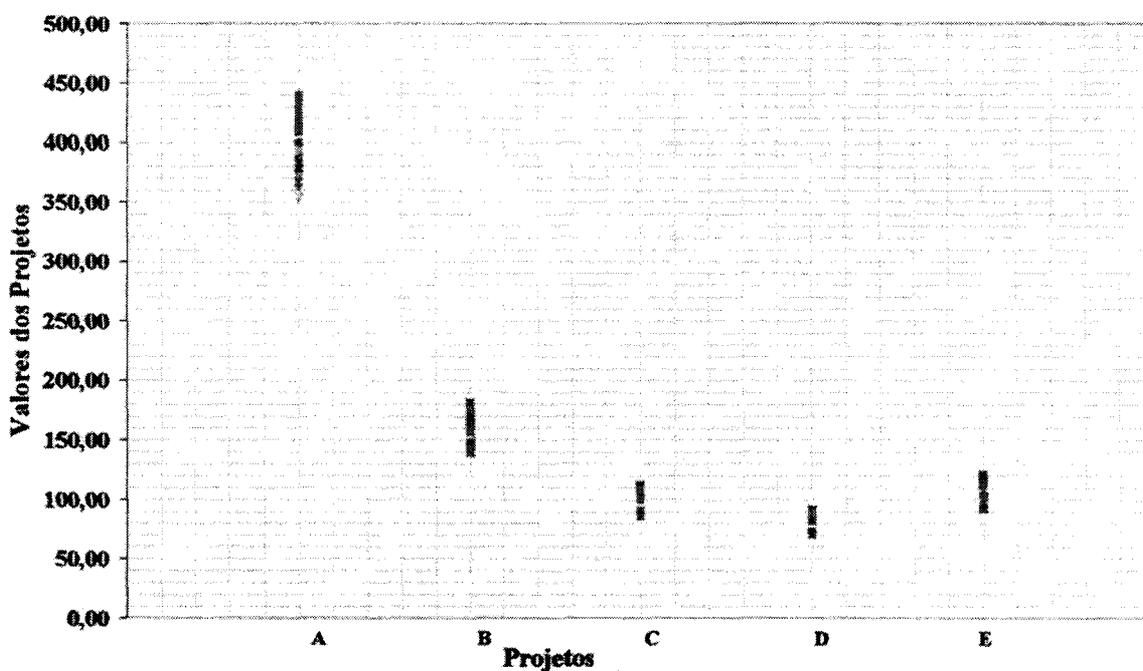


Figura 9.1 – Valores dispersos dos projetos, gerados pela simulação Monte Carlo em distribuição uniforme – Caso “1”.

De posse de tais análises, o decisor pode, ou não, manter a ordenação inicial e, inclusive, declarar o empate das três últimas empresas, já que não há diferença significativa entre seus valores finais. Pode, ainda, alterar determinados coeficientes de critério, em função de um novo cenário, influenciado pelo panorama político, ou por questões ambientais, ou ainda pela conjuntura econômica, por exemplo. Essas modificações certamente trarão alterações na priorização das propostas.

Os critérios 8 e 9 não foram empregados nas simulações que verificam a ordenação multicriterial, devido ao fato de serem de mesmo valor para as cinco unidades estudadas. No entanto, em outras situações, estes critérios podem se apresentar com muita importância no estabelecimento, ou ordenação de prioridades.

A Tabela 9.4 apresenta o resumo dos valores para as diferentes situações simuladas, isto é, Casos de “1” a “3” e “Conjunto”, usando as distribuições uniforme e normal na determinação da função de densidade de probabilidade.

Parâmetros	m	I (%)	O (%)	final (%)	delta (%)	alterações
Caso "1" u	1000	1	10	50	19	1
n	1000	1	20	50	23	1
Caso "2" u	1000	1	10	50	12	1
n	1000	1	10	50	15	1
Caso "3" u	11 000	5	60	100	65	1
n	5 000	5	40	100	65	2
A+Conj. u	5000	1	20	50	21	1
Caso "2" n	5000	1	20	50	22	1

Tabela 9.4 – Parâmetros empregados na análise de robustez por simulação Monte Carlo, com as variações de estimativa (delta %) para um erro máximo de 1 %.

No Caso "2" pouca coisa se altera, com relação à análise anterior. Já as simulações do Caso "3" mostram uma maior competitividade do projeto da Empresa B com o da A, assim como das três outras (C, D e E), tanto entre si quanto com a Empresa B.

A Figuras 9.2 a 9.4 mostram graficamente a importância relativa dos critérios e dois exemplos de desempenho dos cinco projetos, frente a dois critérios escolhidos como demonstração, usando o Caso "1".

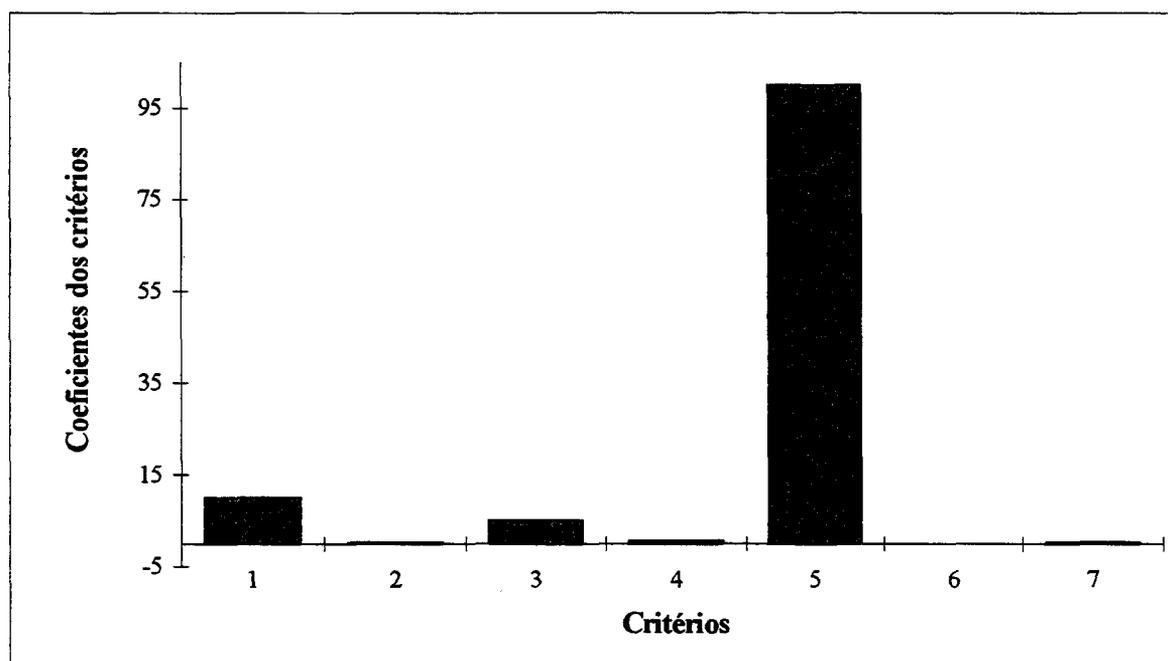


Figura 9.2 – Histograma com valores dos coeficientes dos critérios.

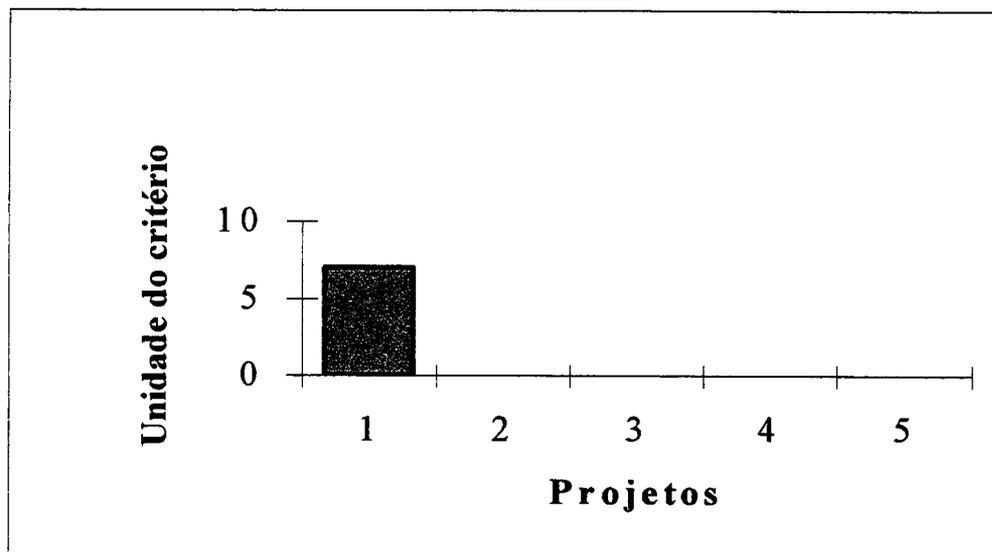


Figura 9.3 – Desempenho dos projetos frente ao critério 1.

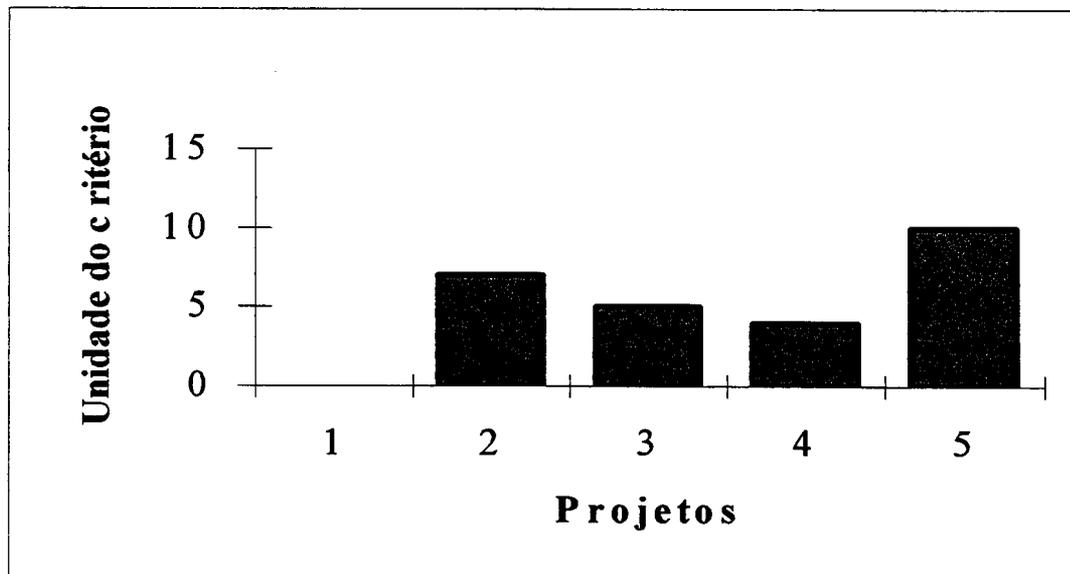


Figura 9.4 – Desempenho dos projetos frente ao critério 4.

Particularmente interessante se mostrou o caso da associação de quatro empresas em torno de uma central de resíduo, cujos principais resultados estão apresentados na Tabela e Figura que vêm a seguir.

Coeficientes (c_i)	Valor do projeto (x_j) relativo ao critério i e somatório (V)	
	Arrozeira A	Conjunto B a E
c_1 - (100/10 % ^{3a})	130,00	0,00
c_2 - (30/100 kW _e dem.)	90,00	165,00
c_3 - (5/km)	0,00	25,00
c_4 - (50/100 kW _e inst.)	167,40	234,86
c_5 - (100 ou 0)	100,00	100,00
c_6 - (-5/100kW _e inst.)	-16,74	-23,49
c_7 - (20/100kW _e inst.)	66,96	93,94
Somatório (função V)	537,61	595,31

Tabela 9.5 – Tábua de valoração resultante da aplicação do MAL – Caso “2”, em distribuição uniforme.

A atratividade dos dois projetos estudados é Conjunto}A. Nesse Caso “2”, a conjunção de empresas permitiu o uso do fator de escala, o que proporcionou o acesso à tecnologia que individualmente não é possível!

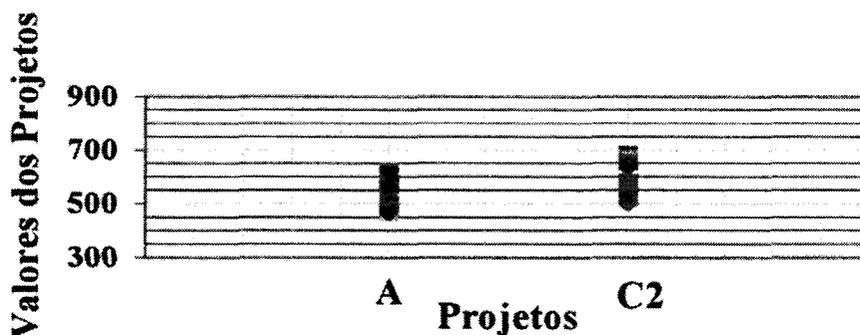


Figura 9.5 – Valores dispersos dos projetos A e Conjunto, gerados pela simulação Monte Carlo em distribuição uniforme – Caso “2”.

10 Conclusões e sugestões.

Nos itens que se seguem são apresentadas, de forma breve, as principais conclusões, acompanhadas de discussão pertinente, sem a pretensão de serem exaustivas, tendo em vista que muitos dos resultados são auto-evidentes, e suas conseqüências e desdobramentos podem variar em uma ampla faixa de conseqüências.

10.1 Conclusões e discussão dos resultados obtidos.

De uma forma geral, pode-se afirmar que a metodologia empregada para a avaliação econômica de micro e pequenas centrais termoelétricas à biomassa, mostrou-se frágil para a escala individual e não permite analisar com a sensibilidade necessária os investimentos, conduzindo apenas a uma apreciação preliminar da atratividade do investimento, no âmbito meramente econômico e financeiro. Igualmente mostra-se instável frente a alterações das condições técnico-econômicas, para as quais pequenas oscilações conduzem a grandes variações nas expectativas e respostas.

Mesmo assim, partindo de uma análise da possibilidade de geração conjunta, por meio de unidade geradora única, que associe as quatro empresas fisicamente mais próximas, em uma central de cascas, administrada por uma Empresa de Participação Comunitária, é possível compor-se um projeto consistente, como o encaminhado ao PROMASE/DNDE/MME. Esse encontra-se aprovado, em primeira instância, aguardando verificação de detalhes e assinatura de contrato para liberação de verba que, diga-se de passagem, embora a fundo perdido, visa construir um cenário de casos de sucesso em geração termoelétrica de pequena escala com biomassa. Portanto, embora os índices econômicos desfavoráveis dentro dos prazos de crédito trabalhados, é possível a execução do projeto conjunto, tendo em vista as características especiais da linha de financiamento e a escala de geração alcançadas, o que aumenta a responsabilidade tanto do órgão financiador, quanto do administrador do projeto por ele beneficiado.

Por outro lado, a avaliação MCDM pode ser efetuada com precisão bastante boa, em termos de percentual admissível de variação nos critérios eleitos e para uma confiabilidade de 99 % (erro admitido na simulação de Monte Carlo = 1 %). Como a característica do multicritério é dar um subsídio fortemente embasado ao decisor, sem a intenção de delimitar caminhos, o

procedimento analítico com a ferramenta MAL é válida, além de mais simples e direta, mesmo considerando as observações feitas no primeiro parágrafo.

A aplicação da tecnologia SIG, através do geo-referenciamento dos pontos de geração de resíduos, e a conjunção destes dados com os planos de informação advindos dos mapas temáticos (PIs de critérios e de restrições), embora sua enorme e evidente importância no estabelecimento de estratégia de gestão de recursos, não teve necessidade de ser implementada no Município amostrado, uma vez que:

- todas as arrozeiras existentes situam-se próximas à rede de distribuição de energia (de 0 a 50 m);
- o mesmo ocorre com relação às estradas e vias de acesso (quatro em zona urbana e uma às margens da BR);
- a influência do custo de transporte da casca, implica na obrigatoriedade de localização da planta termelétrica junto ao ponto de geração;
- não existe nenhum rio navegável de importância na região; e
- suas escalas de produção não têm, até o momento, apresentado restrições com respeito ao meio ambiente, em termos de áreas demarcadas para preservação que fossem restritivas;

10.1.1 Avaliações econômicas.

As conclusões advindas da análise econômica de investimento são as seguintes, e englobam os aspectos tecnológicos e financeiros explicitados nos Capítulos 5, 8 e IV do Anexo:

- apresenta grande instabilidade devido à rápida flexão existente no fluxo de caixa, em decorrência da drástica mudança apresentada nas relações de custo/benefício ao longo dos períodos de financiamento;
- a própria taxa de desconto já induz os indicadores a valores pequenos, principalmente de TIR, os quais oscilam brutalmente, tornando a análise de sensibilidade bastante complexa. Considerando-se que os valores de fluxo de caixa encontram-se descontados a TJLP, quaisquer valores de TIR que superem a expectativa de capitalização real de mercado tornam o investimento atraente;
- colaboram para tal impacto, as características de baixos montantes investidos versus grandes oscilações de retorno em fluxo de caixa. Esses fatos levam, em alguns casos, a que pequenas variações (de 4%) no valor total do investimento, expresso em termos de fluxo de

caixa, causem grandes alterações nos valores finais da TIR (desde números negativos até 1000 %, durante o período de financiamento);

- a questão dos prazos de financiamento e do percentual de participação do órgão financeiro, evidenciam-se como problemas cruciais para a viabilização das pequenas unidades produtoras de energia termoelétrica. Um prazo maior, que permita um *Payback* positivo, e uma participação de 100 % nos itens financiados podem viabilizar uma infinidade de projetos, sem a necessidade de subsídios diretos, ativando um mercado interessantíssimo sob todos os aspectos. Tal incremento da atividade produtiva tende a baixar os custos fixos do investimento, assim como de alguns itens de manutenção, trazendo como consequência a melhoria do desempenho econômico dos projetos industriais;

- as observações anteriores levam, também, ao desenvolvimento de hipóteses quanto à interferência e ao caráter das tecnologias, responsáveis por quase a integralidade dos investimentos, nas escalas em que se apresentam os investimentos. Há um forte indício de que em potências abaixo dos 200 kW, o emprego de tecnologias de turbina a vapor em ciclo convencional, sob a ótica do investidor e nas condições de retorno previamente estabelecidas, afastam-se de indicadores positivos;

- igualmente, o presente estudo reforça a tese de que sistemas, como a locomóvel e o motor a vapor, estão em processo de decadência, pois empregam caldeiras de mesmo custo que em sistemas com turbinas em condensação e apresentam, eles próprios, custos superiores às pequenas turbinas, ou um rendimento menor e, por consequência, quantidades muito menores de energia gerada (em torno de 2,5 kg de casca por kW_e gerado, contra 1,5-1,8 kg em processos mais atuais, ou possíveis 1,2 kg em tecnologias mais avançadas);

- os resultados obtidos reforçam os argumentos enfocados *a priori* sobre as razões da possível não inclusão do caso “1”, no qual a unidade dimensiona a potência que pode ser atingida a partir da operação em tempo integral, partindo-se da disponibilidade de casca, atingindo-se assim valores muito pequenos de potência instalada para a maior parte dos casos, fato que inviabiliza os investimentos sob tais condições. Estes valores igualmente motivam e reforçam argumentos de uma central termoelétrica única, pela disparidade entre o crescimento dos investimentos – baixo, frente ao aumento de potência obtido - grande;

- a manutenção, principalmente da mão-de-obra associada aos custos variáveis, foi observada como um dos principais fatores em si, não exatamente sob o ponto de vista dos montantes obtidos em termos de custos para as plantas individuais, mas porque esses se mantêm

praticamente os mesmos para todas as alternativas de potência analisadas, variando mais significativamente quanto ao tempo de operação;

- os custos variáveis sempre consideraram a contratação de mão-de-obra para a operação, não levando em conta o aproveitamento de funcionários das empresas para a operação da planta, através de treinamento específico, fato que traz prejuízo a todas as alternativas de investimentos analisadas;

- os custos ambientais podem vir a ser poderosos critérios de lucro não operacional a serem adicionados ao processo de viabilização do investimento. Obviamente tais condições seriam drasticamente alteradas se computados outros benefícios não avaliados neste trabalho, como os ganhos sociais e, principalmente, o incremento de produção pela operação em horário de ponta, ou ainda a disponibilização de calor de processo, a custo “zero”, nas unidades agroindustriais de amostragem (cogeração); e

- se, por um lado, as TIRs obtidas são ruins, e mesmo “incalculáveis” do ponto de vista econômico empresarial, essas podem apresentar-se interessantes quando observadas pela metodologia ASP (análise social de projetos), o que foge das presentes limitações de análise.

10.1.2 Análise multicritério.

O método multicriterial de avaliação de projetos, mostrou-se um eficiente e valioso auxiliar na hierarquização de preferências das possibilidades existentes, apresentando uma priorização que pode, ou não, ser adotada para o estabelecimento de políticas de incentivo. É perfeitamente aplicável a projetos de geração termoelétrica de pequeno porte, especialmente em configuração de auto consumo, em empresas que se utilizem dos resíduos agrícolas próprios, e/ou próximos, e/ou em conjunto com outras.

Pelas características das empresas avaliadas, as respostas comportaram-se dentro de uma certa lógica racional esperada, destacando-se a Empresa A, tanto pelo seu maior porte relativo, como pelo seu contrato de demanda energética existente (menor custo do kWh), bem como métodos gerenciais, o que lhe atribui maior pontuação nos quesitos relativos à adaptação tecnológica, desempenho econômico, demanda de energia, potência instalada, etc.

A Empresa B, pelo seu estágio intermediário, ora competiu com a anterior, ora com as outras três empresas, dependendo do caso simulado e das conseqüências advindas dos critérios. Sua tendência é de melhorar a competitividade, a medida que puder racionalizar ainda mais seu consumo energético e implementar mudanças de processo.

As restantes sofrem ora pela pequena potência possível de ser gerada, ora pela grande demanda relativa causada pelo desequilíbrio da curva de potência, o que impossibilita o acesso à tecnologias eficientes e aumenta sensivelmente os custos do kW instalado e do kWh produzido, inviabilizando os investimentos com os prazos de financiamento encontrados no mercado.

As simulações de Monte Carlo, tanto com emprego de dispersão uniforme quanto normal, mostraram que os coeficientes atribuídos aos critérios escolhidos são confiáveis em faixas amplas, com robustez para percentuais na ordem de 15 a 70 % de variação sobre os valores originais.

10.2 Sugestões para futuros estudos.

Em termos de avaliação tecnológica, futuros trabalhos devem estar orientados a verificar alternativas tecnológicas emergentes de geração, em pequena e micro escalas, como mini gaseificadores, os quais empregam como sistema de conversão energética turbinas e motores a gás pobre, que apresentam muitos fornecedores estrangeiros, como Alemanha e França, e não contam atualmente com fabricantes nacionais.

Esse espaço passa a existir a partir do momento que se constata o tamanho do mercado, potencialmente gerador de potência e calor, bem como da abertura dada pelas atuais tecnologias que, ao sempre empregarem vapor, dificultam tecnicamente a sua operacionalidade em locais distantes e pequenos empreendimentos.

Como tais sistemas alternativos não empregam caldeira, são duplamente favoráveis a uma avaliação mais sensível do comportamento do investimento, uma vez que o elemento que decisivamente mais interfere nas inversões em capital fixo do investimento é a caldeira a qual, para a grande abrangência de determinadas turbinas em atender largas faixas de potências, sofre alterações estruturais e de custo consideráveis, além de ser exigente em mão-de-obra treinada.

No que tange às avaliações econômicas e financeiras, sugere-se que, além da verificação de impacto dos novos horizontes tecnológicos acima mencionados, sejam aprofundados os estudos de análise termo-econômica das opções que se apresentam no presente, em função do processo existente em cada empresa (estudos de caso). Tal iniciativa, embora bastante mais exigente em tempo, não é muito complexa em execução, permitindo chegar a resultados mais sensíveis e confiáveis, embora pontuais, com presumíveis ganhos nos custos de produção da empresa e/ou setor avaliado.

É importante observar que a geração de eletricidade e calor (e também a eventual comercialização de excedentes) pode contribuir de forma substancial para com a redução dos

custos de produção das agroindústrias. Mas essa não deve ser a razão principal desses investimentos, devendo-se considerar todo um conjunto social beneficiário, inserido no entorno dos empreendimentos. Tal abordagem implica no estabelecimento de políticas públicas, o que é eficientemente auxiliado pelo emprego de técnicas multicriteriais de avaliação de projetos. Nesse enfoque, sugere-se que outras verificações de priorização das alternativas sejam feitas usando:

- cenários econômicos diversos, como economia em expansão, ou em depressão, quando certos critérios, como a TIR, terão pesos distintos e outros, como a geração de postos de trabalho e renda, ou a conservação paisagística, surgirão com força, exigindo reavaliação dos coeficientes e *tradeoffs*;
- outras realidades agroindustriais geradoras de resíduos distintos da casca de arroz, como a florestal e de seus derivados, onde a mão-de-obra passa a ter alta significância, exigindo novas e distintas avaliações.

Por fim, em empreendimentos ligados ao reflorestamento, em agroindústrias de maior porte e em regiões com pontos de geração de biomassa mais dispersos, faz-se necessária a verificação dos critérios espaciais, que envolvem a análise de dados geo-referenciados em associação com métodos MCDM.

Desse modo, é possível obter-se um quadro geral e uma resposta bastante confiável no que diz respeito à gestão dos resíduos de biomassa gerados em determinada região, especialmente seu uso como fonte primária na geração de energia elétrica e térmica.

BIBLIOGRAFIA

AAE/Agência para Aplicação de Energia, 1996. **“Manual de administração de energia”**, CESP, São Paulo, vol. 1, 32 p.

_____, 1998. **“Manual de administração de energia”**, CESP, São Paulo, vol. 3, 47 p.

Ahern, John E., 1980. **“The exergy method of energy systems analysis”**, John Wiley & Sons Inc., New York, 295 p.

Bain, Richard L. et al., 1996. "Biomass-fired power generation. Biomass Usage for Utility and Industrial Power", NREL, USA, 14 p.

Bana e Costa, Carlos A. et al., 1996(a). **“Aplicação de um modelo multicritérios de apoio à decisão”**, 16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Piracicaba, SP, Anais eletrônicos.

_____, 1996(b). **“Uso da metodologia MACBETH para gerar escalas de valor cardinais”**, 16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Piracicaba, SP, Anais eletrônicos.

Bejan, Adrian, 1997. **“Advanced engineering thermodynamics”**, John Wiley & Sons, New York, 2nd ed., 850 p.

Bermann, Célio, 1992. "Energia, meio ambiente e miséria - os paradigmas da nova ordem", **São Paulo em Perspectiva**, vol. 6 (1-2), pp. 43-51.

Binmore, Ken, 1992. **“Fun and games”**, Ed. D. C. Heath & Company, Lexington, USA, cap. 1 e 3.

Bramont, Pedro Paulo B., 1996. **"Priorização de projetos sob a ótica social – Um método robusto envolvendo múltiplos critérios"**, Tese de Doutorado PPGEPS / UFSC, Florianópolis.

_____, 1997. **"Priorização de projetos sob a ótica empresarial – aplicação de um método robusto envolvendo múltiplos critérios"**, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas - UFSC, mimeo., Florianópolis, 7 p.

Brasil Energia, 1993. **"Volume Especial - Cogeração"**, n. 158, agosto, pp. 17-24.

Bristoti, Anildo, 1993. "Material didático", **Curso de Fontes Renováveis e Uso Racional de Energia – FRURE**, Departamento de Termodinâmica, Processos e Operações Industriais - UFSM, mimeo., Santa Maria, capítulos 2, 3, 4 e 6.

_____, 1994. "O papel das fontes renováveis de energia para o desenvolvimento do Rio Grande do Sul", **Núcleo de Energia, PROMEC, UFRGS**, Porto Alegre, 13 p.

Bristoti, Anildo & Silva, Jairo L. dos S., 1993. "Diagnóstico da utilização e da oferta da biomassa vegetal no Rio Grande do Sul", **Núcleo de Energia, PROMEC, UFRGS**, Porto Alegre.

Câmara, G., 1993. **"Anatomia dos sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução"**. In: Assad, E. D. & Sano, E. E., **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**, EMBRAPA, Brasília, cap. 1, pp. 15-37.

Camargo, Ivan M. de Toledo, 1998. **"Noções básicas de engenharia econômica: aplicações ao setor elétrico"**, FINATEC, Brasília, 160 p.

Campos, Júlio C. C., 1992. "Co-geração como técnica de conservação de energia", **ABRAVA**, São Paulo, n. 129, ano 16, pp. 25-30.

Carpentieri, A. E. et al., 1992. "Prospects for sustainable, utility-scale biomass-based electricity supply in northeast Brazil", **Princeton University, Center for Energy and Environmental Studies**, USA, Report n. 270, 52 p.

Crawley, Gerard M., 1975. "**Energy**", MacMillan Pub. Co. Inc., New York, 337 p.

Carvalho, Joaquim F., 1988. "**Agricultura energética**", Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, Rio de Janeiro, mime, 36 p.

Cespedes, João F. P. & Oliveira Júnior, Sílvio de, 1998. "Análise termoeconômica de plantas de cogeração", **Revista Brasileira de Engenharia Química**, vol. 17, n. 4, pp. 21-27.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, 1986. "**Aproveitamento energético da casca de arroz**", relatório final do projeto de pesquisa CIENTEC-FINEP, Porto Alegre, 170 p.

Corrêa, Émerson C., 1996. "**Construção de um modelo multicritério de apoio ao processo decisório**", Dissertação de Mestrado PPGEPS / UFSC, Florianópolis.

Detoni, Mônica M. M. L. & Ensslin, Leonardo, 1996. "A fase de estruturação no processo de apoio à decisão – A construção de um modelo de avaliação de revestimentos de construção", **16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Piracicaba, SP, Anais eletrônicos.

Detoni, Mônica M. M. L.; Luna, Renata M.; Carrilho, João Z., 1996. "Avaliação por multicritérios e sistemas de informações geográficas", **16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Piracicaba, SP, Anais eletrônicos.

Diegues, Antônio C. S., 1992. "Desenvolvimento sustentável ou sociedades sustentáveis - da crítica dos modelos aos novos paradigmas", **São Paulo em Perspectiva**, vol. 6 (1-2), pp. 22-29.

DOE (U. S. Department of Energy), 1996. "DOE Biomass Power Program - Strategic Plan 1996-2015", **Office of Solar Thermal, Biomass Power, and Hydrogen Technologies**, Washington, dec. 1996, 13 p.

Eastman, J. Ronald; Jin, Weigen; Kyem, Peter A. K.; Toledano, James, 1995. "Raster producers for multi-criteria/multi-objective decisions", **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, vol. 61, n. 5, pp. 539-547.

Eastman, J. Ronald, 1996. "**Idrisi for Windows**": exercícios tutoriais, Editor da versão em português: Heinrich Hasenak, Centro de Recursos Idrisi / UFRGS, Porto Alegre, 109 p.

_____, 1997. "**Idrisi for Windows**": user'guide, version 2.0, Clark University, Worcester, MA.

Elliott, Philip & Booth, Roger, 1990. "Sustainable biomass energy", **Selected Papers, Shell Centre**, London, 11 p.

_____, 1993. "Brazilian biomass power demonstration project", **Special Project Brief, Shell Centre**, London, 10 p.

Ensslin, Sandra R., 1995. "**A estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos**", Dissertação de Mestrado PPGEPS / UFSC, Florianópolis.

Fontes, Paulo José P. de, 1994. "**Auto-suficiência energética em serraria de *Pinus* e aproveitamento dos resíduos**", Dissertação de Mestrado CPGEF / UFP, Curitiba, 140 p.

Froehlich, José M. et al., 1997. "Agricultura familiar e desenvolvimento", **Jornal do SEDUFSM - Encarte Especial**, Santa Maria, pp. 3.

Gaggioli, Richard A. & Petit, Peter J., 1977. "Use the second law, first", **Chemtech**, august, pp. 496-506.

Gaggioli, Richard A. & Wepfer, W. J., 1980. "Exergy economics", **Energy, Pergamon Press Ltd**, London, vol. 5, pp. 823-837.

Garcia, Francisco P. & Pellegrini, Maria C., 1981. "Fundamentos do processo da digestão anaeróbia", **Série Pesquisa e Desenvolvimento**, Companhia Energética de São Paulo, n. 33, 21 p.

Good, Larry, 1994. "Como a cogeração pode beneficiar o Brasil", Trad. Luís Cortez. **Revista ABRAVA**, São Paulo, n. 141, ano 18, pp. 26-34.

Henn, Érico A. L., 1993. "Geração de energia elétrica", **Curso de Especialização em Fontes Renováveis e Uso Racional de Energia**, DTPI / CT / UFSM, Santa Maria, 23 p.

Hoffmann, Rejane S., 1995. "**Diagnóstico energético e sócio-econômico, visando o uso sustentado dos recursos naturais do Município de Dona Francisca - RS**", Monografia de Especialização do Curso FRURE / DTPI / CT / UFSM, Santa Maria, 49 p.

Hoffmann, Ronaldo, 1989. "Fermentação anaeróbica", **Limpeza e desinfecção da indústria de alimentos**, Departamento de Termotécnica, Processos e Operações Industriais - UFSM, mim., Santa Maria, 14 p.

Hoffmann, Ronaldo & Bristoti, Anildo, 1994. "Fontes renováveis de energia e o desenvolvimento sustentável - Uma proposta para o Estado do Rio Grande do Sul", **I Congresso Latinoamericano Sobre Energias Alternativas**. Córdoba, Argentina, anais eletrônicos.

Hoffmann, Ronaldo et al., 1994. "Energetic-environmental planning for São Pedro do Sul county - RGS - BR", **I Congresso Latinoamericano Sobre Energias Alternativas**. Córdoba, Argentina, anais eletrônicos.

Holanda, N., 1975. "**Planejamento e projetos**", APEC, Rio de Janeiro, 2 ed., 402 p.

Horlock, J. H., 1992. "**Combined power plants: including combined cycles gas turbine plants**", Pergamon Press Ltd., USA, 288 p.

Huang, F. F., 1990. "Performance evaluation of selected combustion gas turbine cogeneration systems based on first and second-law analysis", **Jour. of Eng. For Gas Turbines and Power**, vol. 112, pp. 117-121.

Hu, S. David, 1985. "**Cogeneration**", Reston Publ. Co. Inc., USA, 428 p.

Janssen, Ron, 1992. "**Multiobjective decision support for environmental management**", Kluwer Academic Publ., The Netherlands, 233 p.

Johansson, Thomas B. et al., 1993. "**Renewable energy: sources for fuels and electricity**", Island Press, Washington, DC, cap. 1, 2, 14, 15, 16, 17 e 18.

Johnson, Blake E., 1994. "Modeling energy technology choices", **Energy Policy**, vol. 22, n. 10, pp. 877-883.

Kaehler, José W. Maciel, 1993. "**Un outil d'aide à la décision et de gestion des actions pour la maîtrise de la demande d'énergie – de la conception au développement**", Thèse de Doctorat, École des Mines de Paris, France, 257 p.

Keeney, R. L. & Raiffa, H., 1976. "**Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**", John Wiley & Sons, New York, 569 p.

Klink, Amyr, 1996. "Geoprocessamento é caminho obrigatório", **Fator GIS**, Curitiba, ano 4, n. 13, pp. 6-8.

Kotas, T. J., 1995. "**The exergy method of thermal plant analysis**", Krieger Publ. Co, Malabar, FL, reprint, 328 p.

Larsen, Hans, 1996. "Renewable energy - technological advances and future prospects", **XVI Curso Sobre Planificacion Energetica - Comision Europea**, Montevideú, 19 p.

Lopes, Carlos A., 1992. "**Vantagens econômicas do planejamento energético a nível de município: o caso de São Pedro do Sul**", Monografia do Curso de Ciências Econômicas, CCSH / UFSM, Santa Maria, 97 p.

Martin, Jean-Marie, 1992. "**A economia mundial da energia**", Editora UNESP, São Paulo, 1ª ed., 135 p.

Martins, Geomar M., 1993. "A casca-de-arroz como fonte renovável de energia alternativa - Estudo de viabilidade para implantação de PCT's no RS", **Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, CT / UFSM, Santa Maria, 23 p.**

Moreira, José R. et al., 1996. "Foro Permanente das Energias Renováveis - Plano nacional de energias renováveis: biomassa", **O uso da biomassa no Brasil – Potenciais para uma política de desenvolvimento regional**, ed. Eletrônica CENBIO, São Paulo, 92 p.

Moura, Francisco R., 1996. "Projeto de uma central termoelétrica à biomassa", **II Fórum de Energia e Meio Ambiente**, Santa Maria, anais pp. 163-170.

Munasinghe, Mohan, 1993. "Como os economistas vêem o desenvolvimento sustentável", **Finanças & Desenvolvimento, FMI/BIRD e FGV**, Rio de Janeiro, pp. 16-19.

Mury, Antonio R., 1996. "A engenharia de sistemas e o apoio multicritério à decisão", **16º Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Piracicaba, SP, Anais eletrônicos.

Nodari, Iberê L., 1996. "**Estado da arte e perspectivas na geração termelétrica via biomassa no Estado do Rio Grande do Sul**", Dissertação de Mestrado PROMEC / UFRGS, Porto Alegre, 130 p.

Pauli, Gunter, 1996. "**Emissão zero: a busca de novos paradigmas - O que os negócios podem oferecer à sociedade**", EDIPUCRS, Porto Alegre, 312 p.

Perlack, Robert D.(org.), 1996. "Prospects for biomass-to-electricity projects in Yunnan Province, China", **Oak Ridge National Laboratory**, report ORNL/TM-13111, Tennessee, USA, 44 p.

Pinazza, Luiz A. & Araújo, Ney B., 1993. "**Agricultura na virada do século XX: visão de agribusiness**", Globo, São Paulo, 166 p.

Prasad, Surendra B., 1995. "Biomass-fired steam power cogeneration system: a theoretical study", **Energy Convers. Mgmt., Elsevier Science Ltd**, London, vol. 36, n. 1, pp. 65-77.

Pretz, Ricardo, 1996. "Papel da biomassa energética no desenvolvimento de comunidades", **II Fórum de Energia e Meio Ambiente**, Santa Maria, anais pp. 175-182.

_____(elab.), 1997. "Geração termoelétrica à biomassa", **Caminhos para o desenvolvimento - RS Emprego**, Perfis de Oportunidades de Investimentos (POI), Governo do Estado do Rio Grande do Sul e UFRGS, Porto Alegre, 95 p.

_____, 1998. "**Informação privada**", dados não publicados, elaboração da Tese de Doutorado – PROMEC / UFRGS.

Pretz, Ricardo & Hoffmann, Ronaldo, 1996. "As fontes alternativas de energia no desenvolvimento sustentável em base municipal", **III Congresso Nacional de Energía**. La Serena, Chile, anais pp. 441-447.

Rattner, Henrique, 1991. "Tecnologia e desenvolvimento sustentável: uma avaliação crítica", **Revista de Administração**, São Paulo, vol. 26, n. 1, pp. 5-11.

_____, 1992. "Meio ambiente e desenvolvimento sustentável", **São Paulo em Perspectiva**, vol. 6 (1-2), pp. 30-33.

Reed, Thomas B. & Das, Agua, 1998. "**Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems**", The Biomass Energy Foundation Press, Colorado, USA, 140 p.

Remer, Donald S. et al., 1989. "Technical and economic feasibility of a prototype 4 kW cogeneration package", **Energy**, Pergamon Press Ltd, London, vol. 14, n. 5, pp. 277-290.

Rocha, Ronaldo dos S. da, 1997. "A tecnologia de geoprocessamento nos Sistemas de Informações Geográficas", **Jornal do CREA**, Porto Alegre, ano 5, n. 22, p. 12.

Roy-Aikins, J. E. A., 1995. "An investigation of the factors that determine the attractiveness of cogeneration", **Heat Recovery and CHP**, Elsevier Science Ltd, London, vol. 15, n. 5, pp. 473-480.

Saaty, Thomas L., 1991. "**Método de análise hierárquica**", McGraw-Hill, Rio de Janeiro, 367 p.

Sachs, Ignacy, 1986. "**Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento**", Vértice, São Paulo, 224 p.

Scheleder, Eugênio M. M., 1997. "Demandas potenciais e necessidades de bioeletricidade no Brasil", Conferência: **Biomassa para a Produção de Eletricidade: Experiências e Perspectivas na União Européia e no Brasil**, Brasília, outubro de 1997.

Schmidt, Angela M. A., 1995. "**Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH**", Dissertação de Mestrado PPGEPS / UFSC, Florianópolis.

Simonsen, Mário H. & Flanzer, Henrique (orgs.), 1974. "**Elaboração e análise de projetos**", Sugestões Literárias, São Paulo.

Sobral, Helena R., 1992. "Meio ambiente e governos locais", **São Paulo em Perspectiva**, vol. 6 (1-2), pp. 76-78.

Spilling Energie Systeme, s. d.. "Biomass power plants - Spilling® energy plants fuelled by rice husks (hulls)", **Folheto técnico**, Suíça, 6 p.

Spilling Consult AG, 1996. "Energia a partir de refugos e biomassa", Trad. Hans D. Rahn. **FIERGS / COINFRA**, Porto Alegre, 7 p.

Stassen, Hubert E., 1995. "**Small-scale biomass gasifiers for heat and power: a global review**", The World Bank, Washington, 61 p.

UICN / PNUMA / WWF, 1991. "**Cuidando do planeta Terra: uma estratégia para o futuro da vida**", Editora CL-A Cultural, São Paulo, 246 p.

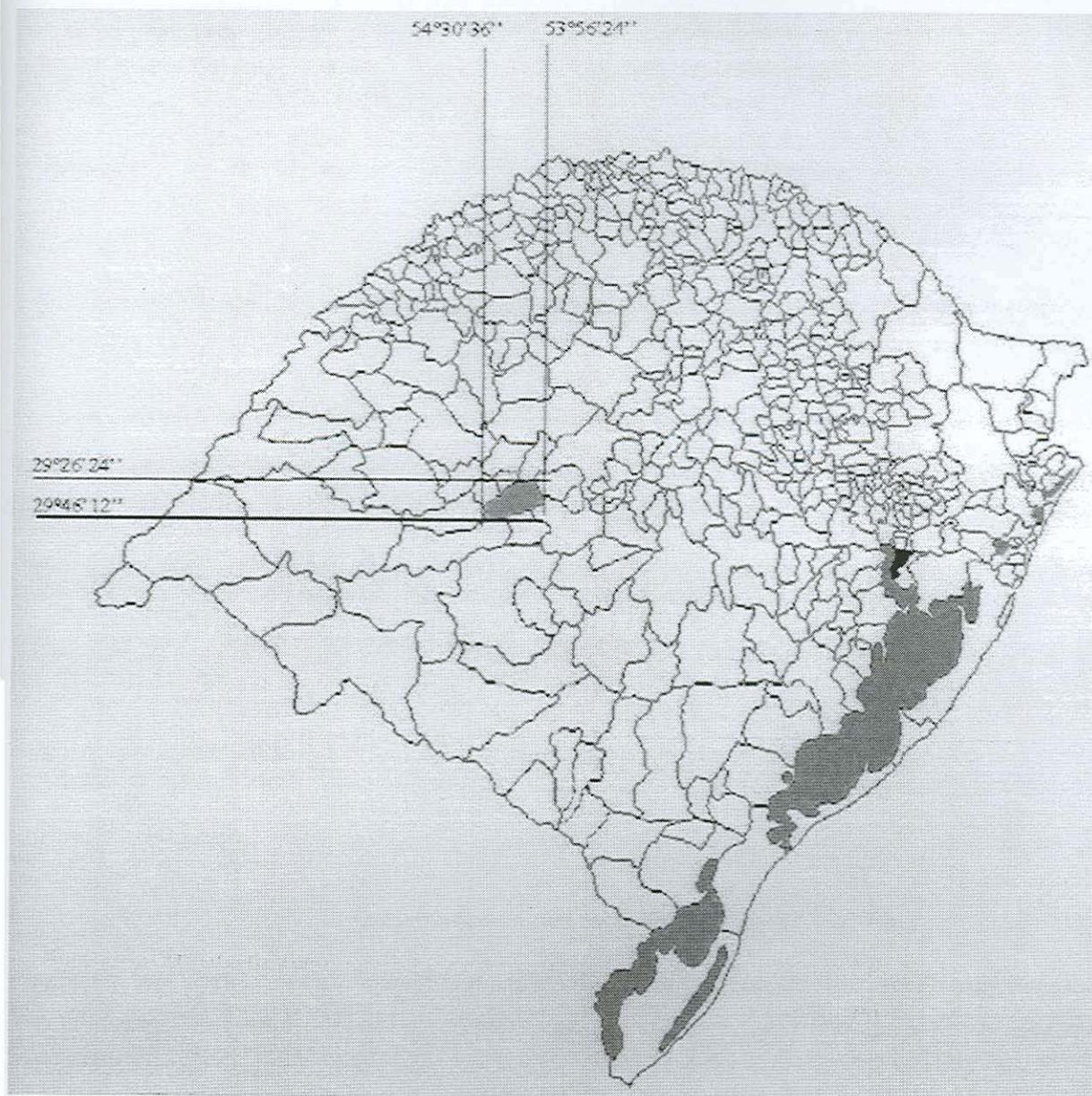
Wagner, Joseph R., 1986. "**Cogeneration at small plants: design using reciprocating engines and absorption chiller**". In: Limaye, Dilip R., Industrial cogeneration applications, Fairmont Press Inc., Lilburn, GA, cap. 10, pp. 183-198.

Walter, Arnaldo C. da S., 1996. "O setor sucro-alcooleiro e a produção de eletricidade a partir de subprodutos da cana", **O uso da biomassa no Brasil – Potenciais para uma política de desenvolvimento regional**, ed. Eletrônica CENBIO, São Paulo, 24 p.

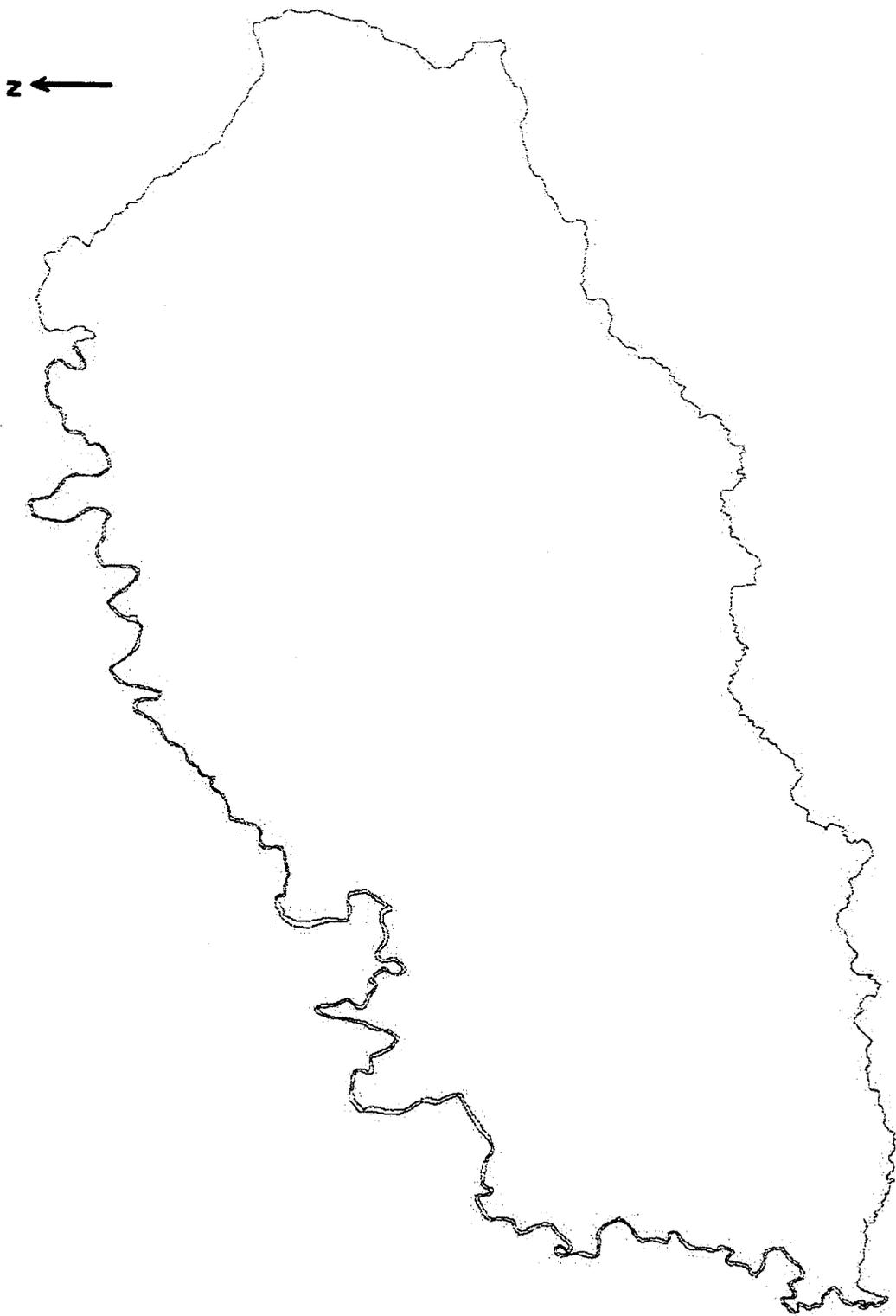
Wereko-Brobby, Charles Y. & Hagen, Essel B., 1996. "**Biomass conversion and technology**", UNESCO energy engineering series, John Wiley & Sons Ltd., England, 203 p.

Woiler, Samsão & Mathias, Washington F., 1992. "**Projetos: planejamento, elaboração, análise**", Editora Atlas S. A., São Paulo, 294 p.

Apêndice 1.



Localização de São Pedro do Sul relativa ao Estado



Contorno dos Limites municipais



Malha rodo-ferroviária no município



Rede hidrográfica do município

Apêndice 2.

Questionário para engenhos de ARROZ

Razão social / Marca:

Nome do entrevistado:

Produção e geração de casca:

Qual a capacidade de beneficiamento [fardos/mês] ?

Qual a proporção de arroz em casca/arroz sem casca beneficiado [sacas/sacas]? Muda ao longo do ano?

Qual a estimativa de produção de cascas [ton./dia ou cargas/dia]?

Qual o destino das cascas?

Qual a capacidade da caixa de cascas (ou outro depósito)?

Se há transporte, a que distância?

Qual o custo?

Secagem:

Há ou não?

Período e quantidade?

Uso de casca no processo?

Regime de operação do engenho:

- 21 h/dia 24 h/dia Outro _____ h/dia
 5 dias/semana 6 dias/semana Outro ___ dias/semana

Alterações no regime durante e fora da safra ou observações sobre regime:

Consumo de energia elétrica:

Tipo de contrato:

Demanda contratada [kW]:

Tensão de suprimento[kV]: 13,8 22 Outra: _____

Consumo ao longo do último ano:

Mês/Ano	Consumo Ativo [kWh]	Consumo Reativo [kWh]	Demanda de Potência Ativa [KW]	Valor da Conta [R\$]
Jan /				
Fev /				
Mar /				
Abr /				
Mai /				
Jun /				
Jul /				
Ago /				
Set /				
Out /				
Nov /				
Dez /				

Capacidade instalada em transformadores [kVA]:

Apêndice 3.

COMPOSIÇÃO DA CASCA DE ARROZ.

ANÁLISE IMEDIATA

Umidade (% p).....	12,0
Matéria Volátil (%p) b.s.	67,8
Carbono Fixo (%p) b.s.	13,6
Cinzas (%p) b.s.	18,6
Poder Calorífico Superior(Kcal/Kg) b.s.	3700
Poder Calorífico Inferior(Kcal/Kg) b.s.	3490

ANÁLISE ELEMENTAR

Carbono (% p) b.s.	38,3
Hidrogênio (% p) b.s.....	4,0
Nitrogênio (% p) b.s.....	0,5
Cinzas (% p) b.s.....	18,6
Oxigênio e Outros(% p) b.s.....	38,6

Fonte: CIENTEC, RELATÓRIO FINAL DO PROJETO DE PESQUISA – APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA CASCA DE ARROZ, Fundação de Ciência e Tecnologia, 1986.

PROPRIEDADES DA CASCA DE ARROZ

Poder calorífico inferior médio	a- 13 376 kJ/kg
	b- 3.200 kcal/kg
Densidade média	120 - 180 kg/m ³
Teor médio de cinzas	12 %

CONTEÚDO ENERGÉTICO DE 1,25 kg DE ARROZ BRUTO E AS TRANSFORMAÇÕES
ENERGÉTICAS SELECIONADAS.

1 kg de arroz branco	3 500 kcal para nutrição
0,25 kg cascas	750 kcal/kg
0,25 kg palha (ficam no campo)	750 kcal/kg
Total útil como combustível	1 500 kcal/kg
Energia (equivalente elétrico)	0,25 kWh _{elétrico}
Eficiência conversão elétrica	14,3 %
Energia térmica (vapor ou água quente)	0,75 kWh
Eficiência conversão térmica	42,85 %
Rejeito de energia e perdas	42,85 %

Fonte: Spilling Werk.

PODER CALORÍFICO DE ALGUMAS BIOMASSAS

Biomassa	PCI (kcal/kg)
20 % b. u.	3 692
Lenha	40 % b. u.
	60 % b. u.
Resíduos de serraria (médio)	2 000
Resíduos florestais (chips)	1 750
Casca de arroz (média)	3 000

Apêndice 4.

MATRIZ DE CONSUMO ENERGÉTICO (tep), DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL, 1981-97.

Energético	Energia elétrica	Derivados de petróleo			Derivados de biomassa			Total
		Gasolina	Diesel	GLP	Lenha	Carvão	Álcool	
Medida	MWh	m ³	m ³	t	mst	t	m ³	
Fator(*)	0.080	0,718	0.848	1.090	0.112	0,630	0.497	
Ano	Consumo							
1981	86,9	875,9	2302,8	311,9	1788,7	4,125	253.0	5686.1
1982	100,0	917,7	2403,7	321,7	1184,3	4,125	245.5	5242.8
1983	392,8	1001,7	2536,9	346,8	1095,3	4,125	277.8	5727.4
1984	455,6	1061,3	2735,4	352,2	1330,3	2,625	269.3	6283.8
1985	504,5	1049,7	2914,3	343,5	1222,0	2,625	286.2	6399.1
1986	518,2	1166,1	3012,7	346,8	1183,8	3,000	421.6	6736.8
1987	562,7	1015,2	3145,9	321,7	1316,6	3,187	429.6	6868.4
1988	569,6	1002,3	2775,2	339,1	1380,9	3,563	438.5	6581.5
1989	590,2	925,5	2642,1	349,0	1040,4	3,563	398.8	6016.2
1990	762,3	947,7	2667,5	335,9	1311,5	3,187	413.2	6509.8
1991	788,6	1340,5	2988,3	513,2			433,4	
1992	841,8	1301,0	2830,3	546,7			350,1	
1993	866,2	1288,7	2855,9	600,3			322,1	
1994	849,9	1297,6	2648,6	639,0			294,7	
1995	939,6	1642,8	3270,2	680,5			339,8	
1996		1783,2	3279,6	643,0			305,6	
1997		1851,7	3364,1	555,1			231,1	

Fonte: Hoffmann et. al., 1994.

(*) Coeficientes: conversão para tep FRURE-CT/UFSM.

Apêndice 5.

FATORES DE CONVERSÃO DE DIVERSOS ENERGÉTICOS PARA TONELADA EQUIVALENTE DE PETRÓLEO

$$1 \text{ tep} = 10,8 \times 10^6 \text{ kcal}$$

ENERGÉTICO	Unidade em que é medido o energético	Poder calorífico superior PCS (kcal / u.m.)	Fator de conversão (multiplique)
Energia elétrica (direta) ¹	MWh	$0,86 \times 10^3$	0,080
Energia elétrica (térmica) ²	MWh	-	0,222
Gasolina ³	m ³	$7,75 \times 10^6$	0,718
Óleo Diesel ($d_{20}=0,852$)	m ³	$9,16 \times 10^6$	0,848
Óleo combustível médio	T	$10,3 \times 10^6$	0,954
Gás Liquefeito de Petróleo	T	$11,76 \times 10^6$	1,090
Carvão mineral (média)	T	5×10^6	0,463
Lenha ⁴	St	$1,21 \times 10^6$	0,112
Casca de arroz	T	$3,3 \times 10^6$	0,305
Carvão vegetal	T	$6,8 \times 10^6$	0,630
Álcool hidratado ⁵	m ³	$5,38 \times 10^6$	0,497

¹ Degradado em calor por efeito Joule.

² Por geração térmica com carvão, considerados os rendimentos.

³ Composição média estimada de 79 % gasolina e 21 % álcool anidro.

⁴ PCI = $4590 - 51,9 H$ [kcal/kg] onde H = umidade (dependendo ainda da qualidade).

Em média, 1 st = 400 kg.

⁵ Tomado como 96 °GL, isto é, 96 % em volume de álcool etílico.

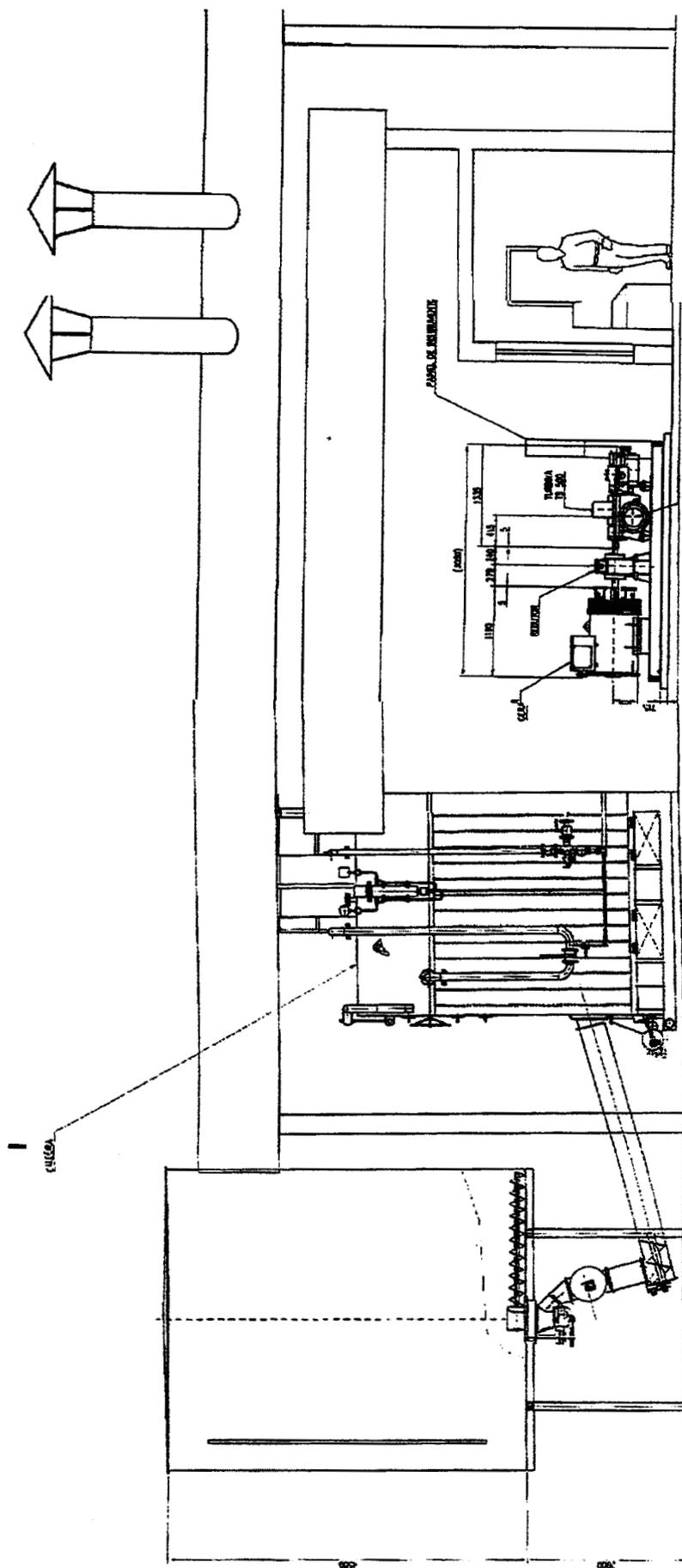
Fonte:

1- Ministério das Minas e Energia - Balanço Energético Nacional - 1992.

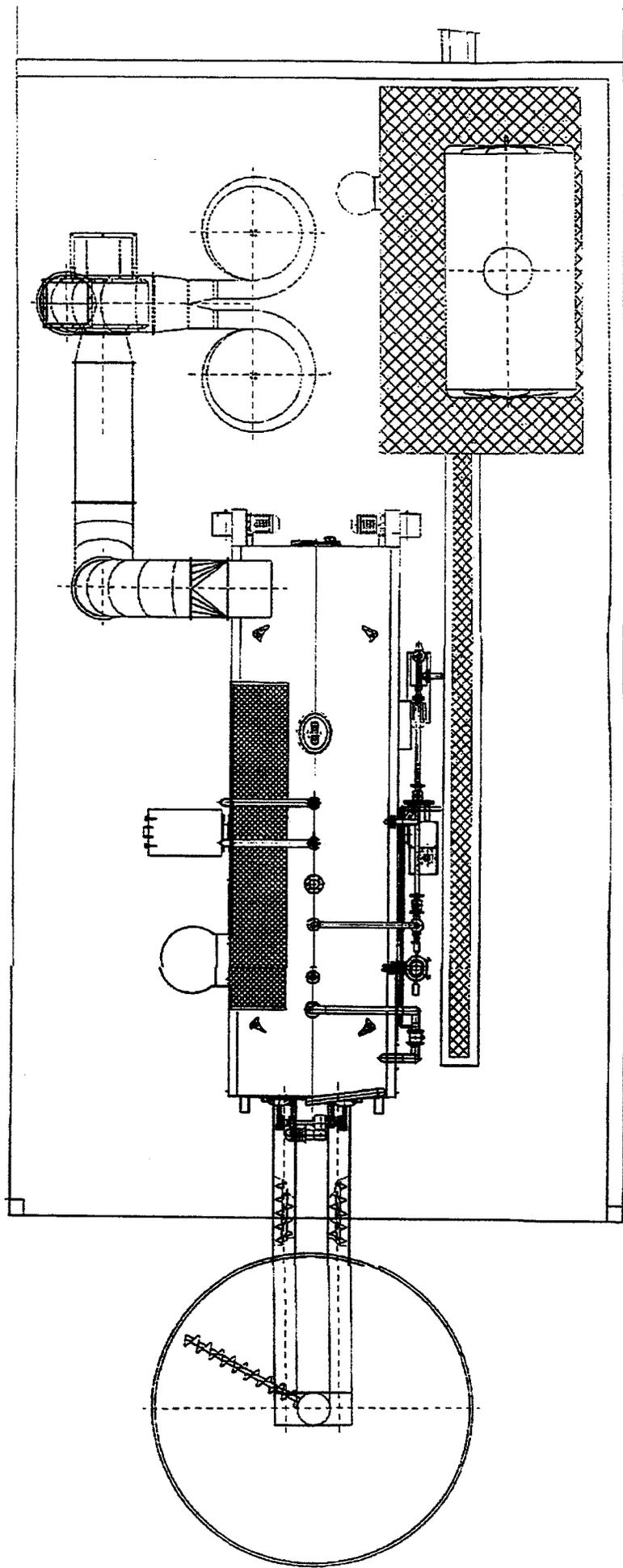
2- Acioli, José de Lima. Fontes de Energia. UnB editora, Brasília, 1994.

3- Curso FRURE / CT / DTPI. Apostila, 1991.

Apêndice 6



Vista frontal da planta de uma pequena termoelétrica



Vista superior da planta de uma pequena termoeétrica

Apêndice 7.

CONDIÇÕES DE FINANCIAMENTO

RECURSOS DO BNDES

(para PCH \leq 10 MW e PCT \leq 10 MW)

- Encargos Financeiros: TJLP + 0,5% aa.
+ “Del Credere” do
Agente Financeiro de 3% aa.
- Carência: até 3 anos
- Amortização: até 10 anos
- Participação: até 80%, inclusive para operação no âmbito do
 - PNC (Programa Nordeste Competitivo),
 - PAI (Programa Amazônia Integrada) e
 - RECONVERSUL (Programa para alguns municípios do sul do RS).
- Habilitados: investidor privado
- Abrangência: FINAME ESPECIAL - dispensa a consulta prévia para aquisição de máquinas, equipamentos e conjuntos e sistemas industriais.
BNDES AUTOMÁTICO - demais investimentos de acordo com a sistemática operacional vigente.

Anexos.

Muito embora possa ser repetitivo, é importante para a consistência do trabalho uma revisão abrangente, ainda que rápida, da energia e da biomassa, suas interfaces com a matéria, meio ambiente e a sociedade que dela dispõe, transforma e utiliza, bem como dos conceitos da termodinâmica de engenharia que são, explícita ou implicitamente, utilizados.

Também as principais tecnologias aplicáveis à escala em questão e suas diversas nuances técnicas são amplamente revistas, acompanhadas de discussão dos conceitos econômicos aplicáveis à engenharia, dos fundamentos da técnica de geo-referenciamento e dos diversos mecanismos que envolvem o processo decisório, os quais se encontram inseridos na hierarquização de alternativas de projeto, tudo objetivando melhor embasar o caminho metodológico escolhido.

I. Energia e suas implicações.

A vasta bibliografia existente mostra, até onde se conhece, as relações entre energia, matéria e meio ambiente. Já de muito discutidos são os diversos ciclos (da água, do carbono, do oxigênio, do nitrogênio e outros). O uso de materiais (do solo, da água, do ar e de minerais) passa por fase de melhoria do gerenciamento. As cadeias tróficas, englobando plantas, animais, protistas e minerais, e suas interferências (ativas e passivas) tentam expor a intrincada relação da vida planetária. E, em todos, é possível observar-se a presença marcante da energia.

Originalmente o termo energia (do grego $\epsilon\nu\rho\epsilon\gamma\omicron\nu$) significa “força interna ou do interior”, e sabe-se que é o “elemento” que liga as partículas, os átomos e as moléculas para formar toda a matéria conhecida. As unidades mais comuns para quantificar a energia são o Joule (J), a Caloria (cal) e o Watt hora (Wh).

Desde que Einstein formulou sua famosa relação relativística, é possível estabelecer uma relação formal entre massa e energia. Assim sendo, um quilo de matéria contém 25 TWh de energia (potencialmente $1.(3 \times 10^8)^2 / 3600 = 25.10^{12}$ Wh).

Kaehler, 1993, apresenta uma inovadora classificação das formas de existência e disponibilização da energia, baseada na inter-relação entre esta e a massa, conforme apresenta o quadro da Figura I.1.

Matéria	Energia		Local de ocorrência	
	Associada à	Forma		
Água	Massa	Potencial	Rios e lagos	
		Cinética	Marés	
			Ondas	
		Térmica	Oceanos	
		Química	Subsolo	
Ar	Massa	Cinética	Atmosfera	
		Térmica	Atmosfera	
		Química	Atmosfera	
Terra (planeta)	Massa	Térmica	Subsolo	
		Química	Subsolo	
		Magnética	Superfície	
		Gravitacional	Espaço	
Biomassa	Petróleo	Molécula	Química	Subsolo
	Gás	Molécula	Química	Subsolo
	Carvão	Molécula	Química	Subsolo
	Fresca	Molécula	Química	Solo e água
Urânio	Atômica	Radioativa	Subsolo	
Sol	Atômica	Radioativa	Biosfera	

Figura I.1 – Matéria, energia e local de ocorrência.

Fonte: Kaehler (1993).

Segundo tal proposta, é possível classificar a energia associada à matéria em três casos:

- 1- a que está associada à massa e que pode ser utilizada sem afetar a estrutura da matéria, como a térmica, a magnética e a mecânica;

- 2- a que está associada à estrutura molecular e que promove transformações físico-químicas na estrutura da matéria em sua utilização, como a energia dos processos fisiológico, a energia química de hidrocarbonetos e de minerais em geral; e
- 3- a que está associada à estruturação atômica e que transforma profundamente a matéria, mudando os elementos que a constituem, como nos processos de fissão e fusão nucleares.

Esse panorama expõe a amplitude do espectro de interferência que a mobilização do recurso energético é capaz de apresentar, não sendo temeroso afirmar que mais de 2/3 dos problemas de poluição ambiental estão direta e indiretamente ligados ao uso de energia e ao esforço em produzi-la, especialmente pelas perdas associadas aos processos.

I.1. As fontes e as transformações energéticas.

Costuma-se distinguir as fontes primárias de energia em duas categorias: as renováveis e as não renováveis - pode-se também dividir conforme a fonte de origem, em solar e não solar. Aquele critério baseia-se na durabilidade da matéria que lhes dá origem, considerado um horizonte temporal específico. Assim, tem-se o seguinte quadro de fontes:

Renováveis	Solares	Várias formas: biomassa; hídrica; eólica; solar direta; solar fotovoltaica; calor de massas de água (OTEC)*; ondas marítimas.
	Não solares	Mecânica: marés. Calor: geotérmica. Processos nucleares por fusão.
Não renováveis	Solares	Gasosa: gás natural.
		Líquida: petróleo cru.
		Sólida: petróleo pesado; areia betuminosa; xisto; série lignocelulósica (turfa, linhito, hulha ou carvão e antracito).
Não solares	Combustíveis nucleares.	

*Ocean Thermal Energy Conversion.

Figura I.2 - Quadro das principais fontes de energia.

Tais fontes de energia são utilizadas cotidianamente, desde iluminação, transporte, conforto térmico, comunicação, força motriz e outros, até na agregação de energia a materiais em seu processamento industrial. Todos, porém, exigem que a “energia bruta” presente, passe por transformações que a disponibilizem sob forma de “energia útil”.

Esse processo segue uma sistemática do tipo [Martin, 1992]:

“Energia primária → Energia secundária → Energia final → Energia útil”

em que a energia em seu estágio primário, tal como ocorre na natureza – petróleo, urânio, floresta, queda d’água, etc – pode ser aferida quantitativamente em termos de “fluxos” e de “estoques”. Este último mais aplicado às fontes não renováveis, como já citado, enquanto que as renováveis, na maioria dependentes do sol, podem ser medidas em termos de fluxos, uma vez que, após serem consumidas, são repostas pela interação do sol ou da fonte de origem com a matéria envolvida.

Chamam-se de “energéticos” as formas secundárias de energia, tais como: eletricidade, gasolina, lenha, óleo diesel, carvão extraído, óleo combustível, gás e querosene e que resultam da transformação parcial do recurso anterior, por meio físico, químico ou bioquímico. A forma como se apresenta a energia final depende do tipo de energético que lhe deu origem – um tanque de óleo, um botijão de gás, uma linha de distribuição ou uma tomada de força - não passando mais por transformações, apenas modificações técnicas e comerciais. E a forma útil, que corresponde à energia efetivamente utilizada, aparece geralmente como calor, frio, força motriz e iluminação, e combinações destes.

Há muitas perdas em todos os passos pelos quais a energia passa desde a forma primária até a útil, mas pelo princípio da conservação de energia – primeira lei termodinâmica, o montante é conservado, ou seja, a energia é indestrutível! Em cada transformação se perde um pouco da disponibilidade para uso útil e, finalmente, quando se atinge a forma de calor cedido ao ambiente, a perda de disponibilidade foi completa. Esta é a consequência do princípio de qualidade da energia – segunda lei termodinâmica – ou da degradação da energia.

Pelas avaliações do *Institut d’Économie et de Politique de l’Énergie* (IEPE), tais perdas são, em média, de 63 % da energia primária, sendo que 54 % destas ocorrem entre a fase final e útil, ou seja, quando a energia é direcionada para realização de determinada tarefa, como dito acima. Essas relações adquirem sentido quando são analisadas no longo prazo: Putman em 1950 [citado por Martin, op. cit.] estimou que o rendimento global de transformação (relação *input/output*) passara de 10 %, em 1860, a 22 % e que poderia atingir 40 % no século XXI. O

fato também indica claramente que a racionalidade ou não do uso da energia depende sobretudo do controle pessoal que o consumidor possa exercer.

I.2. A relação econômica da energia.

"Os fluxos energéticos não são contabilizados em valores monetários, mas em unidades físicas, o que é excepcional na análise de um setor econômico" [Martin, op. cit.], em que cada fonte é contabilizada pelo calor que pode, potencialmente, liberar e expresso em toneladas equivalente de petróleo (tep), após o emprego de coeficientes técnicos de conversão (ver Apêndice 5). Grandes quantidades de energia "livre", como iluminação natural, síntese clorofílica e outras biológicas, são deixadas de fora nas quantificações econômicas.

A contabilização da energia é feita sob diversas formas: o levantamento do total anual de energia em produção primária; o consumo primário; o consumo secundário; e o consumo útil, todos em divisão por fontes de recursos naturais. Tal balanço constitui o que se chama de "matriz energética". A título de exemplo, apresenta-se a seguir a matriz mundial, para dois anos distintos (Tabela I.1), e um comparativo desta com a nacional, a estadual e a de um pequeno município (Tabela I.2), em termos de fontes renováveis e não, onde aparece implicitamente a diferença existente entre países desenvolvidos, do hemisfério norte, e em desenvolvimento, do hemisfério sul.

Fonte	1970		1992	
	Uso (exajoule)	Participação (%)	Uso (exajoule)	Participação (%)
Petróleo ¹	92	36	123	31
Carvão	65	26	91	23
Gás Natural ¹	42	17	82	21
Biomassa ²	39	15	50	13
Energia Hidráulica ³	13	5	24	6
Nuclear ³	1	0,3	22	6
Geotérmica, Eólica, e Solar ³	<0,1	<0,05	0,4	0,1
Total⁴	252	100	392	100

¹Gás natural inclui líquidos associados ao mesmo e não ao petróleo. ²Baseado no poder calorífico superior.

³Convertido na base de uma moderna usina térmica, com rendimento de 33%. ⁴Totais estão arredondados.

Tabela I.1 – Uso mundial de energia por fonte primária, 1970 e 1992.

Fonte: Flavin, citado por Moreira et al., 1996.

Energia (%)	Mundo	Brasil	RGS	D ^a Francisca
Renovável	20	60,7	47	62,7
Não-renovável	80	39,3	53	37,3

Tabela I.2 - Matrizes percentuais de energia mundial, brasileira, estadual e de um pequeno município, em termos de fontes renováveis e não-renováveis.

Fonte: Bristoti, 1994; Balanço Energético Nacional (1992); e Hoffmann, 1995.

A exploração de fontes primárias apresenta uma relação econômica através de seus diferentes custos de geração, que são apresentados na tabela a seguir, com dados válidos para a situação nacional, com emprego de tecnologias próprias ou importadas a preço de mercado. No caso de fontes não convencionais ou em desenvolvimento, especialmente as renováveis ou regenerativas menos conhecidas, nas quais se enquadram os casos em análise, existe uma forte expectativa de queda nos custos de geração, a partir de uma maior demanda tecnológica.

Tipo de geração	Potencial (GW) – inventariado + estimado	Custo de geração (US\$/MWh)
Hidrelétrica	179	até 70
Biomassa	27,7	38 a 78
Eólica	28,9	39 a 84
Carvão nacional	17,5	50 a 65
Gás natural nacional	4,8	38
Carvão importado		49
Gás natural importado		47

Tabela I.3 - Potencial das fontes primárias exploradas no Brasil e seus custos de geração.

Fonte: Informações do Plano 2015 do Setor Elétrico, citado por Moreira et al., 1996.

Outro parâmetro econômico aplicado à energia, segundo Moreira et al., 1996, é o "coeficiente de intensidade energética", que representa a quantidade de energia elétrica necessária para a produção de uma unidade do Produto Interno Bruto (PIB, expresso em US\$). Este coeficiente é normalmente correlacionado com o uso racional da energia pela população.

"Atualmente o coeficiente de intensidade energética (kWh/US\$ do PIB) brasileiro se situa na faixa de 0,64, enquanto o do Japão é de 0,27, o da Alemanha é de 0,32 e o dos EUA é de 0,53. Esta comparação demonstra que existe uma grande oportunidade no Brasil para tecnologias

que aumentem a eficiência energética, tais como: iluminação, motores, redução de perdas, etc. e, mais do que isso, para reexaminar o perfil industrial" [Moreira et al., op. cit.].

Ano / Período	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Mercado de energia (TWh)	210,3	273,7	360,7	473,2	589,7	731,4
Crescimento no período (%)		5,4	5,7	5,6	4,5	4,4
Potencial de conservação (TWh)		4,6	17,8	44,2	70,8	105,3

Tabela I.4 - Previsão de crescimento do mercado nacional de energia elétrica.
Fonte: Informações do Plano 2015 do Setor Elétrico, citado por Moreira et al., 1996.

No aspecto de mercado, o consumo de energia elétrica sempre tem apresentado um crescimento superior ao populacional e ao da própria economia. A Tabela I.4 apresenta os números que resumem as tendências desde 1990 até o ano 2015, bem como destacam o importante papel que a conservação tem no cômputo geral de atendimento desse mercado.

I.3. O uso da energia e sua importância social.

É oportuno observar que a configuração dos processos de transformação, desde a energia primária até a forma final, depende do modelo de sociedade vigente e as possíveis modificações fogem ao controle do indivíduo. Mudanças no modelo só ocorrem mediante uma modificação do estatus social, ou seja, com uma nova proposta social. Ao contrário, o passo de energia final para útil é, como dito no item anterior, de controle individual, principalmente pelo fato de serem desembolsadas diretamente pelo indivíduo.

Modernamente procura-se orientar o uso da energia em função do consumo final, objetivando a minimização das perdas. Assim, quando a necessidade é calor, deve-se empregar fontes primárias que liberam energia nesta forma; quando necessitar-se de energia elétrica ou mecânica, recorre-se a fontes primárias que estejam na forma mecânica. Entretanto isso nem sempre é possível ou acontece, especialmente devido serem maioria as formas primárias que liberam energia exclusivamente na forma de calor. A Figura I.3 apresenta o quadro resumo das necessidades energéticas demandadas pela sociedade atual.

Necessidade	Característica	Setor econômico	Processo ou uso		
Térmica	Alta temperatura	Indústria	Fundição, combustão, siderurgia, etc.	cozimento, soldagem,	
	Média temperatura	Indústria	Esterilização, cozimento, desidratação, etc.	secagem, galvanização,	
		Serviços e terciário	Cozimento, atividades de lavanderia, etc.	secagem,	
	Baixa	Indústria e agricultura	Secagem, geração de vapor, etc.	fermentação, calefação,	
		Serviços e terciário	Calefação, resfriamento, etc.	arrefecimento, climatização,	
Matérias-primas	Coadjuvante de fabricação	Indústria pesada	Eletrólise, eletro-metalurgia, redução do ferro, etc.		
	Química de base	Indústria química	Craqueamento, destilação, etc.		
Força motriz	Tração	Indústria, serviços, terciário e agricultura	Móvel	Rodo, ferro, hidro e aerovia.	
Iluminação	Natural e artificial		Fixo	Motores elétricos, eletromagnéticos, etc.	
			Público e privado	Iluminação.	

Figura I.3 – Quadro das atuais necessidades energéticas.

Fonte: Kaehler, 1993.

A ninguém deve passar despercebido os montantes de energia que acompanham os materiais, produtos e serviços gerados e consumidos diariamente. O atual modelo civilizatório só foi atingido, juntamente com todo progresso científico e tecnológico, mediante o emprego de

fontes de energia cada vez mais intensivas e com densidade energética crescente, com crescentes potências disponíveis – isto é, energia por unidade de tempo.

A evolução do consumo de energia pelo homem passou dos 2 200 kcal, exclusivos da alimentação na época pré-histórica, para cerca de 1 000 000 de kcal ao dia, isto para satisfazer as necessidades do "homem tecnológico" norte-americano.

Nesse caminho em busca do conforto, o homem das cavernas, que contava apenas com a energia de seus músculos e um pouco de fogo para aquecer-se e espantar as feras, progrediu. Inicialmente dispondo da força dos animais para tração mecânica, o que aumentou em cerca de quatro vezes a potência disponível, possibilitando a passagem do estado nômade para o sedentário, com o surgimento da agricultura e, com ela, as grandes cidades – centralização.

Mas a limitação tecnológica no domínio das fontes moldou uma civilização tão somente calcada na abundância de energia bioquímica, tanto de plantas quanto de animais, e passou a utilizar-se da madeira (notadamente a romana), de cavalos, bois e dos semelhantes, dando início à escravidão que vigeu por milênios. Para exemplificar, Atenas no ano 700 AC tinha cerca de 500 mil habitantes e era o berço da democracia; no entanto somente 20 % das pessoas que ali viviam podiam ser democratas, os demais eram escravos que mantinham o suprimento energético daqueles.

Quando da queda do Império Romano (410 DC), fortemente causada pela crise de abastecimento energético às cidades, deu-se início a 1400 anos de servidão sob regime feudal. O aumento de consumo promovido pelo comércio surgido a partir das cruzadas (1000-1200) ocasionou mudanças na sociedade, que levaram ao Renascimento e culminaram com a Revolução Francesa e implantação dos Estados Nacionais.

A devastação florestal foi crítica na Europa do século XVIII e uma série de novas tecnologias criadas por Watt, Fulton e outros, e adaptações da inventiva geração renascentista de Leonardo Da Vinci, possibilitou a exploração de jazidas carboníferas, no que se chamou a “era do carvão”. Com as primeiras máquinas a vapor, o homem pode contar com potências de 10 a 30 kW, quando a média até então era de ½ kW para cavalos, 1,5 kW para rodas-d’água e 20 a 25 kW para os moinhos-de-vento, o que, de fato, deu condições para dois marcantes acontecimentos: a revolução industrial – com a segunda centralização – e a luta contra a escravidão humana.

O século seguinte foi chamado de “século da energia”. Os progressos na identificação de fontes e de equipamentos para transformação destas em energéticos foram rápidos e incluem o tão útil, valioso e versátil quanto poluidor e esgotável petróleo. Seu primeiro uso como iluminante

foi transferido para os motores à explosão e encerrou os anos mil e oitocentos quase despercebido.

As duas grande guerras do século XX exigiram o máximo da tecnologia e a ciência deu um grande salto. Baseada no intensivo uso da energia, a humanidade promoveu uma grande revolução, que não foi democrática e nem conseguiu a tão desejada liberdade do homem, mas deixa um legado jamais antes atingido, embora fique muita sujeira e preocupação, especialmente com relação às reservas fósseis de energia. Tal conjunto, extremamente positivo, ainda que controverso, não dispensa o surgimento de “profetas do apocalipse”, a exigirem uma marcha-à-ré.

Vive-se uma época de transição. O atual modelo social está baseado num alto consumo de energia e, portanto, de geração de entropia. É tão dependente do aporte de energéticos que os colapsos se tornam evidentes e inevitáveis. “Tudo o que se pode fazer a curto prazo é minimizar os efeitos colaterais dessa transformação, mantendo as desrupções localizadas” [Bristoti, 1993].

Ao contrário do que aconteceu nos séculos passados, onde a pressão pelo fornecimento concentrado de energia induziu a centralização, uma sociedade de fato interessada na melhoria de qualidade de vida utilizar-se-á de um modelo descentralizado de médio e pequeno porte.

“Não seremos obrigados a seguir um único caminho tecnológico de grande escala e nem lutaremos desesperadamente pela sobrevivência, compelidos a empregar tecnologias marginais, não adequadas para as nossas necessidades, como acontece nos dias de hoje. Ao contrário, o pluralismo tecnológico pode criar uma sociedade que permita vários países, e dentro desses as várias comunidades, larga margem de escolha e combinações das soluções mais apropriadas”[Bristoti, op. cit.].

I.4. Sobre a energia elétrica.

I.4.1. O crescimento da demanda de energia elétrica.

Uma família de classe média consome cerca de 400 kWh de energia elétrica ao mês, que é disponibilizada pela empresa de distribuição desde um sistema interligado e centralizado de produção. Não se vivesse esta realidade, mas a de alguns séculos passados, tal quantidade de energia doméstica necessitaria de 71 homens para seu atendimento – tomando uma média de 67 kWh/ano de energia fornecida pelo trabalho humano. Sabe-se, no entanto, que os gastos com energia não se restringem a esse item, mas são muito maiores, englobando combustíveis para transporte, serviço públicos, energia embutida em produtos, alimentos e outros.

A energia elétrica, forma versátil e termodinamicamente nobre, há duzentos anos era apenas uma curiosidade científica e motivo de diversão entre os frequentadores das cortes de então. Somente na última metade do século passado ela foi comercialmente gerada e aproveitada, sendo atualmente a forma final que mais cresce na participação da matriz de consumo energético, apresentando, como já mencionado, índices superiores ao do próprio crescimento econômico (ver Tabela I.4). É apontada como a forma de energia do século 21, prevendo-se que 50 % da energia primária mundial seja nela transformada até o ano 2020.

I.4.2. Políticas alternativas de geração.

No entanto, apesar de toda a crescente demanda, só recentemente o modelo centralizado de geração em grandes unidades, e também de distribuição, vem sendo substituído pelo de unidades menores, territorialmente disseminadas e atendendo, inclusive, mercados cativos e nichos específicos e que, no caso da termoeletricidade, apresentam um rendimento termodinâmico mais satisfatório, devido ao emprego de tecnologias e associações impraticáveis em megaempreendimentos.

No Brasil, e também no Rio Grande do Sul por conta do sistema interligado, a base de geração elétrica é de fonte primária hídrica. Adicione-se o fato de, até bem pouco tempo, a produção de energia elétrica por empresas particulares, indivíduos e pequenos empreendedores, ser virtualmente impossível e pode-se ter uma face do preocupante quadro vigente no setor.

Hoje, mesmo com a situação de abastecimento agravada, está criada e figura do produtor independente, abrindo o mercado de geração e distribuição de energia elétrica, especialmente a partir da Lei 9.074, de 07/07/1995 e sua regulamentação pelo Decreto 2.003, de 10/09/1996, facilitando a exploração de todo o tipo de fonte primária, permitindo a quem produz energia elétrica, negociar a entrega em pontos distantes da geração, através do SINTREL (Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica) e da portaria 459 do DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), de 10 de novembro de 1997.

Essa possibilidade de inserção de energia na rede em um ponto e uso em outro, com sistema de crédito de consumo e pagamento de pequena taxa à concessionária gerenciadora da rede de distribuição, aliada ao aumento do custo marginal da hidroeletricidade, tem atraído, em todo o mundo, a atenção dos especialistas e investidores para a termoeletricidade, em especial para os casos em que o material a ser queimado apresenta custo zero ou é um ônus ambiental, isto é, constitui-se em resíduo.

A atual conjuntura aponta para o estabelecimento de políticas embasadas em estudos técnico-econômicos exaustivos e sistêmicos, que permitam o planejamento e a tomada de decisão a respeito do uso dos recursos, tanto naturais quanto financeiros, para a geração de energia elétrica. Em termos específicos da biomassa e dos resíduos gerados nas fases de sua produção, beneficiamento, transformação e pós-utilização, é elucidativo verificar-se o programa norte-americano de geração de potência a partir de biomassa, que prevê a expansão dos atuais 7 GW instalados e conectados à rede de distribuição, para 30-35 GW no ano 2020, gerando 150-200 bilhões de kWh e empregando 150 mil pessoas - a maioria em áreas rurais - dando ênfase aos resíduos e a culturas duais, isto é, que produzam energia elétrica e coprodutos, como: alimentos, fibras e combustíveis líquidos [USA/DOE 1996]. Trata-se de uma complementação, ou expansão, do moderno conceito de *bio factoring*.

Nesse programa, ficam evidenciados dois pontos cruciais para o estabelecimento de políticas de geração de energia:

- a- os fatores ambientais - os resíduos constituem-se em sério problema, agredindo ao meio ambiente onde são gerados e/ou depositados. Neste sentido, sua utilização daria uma solução quanto ao destino, auxiliando no processo de conservação ambiental, direta e indiretamente e ao mesmo tempo promovendo o crescimento econômico local. Diretamente, na medida em que diminui o volume e as conseqüências do descarte de resíduos orgânicos mediamente estáveis e indiretamente quando poupa outras fontes de serem usadas, como hidroeletricidade e combustíveis fósseis. Deve-se lembrar sempre, que o balanço de CO₂ é neutro para a biomassa;
- b- os fatores sócio-econômicos - com respeito a esta delicada questão, cujo incremento deve ser o objetivo final de qualquer desenvolvimento, a racionalização dos recursos energéticos locais ou regionais, como o aproveitamento de resíduos de biomassa, aparece como fator de promoção do desenvolvimento, da agregação de valor ao produto primário - em geral pouco valorizado - através da industrialização, da criação de postos de trabalho, de renda local e regional e toda uma gama de benefícios que estas podem trazer, como receita de impostos e outros.

Para o caso brasileiro, e gaúcho, a implementação de semelhante ação traria ainda, como benefício extra, o aumento da base térmica que, sendo baixa atualmente, põe em risco o sistema elétrico como um todo. E tudo isso mediante o uso de combustíveis renováveis, disseminados em todo o território, possibilitando a efetivação de estratégias de desenvolvimento regionais e a racionalização de recursos, na maioria, já existentes.

I.4.3. A geração com biomassa.

O fluxograma (ver exemplo de planta no Apêndice 6) para a produção de eletricidade, desde a forma primária biomassa, inicia, nos processos convencionais, com a utilização da energia química contida nas moléculas através da combustão, que é transformada em energia cinética das moléculas dos gases. Essa é repassada para a água, com produção de vapor, que por sua vez vai movimentar uma turbina, ou motor, acionando o gerador de energia elétrica.

Na transformação do calor em energia mecânica, o aproveitamento é severamente limitado pelo princípio natural, a Segunda Lei da Termodinâmica, que será analisado mais adiante. Esse princípio obriga o emprego de duas fontes de calor para que se possa realizar o processo desejado: a fonte quente – vapor que transfere parte de sua energia para o eixo que aciona o gerador elétrico – e fonte fria – geralmente o meio ambiente, com consideráveis perdas.

II. Caracterização da biomassa como fonte energética.

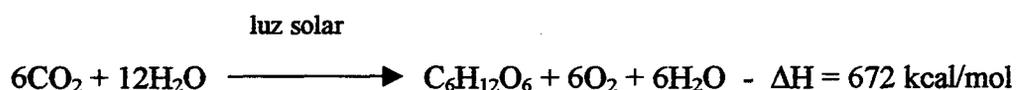
A rigor, a biomassa – termo introduzido por Eugene Adam - é constituída pelo material produzido por todos os seres vivos (animais, vegetais, fungos e protistas) em seus diferentes processos, isto é, a matéria orgânica viva, desde quando fixa energia solar nas moléculas constituintes de suas células, passando por todas as etapas da cadeia alimentar, ou trófica [Bristoti e Silva, 1993; Johansson et al., 1993; Wereko-Brobby e Hagen, 1996; e outros].

Ocorre em formações naturais e, portanto, possui composição e morfologia muito variada em função das condições locais ou ambientais, onde é produzida, sendo basicamente composta de Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio.

O amplo espectro de constituição inclui todas as formas naturais e os resíduos de atividades humanas e animais no processamento dessas. Desse conjunto, é possível através de expedientes diversos obter-se energia, como, por exemplo, na combustão de: material lignocelulósico de árvores; álcool obtido por fermentação de açúcares de plantas e gás metano produzido pela digestão anaeróbica de resíduos. A biomassa constitui, portanto, parte dos recursos energéticos que se caracterizam como fluxo de energia, pois pode ter seu ciclo continuado ou renovado.

Para simplificação do emprego da terminologia, no presente estudo, o termo biomassa ficará reservado para denominar-se as plantas, ou vegetais e seus resíduos agroindustriais, isto é, a fitomassa, a não ser que haja explícita determinação em contrário.

A biomassa é resultante do processo de fotossíntese, que envolve a absorção da luz solar pela clorofila nos cloroplastos de células vivas de plantas verdes e reações químicas entre gases atmosféricos e água do solo, ou substrato, com a participação de vários elementos catalisadores, resumida na equação



sendo uma reação endoergônica de oxi-redução, isto é, há diminuição de entropia na redução do gás carbônico a açúcar e na oxidação da água a oxigênio.

Tais sistemas constituem uma “exceção” termodinâmica e contribuem para o equilíbrio global da biosfera. A energia consumida vem da faixa visível do espectro (0,4 a 0,7 μm), sendo

necessários 8 mol-quanta de luz visível, contendo 320 kcal de energia, para reduzir cada molécula de CO₂, para a produção de 112 kcal de glicose - molécula orgânica básica na constituição de amido, celulose e outros açúcares, cujo poder calorífico é da ordem de 3600 kcal/kg [Carvalho, 1988; Johansson, op. cit.].

Embora muito comum na natureza toda, o processo fotossintético não se apresenta com eficiência elevada, pelo contrário, como se pode concluir através da seguinte seqüência de passos teóricos [Johansson, op. cit.]:

- a faixa de radiação ativa para fins de fotossíntese (PAR), corresponde a 50 % da radiação solar total incidente sobre a superfície da Terra;
- 80% da PAR é capturada pelos compostos ativos, o restante é perdido por reflexão, transmissão e absorção em outros compostos não fotossintetizadores;
- do conteúdo energético contido nos fótons (máximo possível de $112/320 = 0,35$), 28% são efetivamente transformados e glicose; e
- finalmente, cerca de 40% da energia estocada pela fotossíntese é consumida durante o processo de respiração, isto é, no metabolismo das células.

Desse modo, a eficiência global pode ser, no máximo

$$100 \times 0,50 \times 0,80 \times 0,28 \times 0,60 = 6,7 \%$$

Tal valor só pode ser atingido em condições ideais para as assim chamadas plantas C₄, cujo primeiro produto da cadeia de fotossíntese é um açúcar de 4 carbonos. São exemplos o sorgo, a cana-de-açúcar e o milho, as quais crescem bem em climas relativamente quentes.

Já a maioria das plantas – cerca de 95% da biomassa – são do tipo C₃ (têm por primeiro produto um açúcar de 3 carbonos). Entre esses encontram-se o arroz, o soja, o trigo e as árvores em geral, que crescem bem em climas mais temperados, apresentando uma diminuição de 30% pela concorrência da foto-respiração (reações que competem com a fotossíntese pelo uso da luz) e outros 30% pelo efeito de saturação de luz, que ocorre em faixa de intensidade luminosa mais baixa que para as C₄. Assim, para tais casos, a eficiência cai para algo em torno de 3,3%.

Considerando o poder calorífico e a radiação incidente em média anual, é possível estimar-se a capacidade máxima de produção agrícola, em toneladas de matéria seca por hectare ano, por exemplo, para qualquer região e para os dois tipos de biomassa, ou seja, C₃ e C₄. Variações de temperatura, insuficiência de água nas raízes, desequilíbrio de nutrientes, intensa nebulosidade, pestes e doenças tendem a diminuir drasticamente os já minguados rendimentos.

II.1. Formas de ocorrência e usos.

A Figura II.1 abaixo resume as principais formas energéticas e não energéticas de ocorrência da biomassa vegetal e seus usos, excluídos os excrementos.

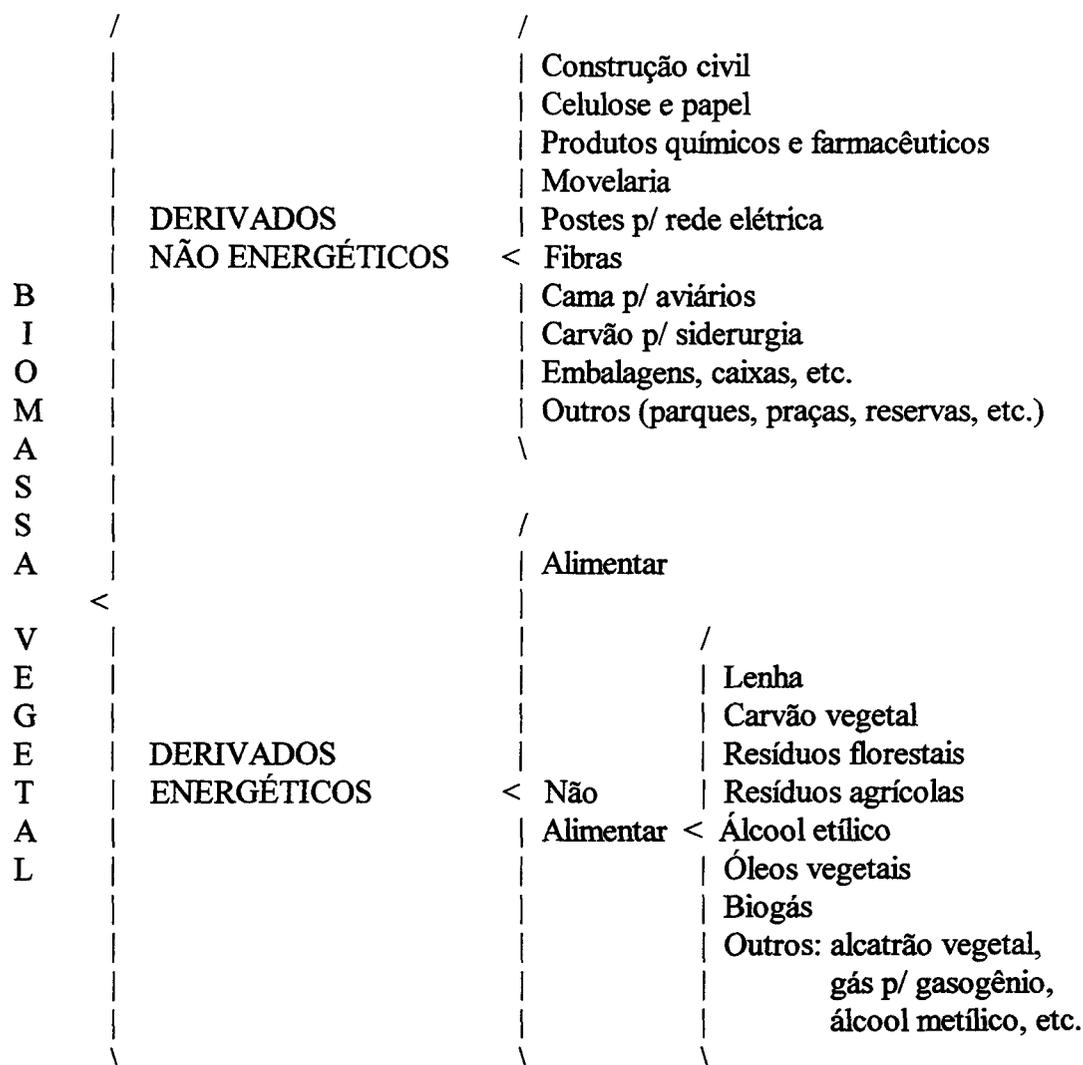


Figura II.1 - Utilização da biomassa vegetal.

Fonte: Bristoti e Silva, 1993.

Classifica-se a biomassa em três grandes categorias: lenhoso, não lenhoso e residual, inclusive de animais. Mais amplamente, essas dão origem a sete formas de ocorrência [Werekobroby, op. cit.]:

- a- florestas naturais e plantadas (lenhoso), para exploração de madeira, celulose, carvão e outros;

- b- plantações agroindustriais (lenhoso), para produção de borracha, óleo, cera, chá e outras matérias-primas;
- c- árvores não em matas (lenhoso), tais como parques, bosques, zonas urbanas e de embelezamento;
- d- cultural-agrícolas (não lenhoso), plantadas para produção de alimentos, fibras, forragem e energia;
- e- resíduos de colheitas (não lenhoso e residual), que inclui todo tipo de resíduo produzido no campo durante a colheita, como folhas, galhos, palha e outros;
- f- resíduos de processo (não lenhoso), englobando os resíduos de processamento industrial da matéria-prima, como serragem, cavacos, cascas, bagaço, etc; e
- g- resíduo animal (residual), resultante da criação intensiva e extensiva de animais.

Como já mencionado, no emprego corriqueiro, a biomassa é sinônimo de fitomassa, ou seja, dos organismos clorofilados ou verdes, especialmente os de habitat terrestre, que captam a energia do Sol pelo processo de fotossíntese; e a acumulação de energia se dá por vários processos intracelulares que sintetizam os três principais tipos de compostos da matéria orgânica: glicídios, protídios e lipídios (ver Tabela II.1).

Composto	Biomassa Milho	Resíduo agrícola	Madeira dura	Herbáceas
Celulose	3	38	50	45
Hemicelulose	<6	32	23	30
Lignina	<2	17	22	15
Amido	72	-	-	-
Proteína	10	-	-	-
Óleo	10	-	-	-
Outros (cinzas, etc)	<2	13	5	10

Tabela II.1 – Composição percentual de algumas biomassas.

Fonte: Adaptado de Johansson et al., 1993.

Essas “reservas” energéticas formam a base da cadeia alimentar de todos os animais, incluindo o homem, de modo que o principal uso energético da biomassa continua sendo a alimentação, sendo comum computar-se nesta conta os resíduos de criação animal. Estima-se que

a geração anual de “biomassa total” em terra esteja na faixa de 220 a 250 Gt de matéria seca e, nos oceanos, entre 88 e 110 Gt.

II.2. Aproveitamento energético.

A biomassa responde por cerca de 15% do uso de energia mundial, ou 55 exajoule (1EJ=10¹⁸J) por ano, subindo para 38% quando se analisa apenas os países em desenvolvimento. “Isso quer dizer que quase metade da população mundial se encontra virtualmente na dependência da biomassa para preparar os alimentos, aquecer-se e iluminar suas moradias” [Wereko-Brobby, op. cit.].

País	Uso de Biomassa (petajoule)	Participação no consumo total de energia (%)
Países desenvolvidos		
Inglaterra	46	<1
Estados Unidos	3482	4
Dinamarca	84	9
Países em desenvolvimento		
Tailândia	206	20
Brasil	1604	25
China	9287	28
Costa Rica	31	32
Zimbabwe	143	40
Índia	8543	56
Indonésia	2655	65
Tanzânia	925	97

Tabela II.2- Uso energético de biomassa em alguns países, 1987.

Fonte: Flavin, citado por Moreira et al., 1996.

Mas a biomassa não é mais apenas uma fonte energética de subdesenvolvidos e populações rurais. Atualmente está presente em processos industriais e em programas energéticos, como o álcool em automóveis, e esta participação aumenta na medida em que novas

tecnologias entram em escala para transformar a natureza da matéria-prima, e/ou alcançam eficiência para concorrer com tradicionais combustíveis, mormente derivados de petróleo.

A Tabela II.2 mostra o uso energético de biomassa em alguns países, base 1987. Vê-se que, mesmo em países industrializados como EUA e Dinamarca, a biomassa energética ocupa uma importante posição relativa.

É possível escrever-se equações que traduzam o balanço de massa e energia para cada um dos compostos constituintes da biomassa [Bristoti, op. cit.], bem como são conhecidos os poderes caloríficos de grande parte das biomassas - note-se que a energia liberada pela oxidação de um kg de glicose, molécula básica do amido e da celulose, é de aproximadamente 3,2 mil kcal.

Biomassa		PCI (kcal/kg)
	20 % b. u.	3 692
Lenha	40 % b. u.	2 622
	60 % b. u.	1 553
Resíduos de serraria (médio)		2 090
Resíduos florestais (chips)		1 750
Casca de arroz (média)		3 000

Tabela II.3 - Poder calorífico inferior (PCI) de algumas biomassas.

Fonte: Compilação a partir de vários autores.

Por ser predominantemente sólida, a biomassa pode ser didaticamente comparada, em suas características, com o carvão mineral [Johansson, op. cit.]. Em base seca, seu poder calorífico superior varia em torno de 17,5 GJ, em quanto o carvão vai de 23 a 35 GJ, dependendo da classificação (lignita a betuminoso). A umidade está sempre presente na biomassa, variando em faixas bastante amplas, desde 8-20% em cascas e palha, até 90-95% em resíduos e algas, passando por 30-60% em árvores recém cortadas, contrastando com os 2-12% em carvões betuminosos (medido em base úmida).

Desse modo, a densidade de energia é bem menor na biomassa recém colhida ou produzida, indicando a necessidade de transformação da matéria-prima em um vetor energético de maior densidade (eletricidade, combustível líquido ou gasoso, e sólidos processados), bem como, por sua natureza dispersa, ter na pequena e média escala industrial, a opção mais indicada, tudo objetivando evitar-se os altos custos de transporte.

Por outro lado, suas características químicas são mais favoráveis, gerando menor quantidade de cinzas, as quais são livres de elementos tóxicos e podem ser reutilizadas como fonte de elementos minerais na própria plantação. O enxofre, um elemento potencial causador da temida chuva ácida, está presente em 0,5 a 5% nos carvões, caindo drasticamente para 0,01 a 0,1% nas diferentes biomassas. Já o NO_x depende da temperatura em que se realiza a combustão.

Outra característica da biomassa é sua excelente reatividade comparada ao carvão, tornando-a bastante atrativa e versátil para processos de fermentação, gaseificação e combustão, como se apresenta no capítulo sobre tecnologias de aproveitamento energético da biomassa. A energia contida nas ligações químicas dos constituintes da biomassa, no caso a energética não alimentar, pode ser mobilizada por processos que estão resumidos na Figura II.2, os quais visam aumentar a densidade energética e/ou viabilizar o uso da matéria-prima.

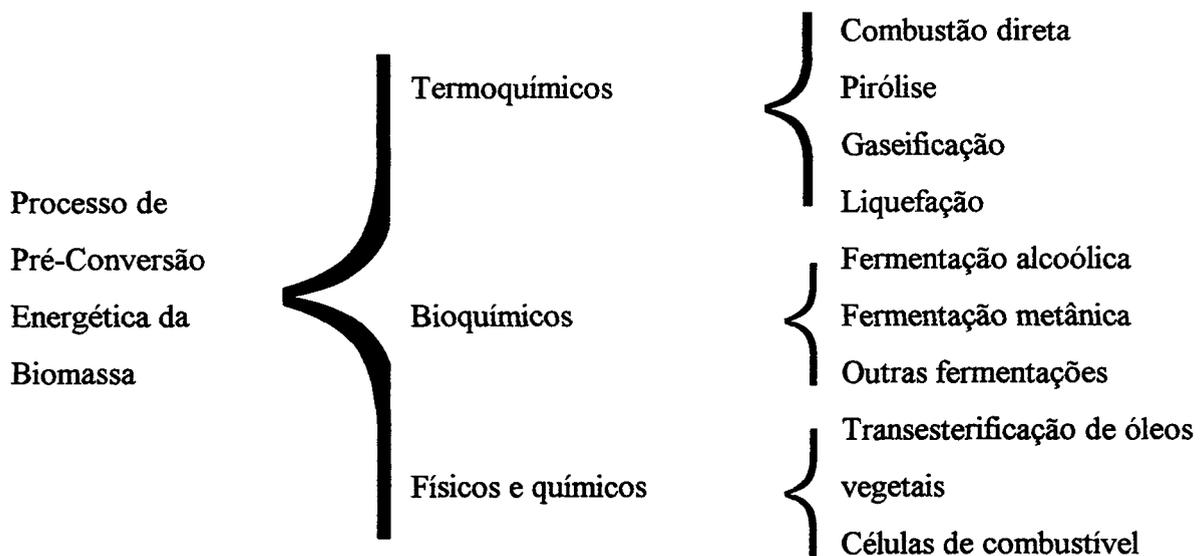


Figura II.2 - Processos de pré-conversão energética da biomassa não-alimentar.

O uso energético da biomassa tem alguns pontos favoráveis como:

- é mais uniformemente distribuída que as fontes fósseis e, mediante técnicas adequadas, pode ser produzida de modo renovável;
- sendo originária de atividade agrícola é intensiva em mão-de-obra, devendo gerar emprego e renda no meio rural (700 mil empregos no Proálcool; 66 mil empregos na geração de 6500 MW_e nos EUA [Moreira et al., 1996]), auxiliando no controle do crescimento caótico das grandes cidades, especialmente nos países em desenvolvimento. Por outro lado, há o perigo da mecanização em larga escala;

- sua grande dispersão e variedade de matérias-primas implica em uma desconcentração e disseminação tecnológicas, na busca de modernização dos vetores de transporte da energia gerada;
- é presumível que tal descentralização seja, em sua maioria, feita em pequenas e médias unidades industriais instaladas próximas à região produtora de matéria-prima, podendo gerar mais empregos e desenvolvimento em regiões de economia deprimida (que, via de regra, é a situação de regiões agrícolas);
- apresenta-se, portanto, como uma opção extra de renda para propriedades agrícolas e unidades agroindustriais; e
- se bem conduzidas, a energia gerada nas unidades de transformação de biomassa têm importante papel no equilíbrio da emissão de gases para a atmosfera, pois, de um modo geral, apresentam balanço líquido de emissão nulo.

Pode-se concluir que, se puder ser eficientemente produzida e transformada em modernos vetores energéticos, de modo renovável ou sustentável, a biomassa tende a ser a maior fonte comercial de energia no mundo do próximo século. Porém, alguns pontos fracos devem ser considerados e/ou corrigidos, como:

- baixo valor atual da biomassa energética, em especial pela falta de transformação adequada em “produtos” vendáveis, sendo quase que exclusivamente empregada no setor residencial e na geração de calor (uma exceção é o Proálcool, por exemplo);
- necessidade mundial de estabelecimento de subsídios para alavancar sua competitividade, que de *per si* não é ruim, mas tende a perpetuar-se, distorcendo os preços e provocando atrasos no desenvolvimento tecnológico;
- pouco incentivo institucional e empresarial (caso do Brasil) à pesquisa de tecnologias competitivas de transformação da biomassa, dando preferência à importação de soluções já existentes em mercados de países desenvolvidos;
- falta de políticas para se evitar o enorme desperdício de biomassa pela disposição ao solo e/ou queima de resíduos industriais e de colheita;
- possibilidade de conflitos entre produção de biomassa energética, caso essa opção venha a ser adotada em larga escala, e produção de alimentos (seria bem menor no Brasil);
- “há dúvidas quanto aos potenciais efeitos negativos do uso intensivo de plantações energéticas sobre o meio ambiente, no curto e longo prazo, tais como: nível de erosão,

disponibilidade de água, uso de pesticidas, efeitos sobre a diversidade da fauna e flora, fertilidade do solo, ocorrência de incêndios, etc” [Moreira et al., op. cit.];

- mercado extremamente desorganizado, via de regra;
- falta de gerenciamento profissional na grande maioria das propriedades agrícolas; e
- a baixa densidade de fluxo energético (medida em MW/m²) da energia solar transformada em biomassa, devido aos baixos rendimentos do processo de fotossíntese, como apresentado anteriormente.

II.3. O caso dos resíduos agroindustriais.

Sendo muito difícil manter-se o atual nível de consumo energético e todos os benefícios daí decorrentes com o emprego apenas de fontes renováveis de energia, especialmente a biomassa, torna-se imperioso o trabalho de conscientização para evitar-se os desperdícios e mau uso da energia disponível, em um processo que se conhece por uso racional de energia, o qual envolve múltiplos e complexos fatores sociais, econômicos, técnicos e culturais.

Região	Milho	Trigo	Arroz	Cana-de-açúcar	Resíduos animais	Madeira em toras	
						Industrial	Lenha e carvão
Industrializada							
EUA e Canadá	2,95	1,93	0,13	0,19	3,08	7,66	0,92
Europa	0,61	2,39	0,04	0	4,22	4,12	0,41
Japão	0	0,02	0,24	0,01	0,30	0,41	0
Austrália + NZ	0	0,29	0,02	0,19	1,36	0,35	0,02
Ex-URSS	0,23	1,97	0,04	0	3,58	3,92	0,60
Subtotal	3,8	6,6	0,5	0,4	12,5	16,5	1,9
Em desenvolvimento							
América Latina	0,71	0,38	0,29	3,58	7,21	1,47	2,12
África	0,48	0,25	0,20	0,54	5,38	0,75	3,31
China	1,23	1,75	3,43	0,48	4,81	1,27	1,34
Resto da Ásia	0,51	1,88	5,29	2,70	10,91	2,31	4,62
Resto da Oceania	0	0	0	0,03	0,02	0,05	0,04
Subtotal	2,9	4,3	9,2	7,3	28,3	5,8	11,4
Mundo	6,7	10,9	9,7	7,7	40,8	22,3	13,3

Tabela II.4 – Conteúdo energético (EJ/ano) de alguns resíduos de biomassa.
Fonte: Adaptado de Johansson et al., 1993.

Uma proposta de racionalização parece bastante óbvia: se a energia é importante fator de produção - percentual atendido por eletricidade no setor industrial passou de 34,2%, em 1977 para 48,8% em 1994, conforme dados do BEN, 1995, e se é preciso incrementar sua produção para aumentar o conforto geral em atendimento às necessidades básicas da sociedade, por que não iniciar com aquilo que está sendo jogado fora, incomodando e poluindo, ou seja, os resíduos?

Restringindo o estudo apenas aos resíduos agroindustriais, pode-se vislumbrar um bom resultado, especificamente na geração de energia elétrica e térmica para uso final, como apresenta-se acima, na Tabela II.4. Tais resíduos orgânicos são originados como subprodutos na industrialização de alimentos, fibras e produtos de origem florestal, possuindo variado poder calorífico, principalmente em função do teor de umidade, e características físico-químicas que diferem bastante (densidade aparente, granulometria, teor de cinzas, etc).

Região	Energia comercial	Resíduos recuperáveis			Total	Plantação de biomassa
		Colheitas	Florestais	Excrementos		
Industrializada						
EUA e Canadá	87,9	1,7	3,8	0,4	5,9	34,8
Europa	79,8	1,3	2,0	0,5	3,8	11,4
Japão	16,6	0,1	0,2	-	0,3	0,9
Austrália + NZ	3,6	0,3	0,2	0,2	0,6	17,9
Ex-URSS	56,9	0,9	2,0	0,4	3,3	46,5
Subtotal	244,8	4,3	8,1	1,6	14,0	111,5
Em desenvolvimento						
América Latina	17,4	2,4	1,2	0,9	4,5	51,4
África	9,2	0,7	1,2	0,7	2,6	52,9
China	23,0	1,9	0,9	0,6	3,4	16,3
Resto da Ásia	27,7	3,2	2,2	1,4	6,8	33,4
Resto da Oceania	-	-	-	-	-	1,4
Subtotal	77,3	8,2	5,5	3,6	17,2	155,4
Mundo	322,1	12,5	13,6	5,2	31,2	266,9

Tabela II.5 – Energia comercial e suprimento potencial com biomassa (EJ/ano).

Fonte: Adaptado de Johansson et al., 1993.

Como se pode constatar, o potencial energético a partir de resíduos de biomassa é muito grande, em especial nos países em desenvolvimento, onde o conteúdo energético total, 69 exajoule, quase se iguala ao montante anual de energia comercializada. Infelizmente, nem todo esse potencial pode ser transformado em energia comercializável, especialmente por questões técnicas

(tecnologia de geração, conveniência de manter alguns resíduos no solo, etc) e econômicas (preço dos combustíveis fósseis, alto custo de recuperação de certos resíduos, etc). A Tabela II.5 apresenta os totais de energia comercial, o potencial realizável a partir de resíduos e o potencial de plantações de biomassa energética, tomando por base dados de 1985 levantados pelo USA/DOE.

Nos Estados Unidos da América, dados do Departamento de Energia (USA/DOE-NREL) ano base 1994, apontam para uma geração elétrica a partir de resíduos de biomassa, da ordem de 8 mil MW_e, distribuídos em quase todos os estados, conforme se pode comprovar na Figura II.3 abaixo.

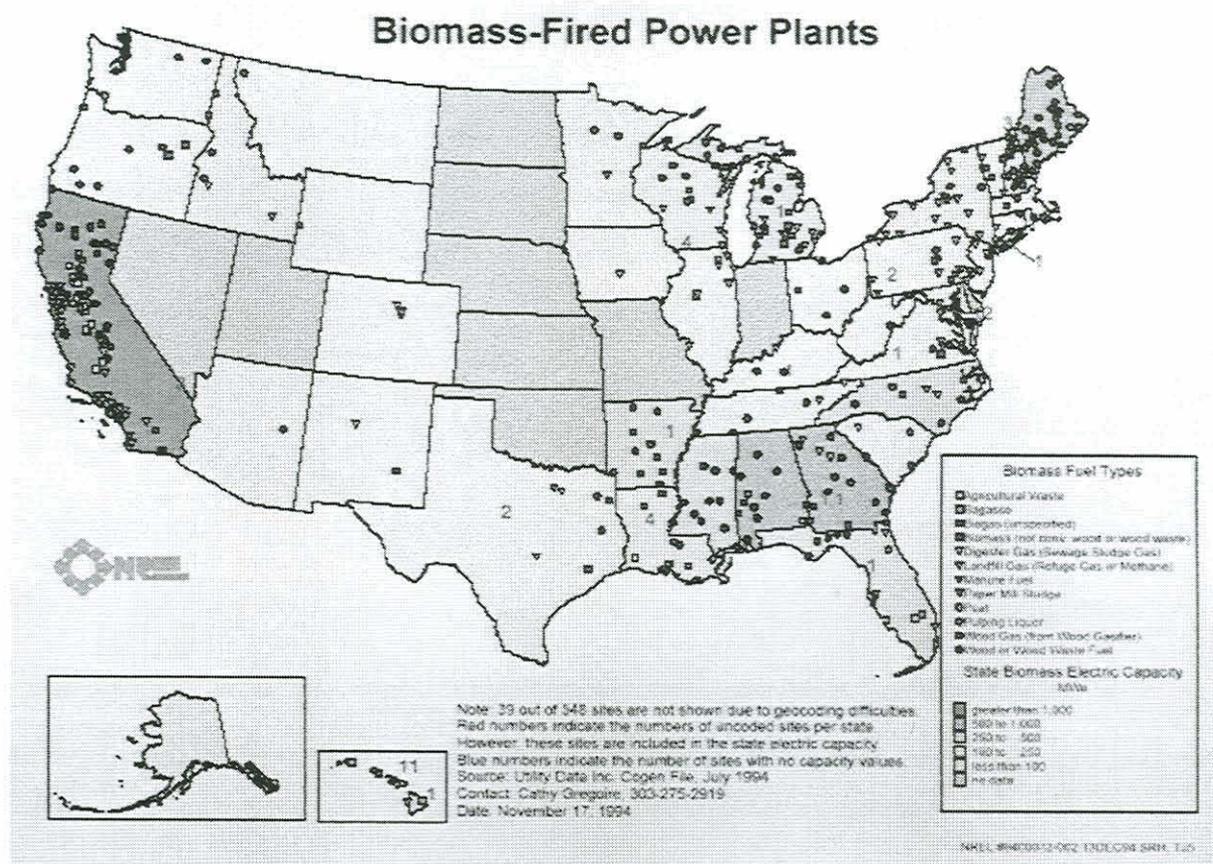


Figura II.3 – Distribuição geográfica das plantas termoelétricas à biomassa, por tipo de combustível e capacidade total instalada (MW_e), nos EUA.

Fonte: USA/DOE-NREL.

Em nível de Brasil, segundo Nogueira, citado por Scheleder, 1997, o potencial de resíduos, excluído o bagaço de cana, é estimado na ordem de 37,6 milhões de tep, conforme apresenta a Tabela II.6, onde analisam-se algumas culturas mais tradicionais.

Produto	Produção (10 ³ t) em 1996	% de resíduos	Total (10 ³ t)	Energia contida (10 ³ tep)
Arroz	8195	30	2458,6	860,5
Café	1734	20	346,9	121,4
Mandioca	10951	110	12046,9	4216,4
Soja	23016	240	55238,4	19333,4
Milho	28611	130	37194,8	13018,2

Tabela II.6 – Resíduos agrícolas de culturas brasileiras e seu potencial energético.

Fonte: Nogueira, L. A. Horta, citado por Scheleder, 1997.

No caso do Rio Grande do Sul, vários estudos realizados pela rede de pesquisa em energia das universidades gaúchas, pela CIENTEC, DRT-CREA e autores individuais, comprovam a grande participação da biomassa na geração de calor e trabalho, chegando a 35 % da matriz estadual, e por vezes alcançando 80 % em determinados municípios.

Porém, os resíduos ainda têm uso restrito e constituem-se, via de regra, em sérios problemas ambientais, quando de seu descarte e acúmulo em locais inadequados, ou mesmo queima ao ar livre ou em processos mal dimensionados. Portanto, é possível afirmar-se que o aproveitamento termoelétrico da biomassa residual é, além de uma forma racional de transformação energética, um processo auxiliar na redução de problemas ambientais existentes nas unidades agroindustriais.

Concentrando o estudo nos dois principais resíduos, a casca de arroz e a oriunda da atividade madeireira (abrangendo galharia, aparas, cavacos, serragem e costaneiras), segundo dados do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA) e da Associação Gaúcha de Empresas Florestais (AGEFLOR), o Estado tem um potencial termoelétrico teórico, em escala comercial supondo tecnologia tradicional e operação 24h/dia o ano todo, que atingem faixas que oscilam entre 100 e 120 MW para o segmento arrozeiro (95 milhões de sacas de arroz) e de 35 a 50 MW para o madeireiro (1,535 milhão de m³) [Pretz, 1997].

Nota-se que o potencial total pode não ser atrativo em um primeiro momento, entretanto, este representa um aumento em potencial de aproximadamente 10% sobre a oferta atual de geração de carga instalada no Rio Grande do Sul. Mesmo com limitações tecnológicas, pode-se prever uma geração ou economia de recursos, distribuídos em quase todas as regiões, de R\$ 32 a 36 milhões anualmente, supondo tarifas de R\$ 50 a 55/MWh_e, valores subestimados tendo em

vista a tarifa realmente paga pelas empresas e a possibilidade de dobrar-se o rendimento da tecnologia.

“Uma avaliação mais profunda da distribuição da oferta desta biomassa ao longo do Estado do RS irá demonstrar uma incrível sobreposição de interesses: a oferta de biomassa está localizada exatamente nos locais de demanda reprimida de energia, fato que, por si só, elimina um importante problema existente na viabilização de centrais termoelétricas à biomassa: o transporte de combustível. Outro ponto a ser considerado é a desconcentração na distribuição desta biomassa, pois se analisadas individualmente, as unidades produtoras de resíduos irão representar mais de 600 projetos em potencial, cuja distribuição normal (estat.) de número de unidades de geração versus potência passível de ser obtida a partir de seus resíduos, irá demonstrar que a potência média predominante para 80% dos projetos no RS está situada na faixa de 300 a 600 kW_e” [Pretz, 1998].

II.4. Questões ambientais relacionadas à biomassa.

"Nenhuma discussão sobre tecnologia em energia é completa sem considerar o ambiente. Nos anos 70, o mundo estava motivado em conservar, temendo a escassez de combustível, a falta de *'input'* nos processos termodinâmicos. Nos anos 90, o grande motivador global é o medo de destruir o ambiente, o excesso de *'output'* dos processos termodinâmicos [Good, 1994]". Esta observação, ainda que de um prisma técnico, apresenta duas faces da motivação, ou medo, em relação aos recursos energéticos e, por que não, dos recursos naturais: a sua finitude e o seu emprego inadequado. A esse respeito, ver Tabelas I.3 e I.4.

As Figuras II.4 e II.5, apresentam dois aspectos distintos da questão de combustão de materiais com carbono, um relativo à melhoria tecnológica e outro ao intensivo emprego de fontes fósseis de energia. A questão do chamado “efeito estufa” é amplamente debatido, mas não totalmente comprovado quanto aos seus efeitos, ficando difícil uma abordagem mais definitiva no momento.

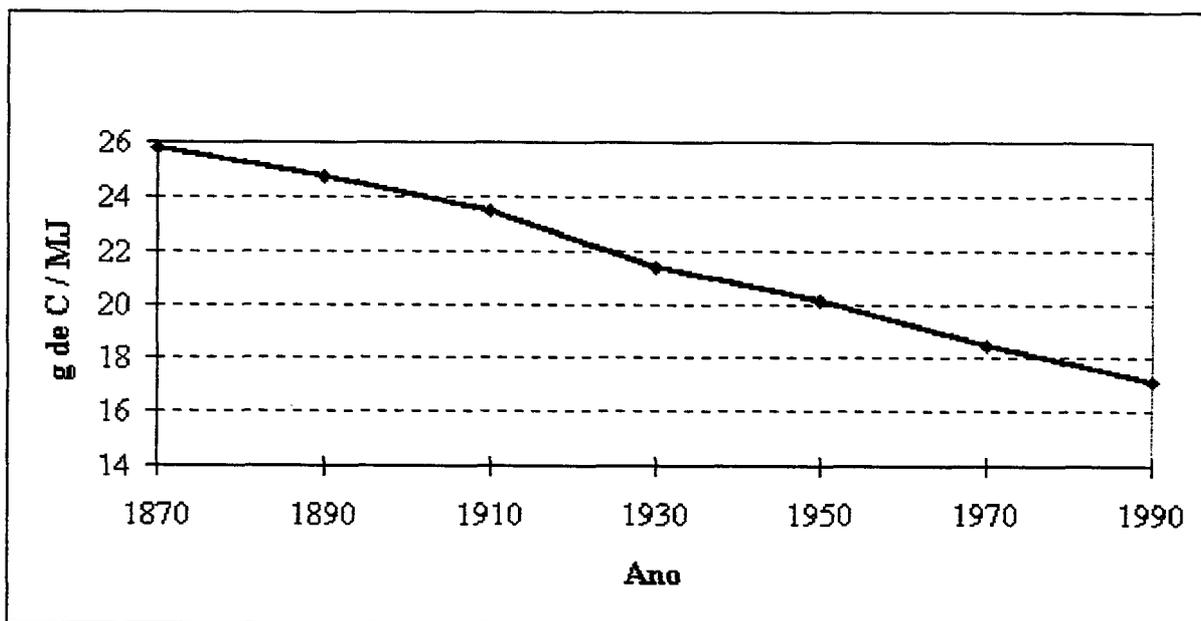


Figura II.4 - Descarbonização global da geração de energia por emprego de processos mais eficientes.

Fonte: Nakicenovic, 1993, citado por Moreira et al., 1996.

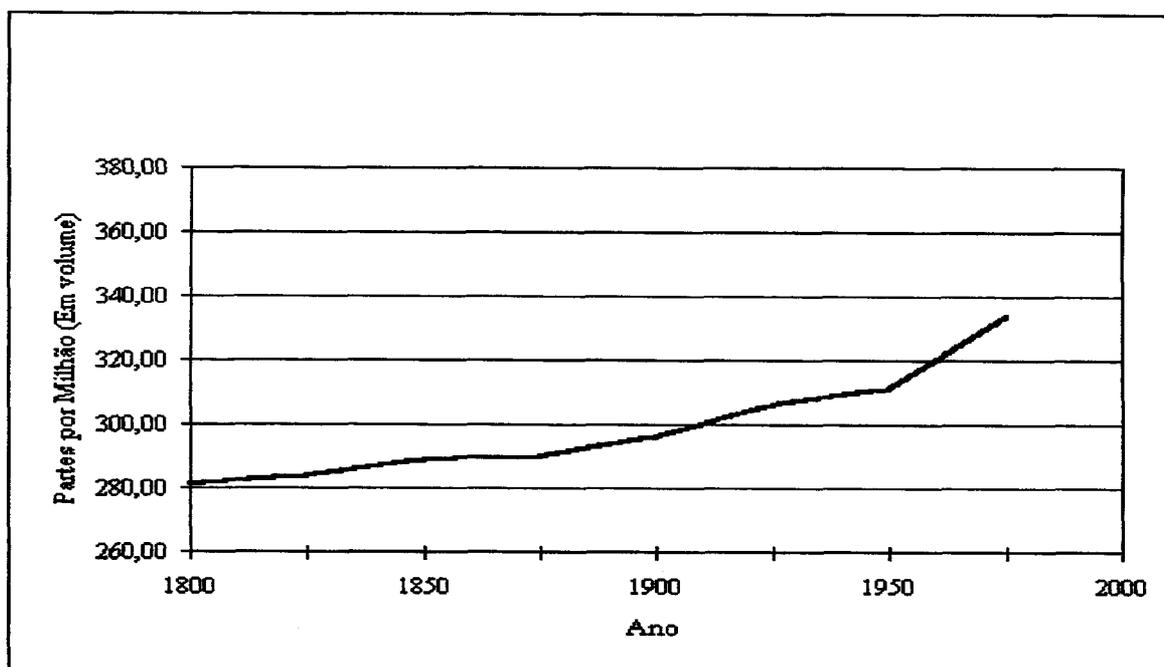


Figura II.5 - Aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, de 1800 a 1993.

Fonte: Flavin, 1994, citado por Moreira et al., 1996.

A termodinâmica auxilia no esclarecimento de que os fatos ocorrem, as reações têm efeito e os ecossistemas evoluem, porque nunca atingem o equilíbrio reacional. Este é um fato suficientemente comprovado na evolução dos fatos no planeta Terra. Em tal contexto, age o homem em busca, atualmente, do desenvolvimento sustentável, que pressupõe "duas indagações:

que tipo de planeta nós desejamos para as futuras gerações e como poderemos concretizar este *desideratum*" [Bristoti, 1994].

A respeito da preocupação futura, Sachs, 1986, afirma que os homens "têm como reminiscência da espécie, uma solidariedade diacrônica com a posteridade". Quando quer-se projetar o futuro, é imprescindível associar-se os recursos naturais aos constituintes da sociedade para que componham, de maneira sistemática e interativa, o cenário de desenvolvimento em busca do paradigma de uma "sociedade sustentável" [Rattner, 1991; Diegues, 1992].

Esse desenvolvimento sustentável deve ser, conforme Sachs, op. cit., "desejável do ponto de vista social, viável do ponto de vista econômico e prudente do ponto de vista ecológico", e "não poderá ser alcançado por abordagens e conquistas isoladas nos diversos campos da ciência e tecnologia, mas exige esforços interdisciplinares, dentro de uma visão sistêmica e integrada [Rattner, 1992]".

É consenso entre os estudiosos, que só a politização da sociedade, envolvida em programas de mobilização por objetivos comuns, e a priorização de investimentos em tecnologias comunitárias, são capazes de transformar a ecologia em ciência ambiental útil e questionadora dos enfoques parciais de uma sociedade complexa e abrangente, bem como em instrumento capaz de efetivar as mudanças estruturais necessárias [UICN / PNUMA / WWF, 1991].

Para um país em desenvolvimento, em especial um país como o Brasil, rico em recursos naturais e com sociedade carente de quase tudo, é crucial o estabelecimento de tais políticas de crescimento baseadas nas condições endógenas, aproveitando racionalmente a natureza e afastando o sentimento de culpa, pessimismo e apatia que se quer impor internacionalmente às nações que procuram e necessitam de produção de bens, energia, alimentos, empregos e outros, para atenderem as necessidades já seculares de sua população.

Embora muito da despoluição ocorrida nos países industrializados, ou ricos, se deva à transferência de indústrias "sujas" e "energívoras", a maior parte do sucesso deve-se às políticas de racionalização e gestão dos recursos, calcadas na conscientização e na taxaçoão sobre o desperdício em processos industriais e da população. Vários artigos em jornais e revistas, mostram os resultados práticos da racionalização do uso dos recursos que vem acontecendo na atual década e que contrariam as previsões feitas pela chamada economia mecanicista.

Também é verdade que a importação de parâmetros e normas da realidade primeiro-mundista para a nossa, não têm surtido os efeitos presumíveis, uma vez que a legislação, somente, não traz melhorias. Na opinião de vários especialistas, as condições existentes, em termos de solo, clima e outros, exigem uma busca própria desses parâmetros reguladores da questão ambiental.

Alguns estudiosos acreditam ser no Terceiro Mundo onde serão dadas as condições para a implantação de uma nova ordem (de desenvolvimento) a ser copiada pelos ricos, e não o contrário.

II.5. Vantagens comparativas da biomassa.

Em tal contexto, o aproveitamento de biomassa como fonte energética primária para geração de eletricidade e, completando a economicidade do processo, calor, é uma alternativa completamente condizente com os preceitos expostos.

Ela apresenta balanço global de gás carbônico nulo, geração de apenas 1% de cinzas que devem ser aproveitadas ou recicladas, emissão de dióxido de enxofre quase nula, assim como de outros óxidos provenientes da combustão - variando a quantidade com o processo de queima empregado - e excelentes impactos na economia e sociedade, por conta da mão-de-obra necessária - cerca de 30 pessoas diretamente na floresta para cada MW instalado na planta de geração, quando do uso de florestas energéticas [Pretz, 1996] - e do constatado efeito multiplicador da agricultura, que apresenta o trabalho e a gestão agrícola, em estrutura predominantemente familiar, como fator mundial de consolidação da base social e do desenvolvimento. Nos EUA, por exemplo, 2/3 do valor total da produção agrícola vem de unidades familiares [Froehlich, 1997].

Como as fontes renováveis ou "limpas" de energia, em geral, necessitam de grandes áreas para sua captação, por serem de baixa densidade energética, a utilização dos resíduos aparece como condição inicial importante na geração termoeétrica com biomassa, pois, como já foi dito antes, além de apresentar um custo zero, ou até negativo nos casos de despoluição e manejo do resíduo, seu aproveitamento faz-se quase que exclusivamente junto à fonte geradora.

Além da baixa eficiência dos processos de conversão, a "biomassa é também prejudicada na competição com outros energéticos quando se deixa de incorporar diversas vantagens para a sociedade que são consideradas gratuitas e não oneram o custo dos combustíveis fósseis. O problema de poluição local e mundial, causada pela queima de combustíveis fósseis, tem um preço para ser combatida, que é pago pela sociedade e não pelos consumidores dos energéticos poluidores. A criação de empregos é muito favorecida em plantações de biomassa quando comparada com usinas nucleares e hidrelétricas. Esses milhares e mesmo milhões de empregos que podem ser criados pela energia de biomassa e cancelados pelo uso de energias fósseis, têm um custo que a sociedade paga em vez de estar alocado ao preço do combustível" [Moreira et al.,

op. cit.]. A Tabela II.7 mostra um resumo de custos externos que deveriam ser agregados aos combustíveis de forma a incorporar o valor dessas externalidades.

Ciclo de combustível	Estudo						
	EC	Hohmeyer	Ontario Hydro	ORNL/RFF	Ottinger	Pearce	RCG/Tellus
Carvão	8,86-21,7	39,6-90,3	2,35-12,8	0,585-1,28	67,4	19,8-83,9	2,76
Petróleo	17,1	39,6-90,3	0,43	0,174-0,232	31,4-77,9	93,2	1,471
Gás	1,04	39,6-90,3	sem estimativa	0,0128-0,232	14	6,37	0,219
Nuclear	0,143-3,57	99,6-213	0,00854- 0,0564	0,219-0,332	33,7	0,839- 5,03	0,117
Biomassa	sem estimativa	sem estimativa	sem estimativa	1,86	0,0-8,14	sem estimativa	3,20
Hidráulica	3,29	sem estimativa	sem estimativa	0,0-0,163	sem estimativa	0,671	sem estimativa
Solar	sem estimativa	69,7-175	sem estimativa	sem estimativa	0,0-4,65	1,17	sem estimativa
Eólica	1,57-3,29	57,4-126	sem estimativa	sem estimativa	0,0-1,16	0,671	0,0104

Tabela II.7 - Custo estimado das externalidades do ciclo de combustível em diferentes estudos (em milésimos de US\$ de 1994/kWh).

Fonte: Lee, citado por Moreira et al., 1996.

Com o aproveitamento dos resíduos de biomassa regionalmente disponíveis, é possível atender a todos os pressupostos que, direta ou indiretamente, conduzem a um modelo de sociedade onde o crescimento e o desenvolvimento, com base nos recursos naturais e seu gerenciamento racional, respeite limites técnicos, econômicos e legais. Tudo isto sem penalizar fatias sociais de menor poder de pressão, ou politicamente desagregados, até porque a divulgação e implantação das melhorias materiais que acompanham tal geração - ou cogeração - termoeétrica, terão igualmente um papel educativo que não deverá ficar restrito ao empresário apenas.

III. Energia e termodinâmica de engenharia – Fundamentos.

De fato, os processos de movimentação de material e os fluxos de energia, tanto naturais quanto antropomórficos, constantemente modificam as condições de nosso planeta e, para diminuir ou minimizar os efeitos sobre o meio ambiente, o homem necessita administrar com mais eficiência os processos de geração e uso da energia, cujos efeitos térmicos, em geral, resultam da irreversibilidade e perdas entrópicas destes - tais como a transmissão, o transporte e os empregos dados à energia final [Crawley, 1975; Bejan, 1997].

Passam por tais esforços de melhor gerenciar os recursos naturais, a redefinição de conceitos de eficiência - tanto energética quanto econômica, de racionalização - que pode implicar em cortes, e do uso racional dos recursos energéticos naturais - procedimento mais complexo e que pode compor com a sustentabilidade e o uso de fontes renováveis, um novo paradigma social.

De um modo geral, não existe crise de energia, nem tampouco de energéticos, especialmente se for considerado o primeiro princípio da Termodinâmica, no qual a energia é apresentada como algo que se conserva, impossível de ser criada ou destruída - indestrutível! Sendo não extingüível, é dita degradável, para que não se entre em paradoxo.

A “energia disponível”, ou ainda, a disponibilidade de energia, é que realmente move um processo termodinâmico qualquer, e esta é medida pela assim chamada “exergia” - energia potencial de um processador energético, de acordo com a análise baseada no segundo princípio da Termodinâmica, a qual é literalmente consumida para movimentar tal processo, não sendo degradada nem convertida, como se costuma dizer [Gaggioli e Petit, 1977].

“A exergia é definida como o trabalho que pode ser realizado quando um sistema evolui do estado em que se encontra até um estado de equilíbrio termodinâmico com os componentes comuns do meio ambiente (equilíbrio mecânico, térmico e químico), através de processos reversíveis, interagindo apenas com os componentes do meio ambiente” [Cespedes e Oliveira Jr, 1998].

Resumidamente: na verdade, energia não é a "mercadoria" que possui valor, mas sim a exergia - energia potencial ou disponível. No entanto, continua-se a empregar o termo energia - e eficiência - pelo uso leigo que apresenta.

Como se sabe, os rendimentos das grandes centrais elétricas espalhadas pelo mundo - exceção das hidro - apresentam-se na ordem de 40% ou menos, com grande poluição térmica,

pelo não aproveitamento do calor residual gerado (ciclo aberto), além da atmosférica, pela queima de combustíveis, e da radioativa, pelo resíduo das unidades nucleares. Mesmo assim, estas economias de escala foram, durante anos, a única maneira de gerar energia em quantidade e qualidade, possibilitando-se padronizar e interiorizar a eletrificação [Good, 1994].

Hoje o panorama é distinto e a busca da alta eficiência tornou-se um imperativo em qualquer escala, fazendo com que muitas tecnologias avançassem e outras retornassem à cena mais sofisticadas, possibilitando a competitividade de pequenas e médias gerações de energia dentro de grandes redes e, em especial, em pontos mais remotos.

III.1. Ciclos térmicos e a geração de potência.

O aproveitamento da energia química contida nas moléculas das diferentes formas de combustível é feito através de dispositivos termomecânicos, conhecidos por “plantas de potência”, e que transformam o calor gerado em potência e/ou eletricidade. Essas plantas baseiam-se no princípio termodinâmico de ciclos, que operam entre fontes em diferentes temperaturas, gerando energia quando trabalham no sentido da temperatura mais alta para a mais baixa.

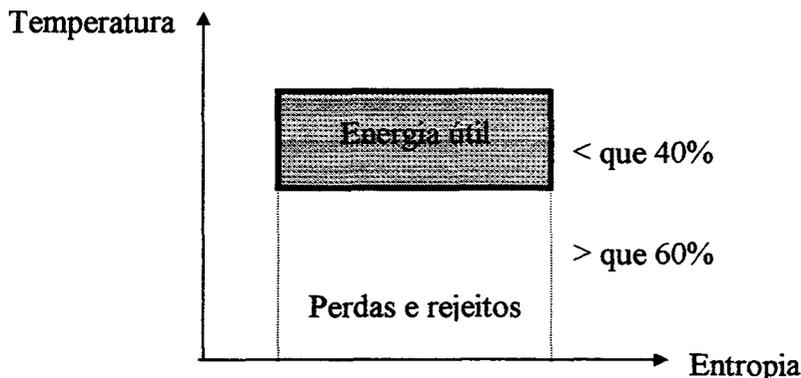


Figura III.1 - A energia em um processo comum de transformação.
Fonte: Good, 1994.

Os ciclos termodinâmicos mais empregados são os de Rankine (usa como fluido térmico o vapor), e de Brayton (gás em expansão), além dos usuais motores térmicos Diesel e Otto, com queima de combustíveis diversos como: óleo diesel, gasolina, álcool etílico, óleos vegetais, álcool metílico, gás natural, biogás, GLP e gás pobre. A Figura III.2 mostra esquematicamente os processos que compõem cada ciclo.

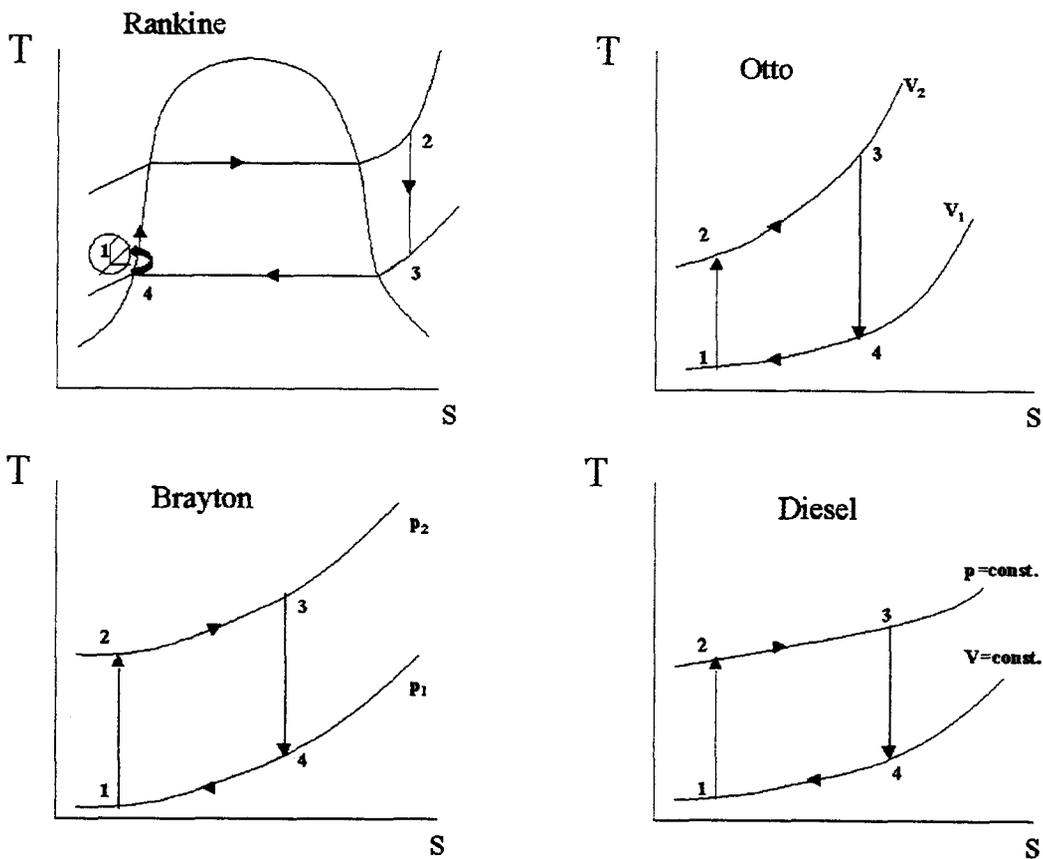


Figura III.2 – Ciclos usualmente empregados para geração de potência.
 Fonte: Bejan, 1997 e Cespedes & Oliveira Jr, 1998.

A geração térmica caracteriza-se, entre outras, pelo baixo rendimento termodinâmico de conversão do potencial existente no combustível em energia final e, como em vários outros processos, as perdas constituem-se em calor residual, o que pode ser verificado na Tabela III.1, onde diferentes processos estão listados com seus respectivos usos e perdas.

Para minorar essa situação, tem-se empregado nos últimos anos processos de cogeração, isto é, de geração e aproveitamento simultâneo (o máximo possível) de calor e força. Os sistemas de cogeração são separados em dois grupos, conforme a seqüência em que a energia é utilizada, havendo um rateio do desperdício e um efeito sinérgico entre a geração de potência (elétrica / mecânica) e a térmica, conforme apresentado nas Figuras III.3 e III.4.

PROCESSOS	BENEFÍCIOS	PERDAS
Motores de combustão interna	Potência de eixo, p/ geração de eletricidade, compressão, etc	a) Calor dos gases de escape b) Calor residual
Turbinas a gás	Potência de eixo p/ geração de eletricidade, compressão, etc	Calor dos gases de escape
Turbinas a vapor	Potência de eixo p/ geração de eletricidade, compressão, etc	Vapor de baixa pressão
Refrigeração à compressão	Calor transferido do espaço frio para o quente	Calor de compressão
Refrigeração por absorção	Calor transferido do espaço frio para o quente	Água quente
Geração de vapor ou água quente	Energia térmica para aquecimento de ambientes ou processos	Calor dos gases de escape
Compressão de ar	Ar à alta pressão	Calor de compressão
Célula de combustível	Potência elétrica	Calor de reação
Geração de eletricidade (*)	Potência elétrica	Calor da resistência

(*)eletromagnética, não termodinâmica

Tabela III.1 - Exemplos de processos, seus benefícios e perdas.

Fonte: Good, 1994.

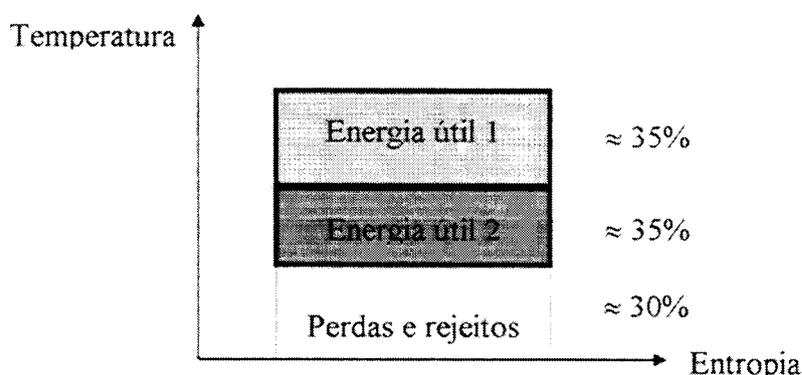


Figura III.3 - A energia em um processo de cogeração.

Fonte: Good, 1994.

No chamado ciclo *topping*, o combustível é usado primeiramente na produção de energia elétrica e o calor rejeitado é recuperado em um recuperador (HRSG = *heat recovery steam generator*), ou simplesmente caldeira de recuperação (CR). Tal arranjo é de emprego mais amplo e difundido, fazendo uso de turbinas e motores alimentados com gás, diesel ou outro combustível “limpo”. Os gases quentes de escape são empregados para gerarem vapor a variadas pressões e água quente, ou diretamente em secadores, fornos e sistemas de refrigeração por absorção

(*chillers / heaters*), podendo haver ônus com a queima de combustível adicional, em relação à parcela térmica produzida.

Já o ciclo *bottoming* prioriza a produção de calor e os fins térmicos (como em siderurgia e produção de cimento), podendo usar o vapor de alta pressão, ou o vapor gerado pelo calor, total ou parcialmente em turbinas e outros dispositivos mecânicos, para a geração de eletricidade e, após, ainda repassar vapor de baixa pressão ao processo associado. Nada custa a mais, em termos de combustível, a geração elétrica obtida neste sistema, sendo indicado para processos industriais que já tenham instalação de vapor, ou fonte térmica em alta temperatura, e que com pequenas modificações possam fornecer vapor ao grupo gerador.

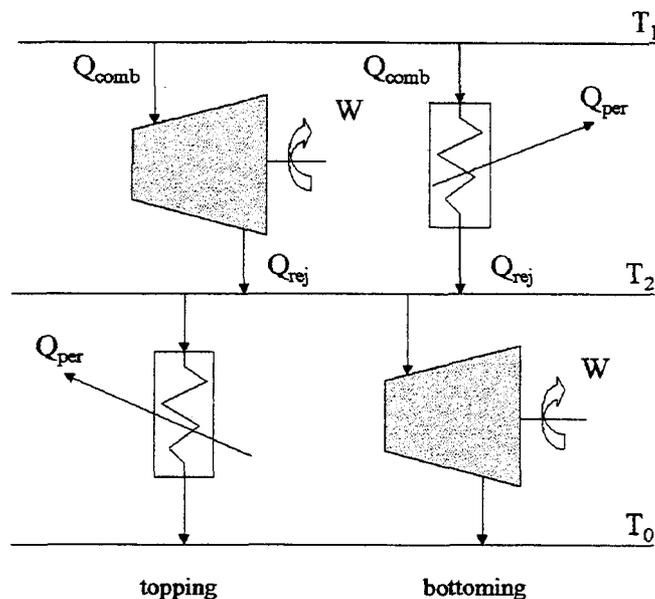


Figura III.4 – Representação dos ciclos de cogeração ($T_1 > T_2 > T_0$).
Fonte: Adaptado de Cespedes & Oliveira Jr, 1998.

Todos os ciclos apresentam uma boa quantidade de energia rejeitada, na forma térmica, a qual pode ser aproveitada como insumo energético em outro processo, constituindo o que se chama de “ciclo combinado” (CC). Chamando-se de η o rendimento - $\eta = (\text{efeito útil}) / (\text{insumo consumido})$ [Huang, 1990] - de uma ciclo, e observando a Figura III.5, é possível concluir que o rendimento global do ciclo combinado, 1 e 2, será:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 (1 - \eta_1) \quad (\text{III.1})$$

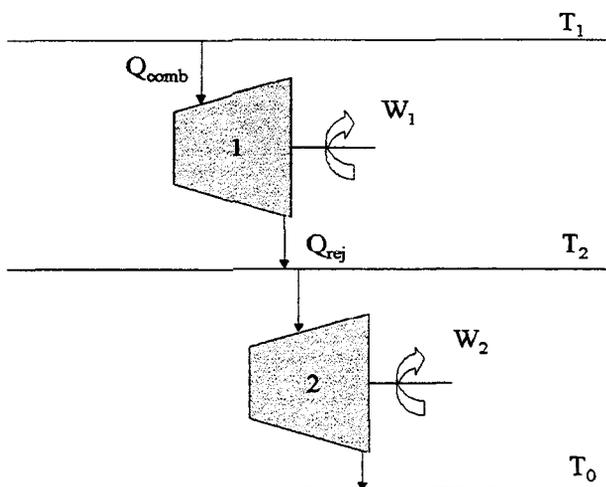


Figura III.5 – Representação esquemática de um ciclo combinado ($T_1 > T_2 > T_0$).
 Fonte: Adaptado de Cespedes & Oliveira Jr, 1998.

Esse arranjo, dos mais eficientes em termos de aproveitamento para transformação em eletricidade e podendo chegar a $\eta = 55-58\%$, combina os dois sistemas anteriores pelo emprego de dois geradores, um movido pelos gases de combustão e outro pelo vapor gerado na CR, podendo ainda, ou não, recuperar vapor de baixa para usos térmicos.

III.2. Princípios da análise exergetica.

Simplificadamente, a segunda lei diz que se tem de perder algo para ganhar algo [Good, op. cit.]. Este rejeito, obrigatório pelas leis da natureza, em qualquer processo termodinâmico, é engrossado pelas perdas devidas ao uso incompleto e pouco eficiente do potencial energético de um combustível, por exemplo.

Conversores de energia transformam parcialmente uma forma de exergia em outra; a parte não convertida é consumida como “combustível” da conversão. Assim, a eficiência real é a razão entre a exergia que sai (produzida) e a que entra (fornecida) ao processo, e trata-se, na verdade, de uma efetividade (ε) que, lamentavelmente, é sempre menor que a unidade.

$$\varepsilon = \frac{\text{exergia..no..produto}}{\text{exergia..fornecida} + \text{exergia..consumida..na..transformação}} \quad (\text{III.2})$$

O limite teórico de efetividade de transformação é 100%, ou seja, quando não há dissipação de energia no processo. A busca deste limite implica em grandes investimentos de capital e/ou tempo. O impasse consiste em custos operacionais (para o combustível), versus

custos de capital (para equipamentos e tempo). O desafio é otimizar este impasse economicamente e, concomitantemente, verificar qual é o processo energético indicado para cada caso e não necessariamente o mais barato.

A avaliação de processos, sistemas e equipamentos é facilitada em muito pelo emprego da segunda lei [Gaggioli e Wepfer, 1980; Huang, op. cit.]. A eficiência convencional e o custo unitário do produto, baseado na "energia do produto" e na "energia do combustível", são falaciosas na medida em que vão depender do tipo de equipamento ou sistema aos quais têm sua análise aplicada. Pode-se dizer que a "efetividade global de um sistema é a medida da possibilidade de promover a economia de combustível. Quanto menor a efetividade, maior a possibilidade [Gaggioli e Petit, op. cit.]".

Empregando-se simultaneamente a primeira e segunda Leis da Termodinâmica, quantificando a participação da irreversibilidade no processo, tem-se a "análise exérgica". Para processos que ocorrem em vazões que não variam com o tempo, isto é, em estado estacionário ou regime permanente (ver Figura III.7), os balanços de energia podem ser estabelecidos como segue:

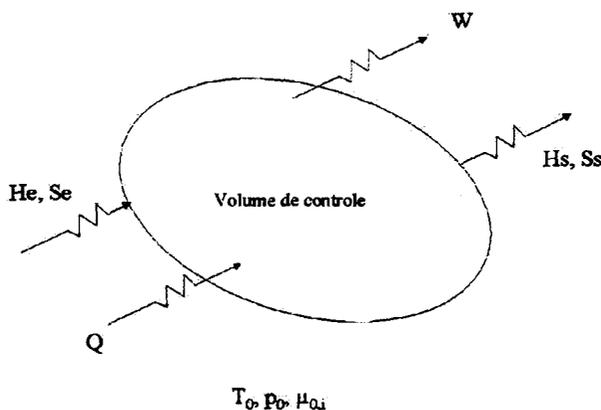


Figura III.7 – Volume de controle de um processo termodinâmico em estado estacionário.
Fonte: Adaptado de Cespedes & Oliveira Jr, 1998.

- balanço de entalpia

$$Q - W = H_s - H_e \quad (\text{III.3})$$

- balanço de entropia

$$\frac{Q}{T} + \sigma = S_s + S_e \quad (\text{III.4})$$

Multiplicando a última por $(-T_0)$ e somando com a primeira:

$$H_s - H_e - T_0(S_s - S_e) = Q\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) - W - T_0\sigma \quad (\text{III.5})$$

tem-se o balanço de exergia, formado pelos seguintes termos:

- $B_e - B_s$ = variação de exergia entre a entrada e a saída

$$B_e - B_s = H_e - H_s - T_0(S_e - S_s) \quad (\text{III.6})$$

- B_Q = exergia associada ao calor transferido

$$B_Q = Q\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (\text{III.7})$$

- W = exergia pura, ou trabalho realizado, ou potência; e

- B_{dest} = taxa de exergia destruída

$$B_{dest} = T_0\sigma \quad (\text{III.8})$$

em que B é o fluxo de exergia (em kW, por exemplo), σ é a taxa de produção de entropia (em kW/K), $\mu_{0,i}$ o potencial químico da substância i , e as demais são conhecidas e de uso tradicional.

A variação de exergia, dada pela equação (III.6), expressa o trabalho máximo que se pode obter entre os dois estados (entrada e saída, ou inicial e final), sendo chamado de “trabalho reversível”. Essa equação pode ser considerada como a “lei da degradação da energia”, aplicável a processos contínuos e em regime permanente, e “permite quantificar a redução de capacidade de realização de trabalho, devido à ocorrência de processos irreversíveis durante o desenvolvimento de processos de conversão de energia” [Cespedes & Oliveira Jr, op. cit.].

Assim sendo, cada vez que houver um processo irreversível tem-se uma diminuição na capacidade de realização de trabalho (exergia), de modo que, para diminuir-se tal efeito, é preciso atacar as causas da irreversibilidade, diminuindo-as dentro do possível, em busca da já comentada efetividade energética, no que se chama de EGM (*entropy generation minimization*). Entre as causas, pode-se citar como principais [Bejan, op. cit.; Cespedes & Oliveira Jr, op. cit.]:

- troca de calor com diferença de temperatura finita, que envolve problemas relacionados ao aumento da transferência de calor, através da intensificação do contato térmico e, de outro lado, minimizar as perdas de calor, melhorando o isolamento térmico;
- perda de carga por escoamento viscoso, causado pelo efeito termodinâmico da queda de pressão devido à fricção e suas conseqüências sobre o calor transferido, a diferença de temperatura existente e a força de arraste (em casos de escoamento externo); e
- processos de mistura, envolvendo uma extensa e variada gama de mecanismos contínuos e descontínuos, onde duas ou mais substâncias são misturadas sem reação, gerando

entropia pela diferença de temperatura, pressão, potencial químico e combinações destas propriedades.

III.3. Aplicação à geração de força e eletricidade.

Segundo Bejan, op. cit., a *raison d'être* da termodinâmica de engenharia é justamente a geração de força mecânica. Neste sentido, a melhoria de desempenho das máquinas, desde as primeiras desenvolvidas por Watt e seus contemporâneos, até as modernas turbomáquinas e propulsores a jato, nada mais são do que “a manifestação de uma filosofia comum a todos”, isto é, a busca na redução da quantidade de entropia gerada. Esse desenvolvimento tecnológico tem possibilitado ainda o explosivo crescimento na geração de energia elétrica, conforme comentado no Anexo Capítulo I.

A condição de potência máxima, sujeita a restrições de tamanho, pode ser ilustrada pela análise do ciclo de Carnot, operando entre as temperaturas T e T_0 . Inicialmente a eficiência desse arranjo, expressa como:

$$\eta_c = (1 - T_0/T) \quad (\text{III.9})$$

assume que a máquina térmica está em equilíbrio com ambas fontes de temperatura durante o processo de transferência de calor, o que exige ou um ciclo infinitamente lento, ou uma superfície de contato infinitamente grande.

Como nenhuma das situações é possível em um projeto prático, pois área de transferência de calor e tempo são limitantes, outras eficiências foram propostas com referência à taxa de transporte de calor, ora baseadas em processos com entrada constante, ora com taxas livremente variáveis, as quais devem ser maximizadas em função das características da planta térmica. No entanto, essas eficiências sempre serão menores que a de Carnot, motivado pela irreversibilidade dos processos.

As irreversibilidades externas estão ligadas às temperaturas do ambiente, máxima de operação do fluido térmico, de chama e as transferências associadas; e as internas são relacionadas à geração entrópica dos quatro componentes da planta, representados, para um ciclo Rankine, pelos dispositivos de aquecimento (gerador de vapor), de expansão (turbina ou motor), de arrefecimento (condensador) e de bombeamento.

Objetivando-se melhorar a eficiência das máquinas térmicas, isto é, diminuir a geração de entropia, fez-se necessário abordar de maneira prática as irreversibilidades acima apontadas. Como resultado desse esforço, pode-se citar dispositivos como: superaquecedores,

reaquecedores, condensadores a vácuo, recuperadores de calor para alimentação, trocadores regenerativos de calor, *coolers*, *intercoolers* e associações entre estes, incluindo-se o ciclo combinado.

IV. Tecnologias de conversão térmica e elétrica da biomassa em unidades < 1MW.

Desde o início do século, a energia elétrica tem estado associada à geração de calor simultânea, sendo que, na década de 40, atingiu 50% de toda eletricidade produzida nos EUA. Esta forma de conversão energética, conhecida por cogeração, caiu para 3% no início dos anos 70, devido à decisão de centralizar-se a geração e distribuição, para aumentar a confiabilidade e baixar os custos, e também às restrições legais à aquisição de energia elétrica cogerada.

Com a edição do National Energy Act (NEA) em 1978 e, mais recentemente, do Energy Policy Act (EPA) em 1992, a cogeração já ultrapassa os 8%, a maioria representada por autoprodutores, com projeções de 15% até a virada do milênio [Larsen, 1996; Brasil Energia, 1993].

Na Europa, onde a legislação foi menos desfavorável, a cogeração teve maior continuidade e hoje países como França, Alemanha e Itália, têm 20% de sua energia elétrica cogerada [Henn, 1993]. Na Dinamarca, cujo índice é de 27,5%, qualquer adição de nova geração elétrica só pode ser feita por sistemas de cogeração ou por emprego de energia alternativa (eólica, solar, maré-motriz) [Brasil Energia, op. cit.].

Vantagens como:

- a- aumento de eficiência no aproveitamento do conteúdo energético de um combustível, com conseqüente diminuição do rejeito térmico para o meio ambiente;
 - b- redução dos níveis de poluição atmosférica, pelo menor volume de combustível gasto e pela possibilidade de queima de biomassa;
 - c- disponibilizar dois vetores energéticos importantes em vários processos, a eletricidade (ou eventualmente força mecânica) e o calor (vapor ou água quente), com todos os seus múltiplos usos; e
 - d- a versatilidade, tanto de combustíveis quanto de escala,
- tornam os sistemas de cogeração de energia os preferidos na atualidade, e uma legítima técnica de conservação de energia [Campos, 1992; Roy-Aikins, 1995].

A escolha do tipo de cogeração é função do perfil de necessidades elétricas e térmicas de cada sistema produtivo industrial, podendo assumir duas configurações básicas [Campos, op. cit.]: de razão energia elétrica/térmica fixa e de razão variável.

A potência dos pacotes de cogeração disponíveis variam de 6 a 1200 kW, para unidades compactas, até 300-400 MW, nas plantas de ciclo combinado a gás, com eficiências que vão de 20 a 58% em energia elétrica, e até 85 % em energia térmica. Os arranjos de processo, o tipo de queimador, as características do combustível, a escala de operação, os usos dados à energia térmica, tudo influi no projeto, de modo que eficiências máximas só são alcançadas quando se consegue demanda total e otimizada para os dois tipos de energia. A Tabela III.1, Anexo Capítulo III, apresenta ganhos e perdas de alguns processos que podem ser associados em uma configuração de cogeração, visando o uso racional da energia não aproveitada.

Para a geração de energia elétrica, dezenas de tecnologias estão disponíveis no mercado, e outras tantas, estão sendo pesquisadas e desenvolvidas, constituindo-se em processo emergente a geração termoelétrica à biomassa. Porém, todas usam ou vapor ou gás, ou ainda ambos, como no caso do ciclo combinado.

Deve-se considerar que "a escolha de qual tecnologia é a mais adequada para uma determinada situação, está muito mais relacionada com sua aplicabilidade do que com o mérito técnico envolvido em qualquer uma das tecnologias mencionadas [Pretz, 1996]". Neste ponto, a bibliografia apresenta dados sobre o rendimento de tais tecnologias, os quais refletem valores altamente questionáveis, uma vez que a preocupação maior recai sobre os 60-70% da energia que são rejeitados na forma de calor e não necessariamente sobre os 25-35% de eficiência de uma determinada técnica. Em pequenos e médios aproveitamentos, a chave do sucesso está no uso máximo do conteúdo energético do combustível, unindo interesses, como nos processos de cogeração.

IV.1. Processos correntes de conversão energética da biomassa.

O emprego de biomassa em unidades termoelétricas (UTES), exige que se aproveite a energia contida nas ligações moleculares, o que é feito pela combustão, uma reação de oxidação exotérmica, que pode ser diretamente efetuada com a matéria-prima combustível, ou com os gases produzidos a partir desta em processos de gaseificação prévia.

A combustão direta é a maneira mais simples e competitiva de obter-se energia térmica da biomassa, é a combustão direta do material orgânico, o que apresenta alguns inconvenientes como: manuseio às vezes complicado, baixa eficiência por combustão incompleta e produção de cinzas. Em geral, qualquer fonte de biomassa, estando dentro de determinadas características de umidade e granulometria, pode servir como combustível. A forma como o material se apresenta

influi na escolha do queimador ou combustor, que é parte importante do equipamento de geração termoelétrica, pois é nele que o ar, contendo o oxidante, se combina ao combustível e a energia das ligações é liberada como calor sensível (energia térmica).

Assim, por exemplo, materiais em pedaços grandes, como toras e achas de madeira, requerem queimadores de grelha fixa. Combustíveis de granulometria menor, como cavaco de madeira, carvão moído, bagaço de cana e lixo, queimas mais uniformemente em grelhas móveis. Já os materiais particulados, como serragem, casca de arroz e finos de carvão, adaptam-se melhor aos combustores de leito fluidizado [Martins, 1993].

Tais tecnologias são consolidadas e de uso mais ou menos generalizado, apresentando-se em variados portes e com custos relativamente pequenos. São equipamentos fabricados por empresas espalhadas em praticamente todas as regiões, sendo necessário cuidar-se com as especificações corretas e a garantia de uma reação de combustão eficiente, uma vez que importa a busca do rendimento máximo, o qual pode ser medido expeditamente pelo teor de carbono residual nas cinzas resultantes. Avanços já em uso são apresentados mais adiante.

Um levantamento do estado da arte, em termos de geração térmica via biomassa, para o Rio Grande do Sul, encontra-se no trabalho de Nodari, 1996, onde aparecem os dados da capacidade instalada de geração de vapor - um pré-requisito e indicativo da possibilidade de geração termoelétrica - que apresentam os valores da Tabela IV.1 abaixo:

Madeira e resíduos florestais e celulósicos	2 354
Carvão vegetal	3
Maravalha	48
Casca de arroz	84
Outros (incluindo desativadas)	73
Total	2 562

Tabela IV.1 - Unidades instaladas de caldeiras à biomassa.

Fonte: DRT / CREA, citado por Nodari, 1996.

Outros dados fornecidos pela Delegacia Regional do Trabalho e Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura mostram, também, a disseminação e grande participação da biomassa na produção térmica, onde supera os combustíveis fósseis e a eletricidade somados, tendo atingido 54% do total de 1995.

A transformação de calor em eletricidade acontece pelo emprego de vapor como fluido intermediário, o qual é gerado em diversas pressões, de acordo com o dispositivo mecânico que se emprega para o acionamento do gerador elétrico. Nestes casos, a eficiência está limitada ao ciclo Rankine de vaporização, que pelas temperaturas moderadas do vapor, fica em valores baixos, segundo o rendimento térmico do ciclo de Carnot.

Os dispositivos que empregam vapor - saturado ou superaquecido - são basicamente de dois tipos: máquina térmica e turbina a vapor. Esta última pode ser do tipo contrapressão - rejeita o vapor antes de completamente expandido - e de condensação - expansão até a pressão mais baixa possível, atmosférica ou menos, ambas com ou sem extração, em algum ponto, de vapor para o processo de uso industrial. Podem ser, ainda, classificadas como simples e multi-estágio, e de ação e reação. Por questões tecnológicas, para as escalas em estudo encontram-se no mercado apenas turbinas de ação em simples estágio.

Turbinas a vapor são equipamentos convencionalmente utilizados em todo o mundo, sendo fabricados no Brasil há vários anos, em potências médias e grandes e apresentando pouca flexibilidade de projeto e operação [Henn, op. cit.]. São equipamentos bem compactos, como pode ser observado na Figura IV.1, que para gerar 8MW_e, esse pesa pouco mais de 4t.

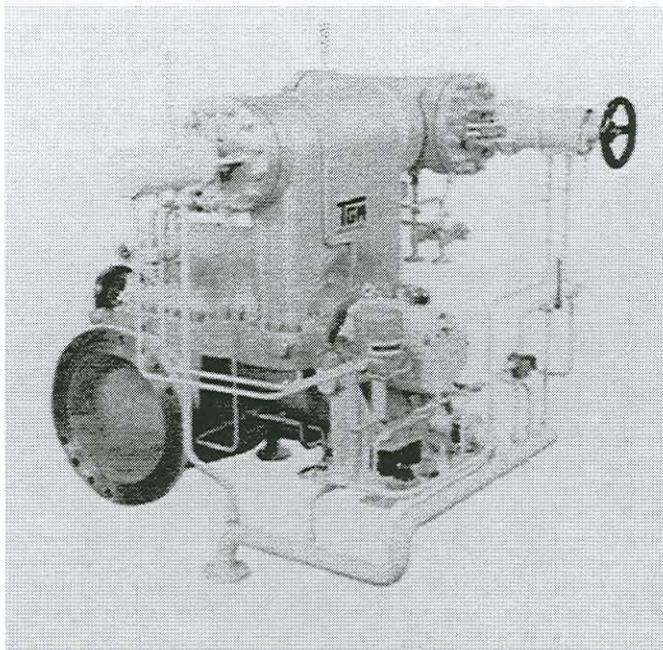


Figura IV.1 – Exemplo de turbina a vapor.
Fonte: TGM Indústria e Comércio Ltda.

Recentemente, fabricantes nacionais disponibilizaram unidades de pequenas potências – a partir de 200 kW_e, fazendo com que elas constituam-se na opção mais econômica, com rendimento térmico aceitável e adaptabilidade às condições de vapor gerado em pequenas unidades, com combustíveis de menor qualidade como os resíduos agrícolas e florestais.

A máquina a vapor mais difundida no Estado foi a chamada locomóvel, adaptação das antigas locomotivas, constituída basicamente de fornalha, caldeira e máquina térmica do tipo motor recíproco, com um a três cilindros. Foi produzida, até pouco tempo, pela extinta Mernak S. A. (Figura IV.2), em potências que iam de 33 a 200 kVA por unidade, empregando resíduo agrícola, lenha e outros como combustível. Trata-se de um equipamento robusto, econômico em manutenção e de médio custo inicial de investimento; porém sua eficiência de conversão global em energia útil é baixa ($\approx 8\%$), com custo variável alto, devido ao grande consumo de óleo lubrificante que se mistura ao vapor de escape, não se prestando à cogeração.

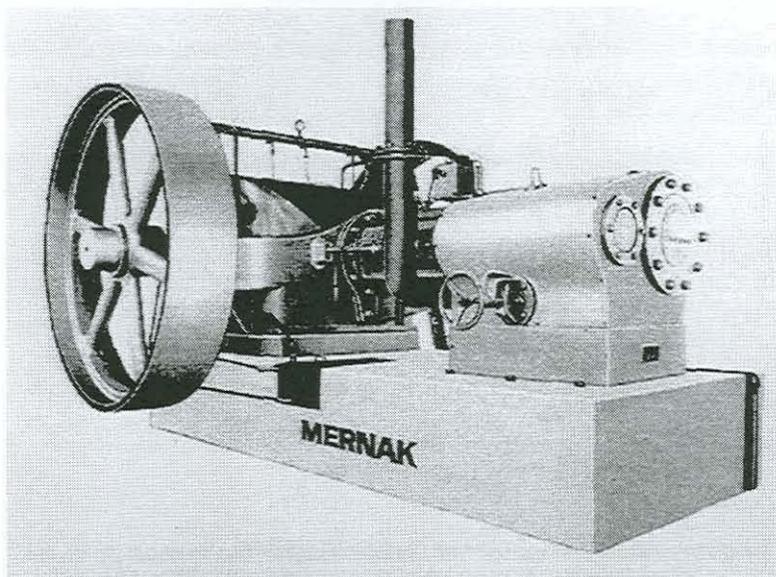


Figura IV.2 – Máquina a vapor horizontal, tipo locomóvel.
Fonte: Catálogo da extinta Mernak S/A.

Na linha das máquinas térmicas, tem-se a opção do motor a vapor, de funcionamento vertical e que é oferecido pela empresa gaúcha Engetherm Ltda. (Figura IV.3), em módulos de 150 e 300 kW_e. Esse equipamento tem um custo inicial acessível, mas carece ainda de maior difusão, sendo uma alternativa interessante, principalmente quando se dispõe de pouco e variado resíduo, já que o fabricante indica queima de qualquer tipo de resíduo agrícola em sua fornalha.

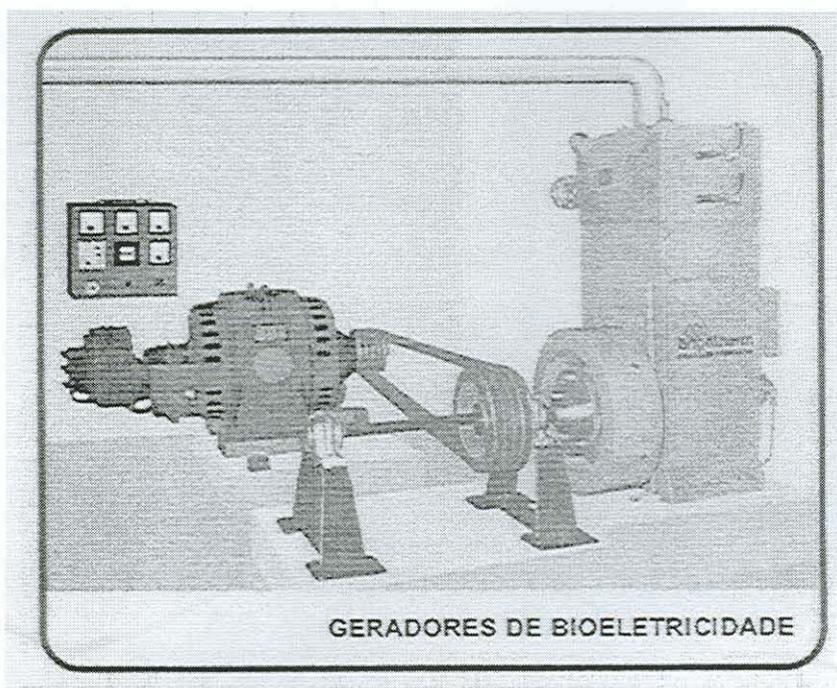


Figura IV.3 – Máquina a vapor vertical.
 Fonte: Engetherm, Engenharia Térmica Ltda.

Como características, não foge muito da locomóvel em termos de rendimento (pode chegar até 10%), gasto com lubrificante e impossibilidade de aproveitamento do vapor de escape. Os pontos positivos ficam por conta do menor custo, peso e espaço requeridos, sua operação com vapor superaquecido de 15 kg/cm^2 , além de possibilitar a conexão de módulos adicionais, conforme o crescimento da necessidade e a maior facilidade operacional comparativa.

Uma opção pouco conhecida entre nós, para sistemas de geração térmica de pequeno e médio porte, é o motor Spilling®, que apresenta características semelhantes a anterior e, ao mesmo tempo, contém uma tecnologia avançada em termos de geração de energia (Figura IV.4). Trata-se de uma máquina a vapor extremamente simples, com um a seis cilindros por motor, em um, dois ou três estágios de expansão, empregando vapor saturado ou superaquecido - neste caso a potência elétrica gerada é o dobro, para uma mesma quantidade de combustível queimado.

É comercializada em potências de 200 a 1200 kW por módulo, sendo adaptável a qualquer consumidor, desde o meio rural, em empresas, engenhos e pequenas vilas, podendo chegar a centros comerciais e condomínios [Pretz, op. cit.; Brasil Energia, op. cit.]. Seu projeto permite dimensioná-la para operar em cogeração, de acordo com as necessidades locais, sendo bastante flexível operacionalmente.

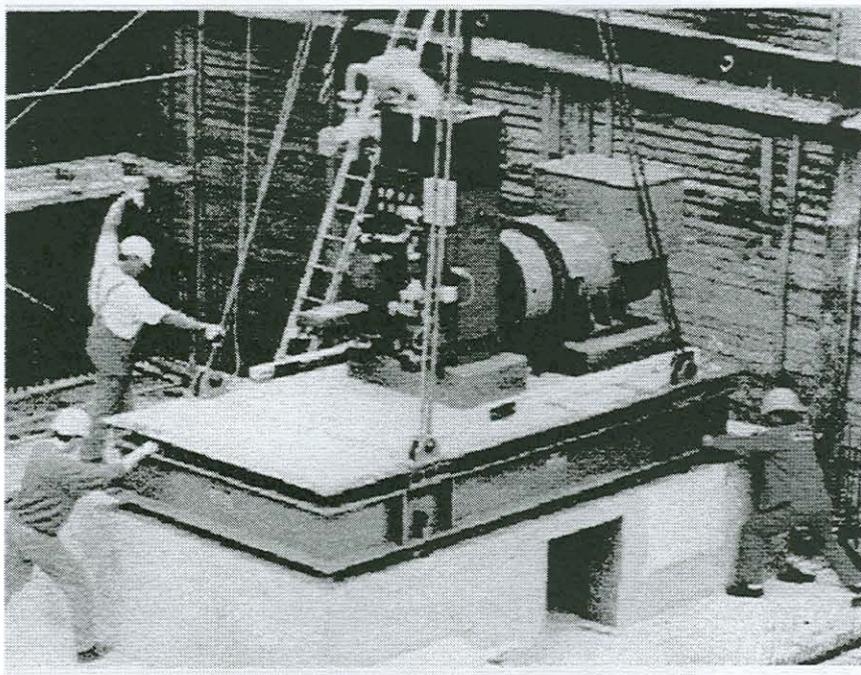


Figura IV.4 – Motor a vapor vertical, marca Spilling®.

Fonte: Spillingwerk GmbH.

Um ponto alto no motor Spilling®, é também a possibilidade de conectar-se módulos adicionais de geração ao inicialmente adquirido, aumentando-se a potência de geração conforme o crescimento da demanda, sem a necessidade de trocar todo o sistema. Outro avanço é a circulação separada de óleo lubrificante, o que possibilita o uso do vapor de escape ou seu retorno como condensado, economizando-se no tratamento de água. Por estarem em fase incipiente no Brasil, tais motores ainda apresentam custo de geração elevado.

Como referência comparativa, transcreve-se a seguir trecho de Walter, 1995, pela possibilidade de se poder comparar a situação ora investigada com uma similar nacional, mesmo que em potências maiores, mas onde pode ser feita uma leitura bem clara da questão da engenharia de processo e do uso da energia elétrica e térmica produzidas em cogeração.

“Nas usinas de açúcar e álcool a partir da cana-de-açúcar, em todo o mundo, são usuais dois arranjos para os sistemas de produção de potência elétrica, ambos operando em ciclos a vapor: uso exclusivo de turbinas a vapor de contrapressão e os sistemas mais avançados, nos quais a máquina motriz é uma turbina de extração-condensação de controle automático (PAYNE, 1991).

Os sistemas com turbinas de contrapressão são os mais comuns. São basicamente empregados quando o dimensionamento da instalação visa o abastecimento parcial ou, quando muito, a auto-suficiência. Nesses sistemas, a geração de energia elétrica segue as variações da

demanda de vapor de processo, o que faz com que os eventuais excedentes de eletricidade, para comercialização, sejam usualmente encarados como energia interruptível.

Por outro lado, quando o objetivo é adequar a instalação para a produção e venda de eletricidade excedente, a solução que tem sido mais comum é a utilização de turbinas de extração-condensação de controle automático que, tanto viabilizam a operação ao longo de todo o ano, quanto a estabilização da energia comercializável. São usuais turbinas com dupla extração, a primeira no nível de pressão em que o vapor é requerido pelas turbinas que acionam dispositivos como moendas, facas e desfibradores - entre 1,0 e 2,0 MPa - e a segunda na pressão em que o vapor é consumido no processo produtivo. O vapor de escape das turbinas é somado ao fluxo da segunda extração para atender a demanda de vapor de processo.

Uma caracterização das demandas de energia e dos sistemas de cogeração ora empregados nas usinas de açúcar e álcool, tanto no Brasil quanto no mundo, é feita na Tabela IV.2”.

Região		P do vapor vivo (MPa)	Demanda vapor de processo (kg/tc)	P vapor de processo (MPa)	Demanda de eletricidade (kWh/tc)
Mundo (a)	valores típicos	0,7 a 1,4	500 a 600	0,20 a 0,25	15 a 20
	melhores sistemas	3,2 a 8,0			
Brasil (b)	valores típicos	1,8 a 2,2	400 a 600	0,23 a 0,26	9 a 15
	melhores sistemas	6,2			

Notas: (a) BOUVET (1991)

(b) WALTER (1994), a partir de uma amostra de 96 usinas do Estado de São Paulo.

Tabela IV.2 - Caracterização das demandas de energia e dos sistemas de cogeração no Brasil e no mundo.

Fonte: Walter, 1995.

Em termos mundiais, a eletrificação total do processo e a conseqüente substituição das turbinas empregadas no acionamento mecânico é rara e dificilmente justificável do ponto de vista econômico. No caso de novas plantas industriais, no entanto, dependendo da existência de um contexto favorável à comercialização de energia elétrica excedente, a eletrificação pode ser viável.

Nenhuma usina brasileira possui sistema com turbina de extração-condensação. Todas operam apenas no período da safra e não fazem uso de combustível complementar, a menos do

necessário às partidas dos geradores de vapor. Embora não seja uma situação normal, é possível a existência, em função de problemas na produção, de eventuais déficit de bagaço em relação a sua própria disponibilidade”.

IV.2. Avanços tecnológicos.

Há várias tecnologias emergindo com potencial imediato de aplicação, tais como: técnicas melhoradas para a colheita, transporte e estocagem de biomassa; briquetagem dos resíduos objetivando aumentar a densidade aparente; sistemas de geração elétrica através da gaseificação da biomassa, acompanhada do uso de turbinas a gás; tratamento de materiais celulósicos por explosão a vapor seguido de hidrólise biológica, ou química, para produção de etanol e outros combustíveis líquidos; cogeração de eletricidade e vapor industrial; queima de biomassa com carvão mineral, em centrais térmicas para a redução dos níveis de emissão de poluentes (*cofiring*); produção de metanol e hidrogênio a partir de biomassa, para uso em células de combustão; aumento da eficiência de motores Elsbett (no uso de óleos vegetais combustíveis) e ciclo Sterling, além de outros.

Essas tecnologias têm sido motivadas não apenas pelo interesse em fazer a biomassa competir economicamente com os combustíveis fósseis, mas pela pressão em utilizar-se fontes de energia renovável, capazes de diminuir a poluição causada pela emissão de CO₂, inevitável com o uso dos combustíveis fósseis (vide Anexo Capítulo II).

Muitos tipos de biomassa, no entanto, devem passar por processos de conversão antes de serem usadas como combustível. Tais processos dependem da matéria-prima e do uso final dado ao combustível e entre eles pode-se citar: carbonização, pirólise, gaseificação, digestão anaeróbica, fermentação e hidrólise [Wereko-Brobby e Hagen, 1996]. Alguns procedimentos são a seguir abordados, buscando essa adequação e, principalmente, o melhor rendimento no emprego da biomassa energética.

IV.2.1. Gaseificação.

A transformação prévia de biomassa em gás, para a obtenção de um combustível limpo e mais versátil, pode ser feita em dois principais processos de gaseificação:

- a- bioquímico - consiste numa série de reações naturais e/ou induzidas, que transformam lentamente a biomassa em gases, especialmente metano e gás carbônico (biogás), por ação microbiológica e enzimática. É também chamada de biodigestão; e
- b- termoquímico - baseia-se na decomposição da matéria orgânica por efeito do calor, em processo indireto ou pirolítico, e direto com reações de oxi-redução, em condições controladas de temperatura, fornecimento de ar e vapor, com produção de hidrogênio, monóxido de carbono, metano e gás carbônico, basicamente. A mistura de gases recebe o nome de gás de síntese ou gás pobre [Reed e Das, 1998].

Esse último processo, a gaseificação direta de biomassa, tem sido feito desde há mais de cem anos, mas nos protótipos desenvolvidos no Brasil a qualidade do gás tem sido pobre, com muito alcatrão e particulados, o que dificulta seu uso final em turbinas e motores, como os de ciclo Otto e Diesel, ficando até agora mais restrito à produção de energia térmica.

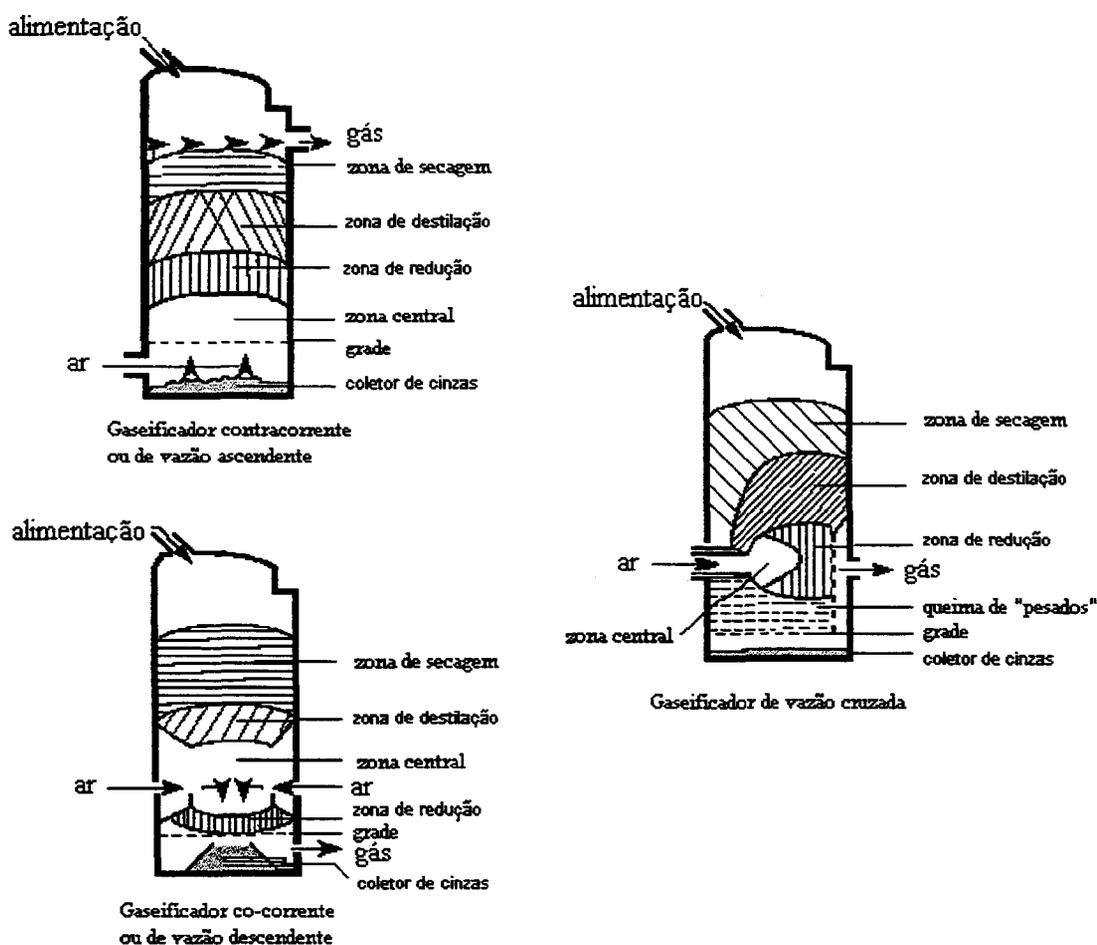
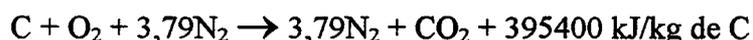


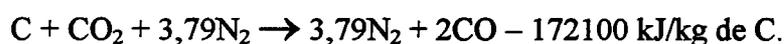
Figura IV.5 – Gaseificadores de leito fixo.
Fonte: Adaptado de Stassen, 1995.

Os gaseificadores térmicos são também classificados de acordo com o percurso do ar (ou agente gaseificante) no reator e o tipo de leito onde se encontra a matéria-prima “combustível”. Para pequena escala são empregados somente os reatores de leito fixo, os quais podem ser de vazão descendente (cocorrente), ascendente (contracorrente) e cruzado, conforme apresenta a Figura IV.5.

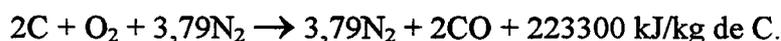
A reação de combustão de parte do carbono [Wereko-Brobby, op. cit.] produz



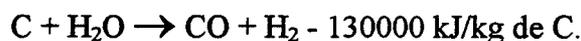
que alimenta termicamente o reator, onde o CO_2 formado é reduzido por mais C, dando



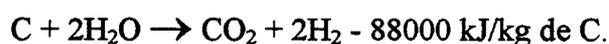
A reação principal, que se dá idealmente no leito do reator, pode ser escrita como



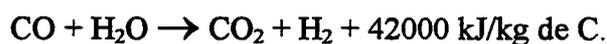
Com a umidade presente na biomassa e/ou injetando-se vapor diretamente no reator, obtém-se um aumento do poder calorífico do gás, conforme a seguinte reação que ocorre em torno de 900 °C:



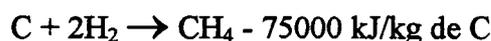
Esse procedimento auxilia ainda no resfriamento da zona ativa de reação, evitando a formação de clínquer. Outra reação entre carbono e água se dá em torno dos 600 °C,



cuidando para que não haja excesso de água, o que conduz à indesejável reação que reduz o poder calorífico do gás frio, embora diminua a presença de gás tóxico (CO),



Finalmente, a geração de gás metano, mesmo que em pequena proporção, se dá pela reação



Os gases assim produzidos apresentam um poder calorífico variável, conforme o tipo de reator e a matéria prima (vide Tabela IV.3), entre 4 e 6 MJ/Nm³. Após limpeza, são diretamente queimados em turbinas e motores estacionários (este último arranjo é mostrado na Figura IV.6) acoplados aos geradores de energia elétrica, liberando gases quentes para diversos usos [Stassen, 1995; Bain et al., 1996; e Reed e Das, 1998].

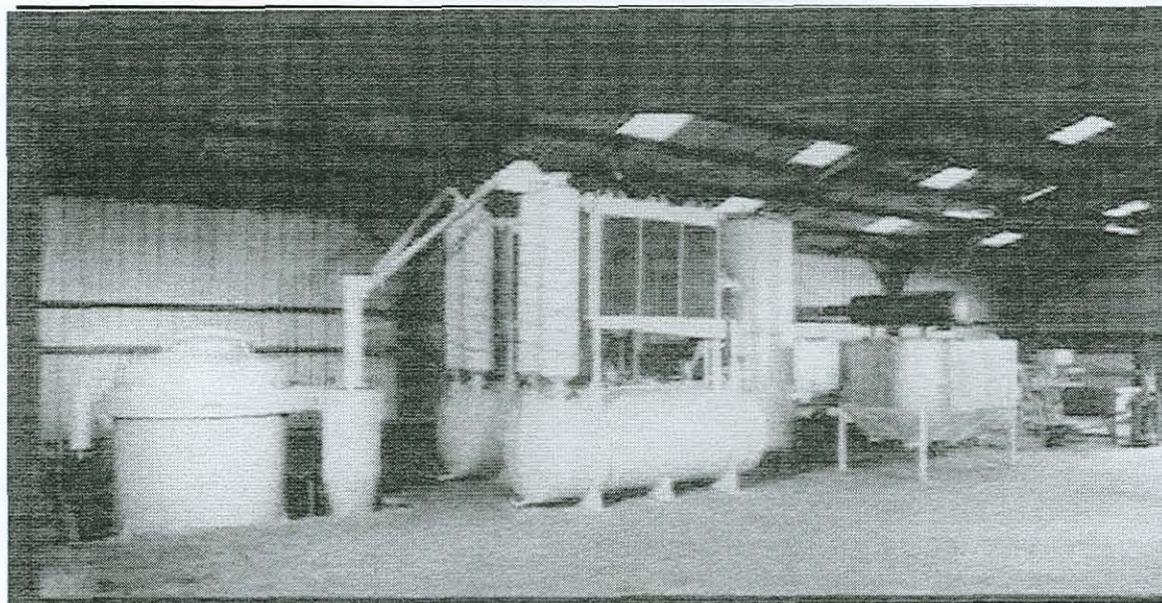


Figura IV.6 – Planta de gaseificação de biomassa com geração de 600 kVA.

Fonte: MARTEZO, Energie Renouvelable.

A gaseificação apresenta diversas vantagens com relação à queima convencional, mas as principais são a possibilidade de temperaturas maiores na queima do gás e uma combustão mais completa, livre de fumaça e com uma redução substancial nos poluentes - que já são baixíssimos para o caso da biomassa.

Tipo de gaseificador (umidade de entrada, % b.u.)	Ascendente: madeira (10-20)	Descendente: madeira (10-20)	Cruzado: carvão vegetal (5-10)
Hidrogênio	8-14	12-20	5-10
Monóxido de carbono	20-30	15-22	20-30
Metano	2-3	1-3	0,5-2
Dióxido de carbono	5-10	8-15	2-8
Nitrogênio	45-55	45-55	55-60
Oxigênio	1-3	1-3	1-3
Umidade $\text{Nm}^3 \text{H}_2\text{O} / \text{Nm}^3$ de gás seco	0,20-0,30	0,06-0,12	<0,3
Alcatrão g / Nm^3 de gás seco	2-10	0,1-3	<0,3
PCI MJ / Nm^3 de gás seco	5,3-6,0	4,5-5,5	4,0-5,2

Tabela IV.3 – Composição típica do gás gerado por diferentes reatores e matérias-primas.
Fonte: Stassen, 1995.

A eficiência de transformação de energia térmica em elétrica, se empregado conjunto turbina a gás – gerador, é maior que nos processos anteriormente apresentados, uma vez que este funciona em ciclo Brayton, trabalhando diretamente com a fonte térmica dos gases gerados em $T \approx 1000^\circ\text{C}$, sem fluido térmico intermediário, o que aumenta o rendimento referido ao ciclo de Carnot. Tal arranjo possibilita o ciclo combinado de geração (CC), que faz uso do calor dos gases para gerar vapor, o qual entra em um ciclo Rankine, conforme comentado no item anterior. O uso da gaseificação de biomassa para alimentar turbogeradores elétricos só apresenta, no momento, viabilidade para escalas do porte de 15 MW ou mais, tendo em vista o custo do gaseificador, a disponibilidade de turbinas e a dificuldade de limpeza do gás. A Figura IV.7 mostra um dos variados arranjos existentes neste tipo de concepção, os quais não são detalhados por não serem, como já dito, aplicáveis na escala pretendida.

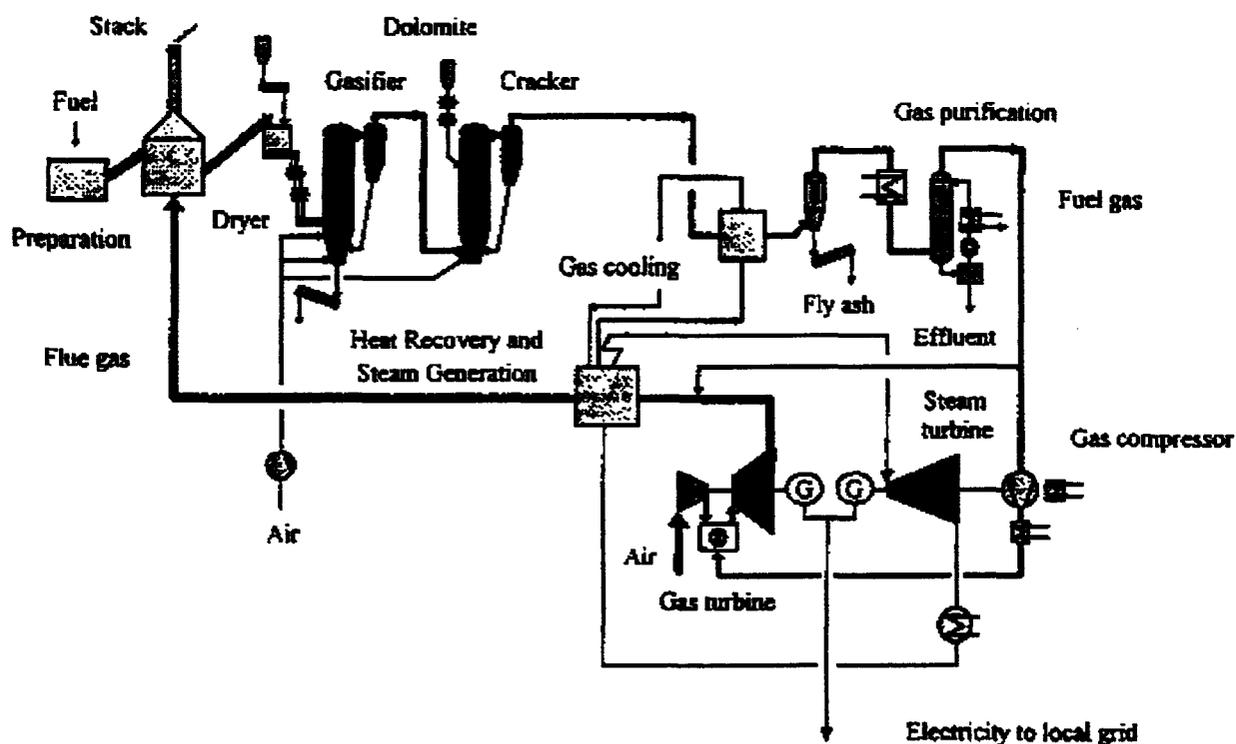


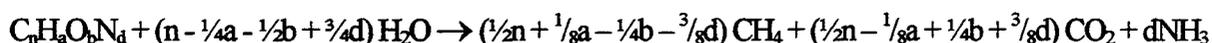
Figura IV.7 – Geração termoelétrica com turbina a gás em ciclo combinado, a partir de biomassa.

Fonte: TPS Termiska Processer AB.

Ainda com gás pobre, pode-se empregar motores estacionários adaptados (para os de combustão por centelha ou ciclo Otto) ou de duplo combustível (para os de combustão por compressão ou ciclo Diesel). Esses acionam diretamente o eixo do gerador elétrico e podem produzir calor útil para diversos fins, a partir dos gases de combustão. Constituem-se na forma mais econômica de cogeração [Good, 1994] e apresentam uma enorme disseminação territorial, necessitando de algumas adaptações.

Os motores estacionários são muito indicados para pequenas potências, de 1 a 200 kW, e para o emprego do biogás produzido em biodigestores, a partir de resíduos animais, resíduos industriais tratados por processos anaeróbios, gás de lixões, etc.

A biodigestão constitui-se de uma série de reações fermentativas, que englobam as fases de hidrólise, decomposição ácida e a metanogênese propriamente dita. A reação principal, a partir de uma substância orgânica genérica [Johansson et al., 1993], pode ser resumida como:



o que gera gás metano como principal combustível, com poder calorífico entre 4,8 e 6 mil kcal/Nm³, variando com o teor de gás carbônico e umidade presentes. Esses podem ser eliminados por processos simples, elevando o PCI do biogás para cerca de 8 mil kcal/Nm³.

Os biodigestores, ou reatores de digestão anaeróbica, têm várias opções de projeto, em função das propriedades do material, ou resíduo a ser digerido, seu conteúdo de matéria orgânica (expresso pelo índice Demanda Química de Oxigênio, em g/l), o volume e o tempo desejado para tratamento, que influem grandemente no custo dos projetos [Hoffmann, 1989]. Os principais esquemas podem ser vistos na Figura IV.8, assim como dados de algumas variáveis importantes se apresentam nas Tabelas IV.4 e IV.5.

Setor	Resíduo (kg/d)	Gás (Nm ³ /kg)	Gás/animal x d (Nm ³)	Tempo digestão (d)
Bovinocultura	10	0,036	0,364	50
Suinocultura	2,25	0,784	0,176	20
Avicultura	0,18	0,062	0,011	20

Tabela IV.4 – Variáveis na produção de biogás a partir de resíduos animais.

Fonte: Adaptado de Wereko-Brobby e Hagen, 1996.

Aplicação	Pressão de uso (cm de c. a.)	Consumo
Cozimento em fogão	6 a 15	0,34 a 0,42 m ³ / pessoa . dia
Iluminação em lâmpião	5 a 10	0,07 a 0,12 m ³ / camisa . hora
Banho em chuveiro	Mínimo 10	0,8 m ³ / pessoa . banho
Geladeira média	Mínimo 10	2,2 m ³ / dia
Motor de combustão interna	Mínimo 15	0,5 / HP . hora
Grupo moto gerador – 900 W	Mínimo 15	0,92 m ³ / hora

Tabela IV.5 – Consumo de biogás em equipamentos e máquinas.

Fonte: Garcia e Pellegrini, 1981.

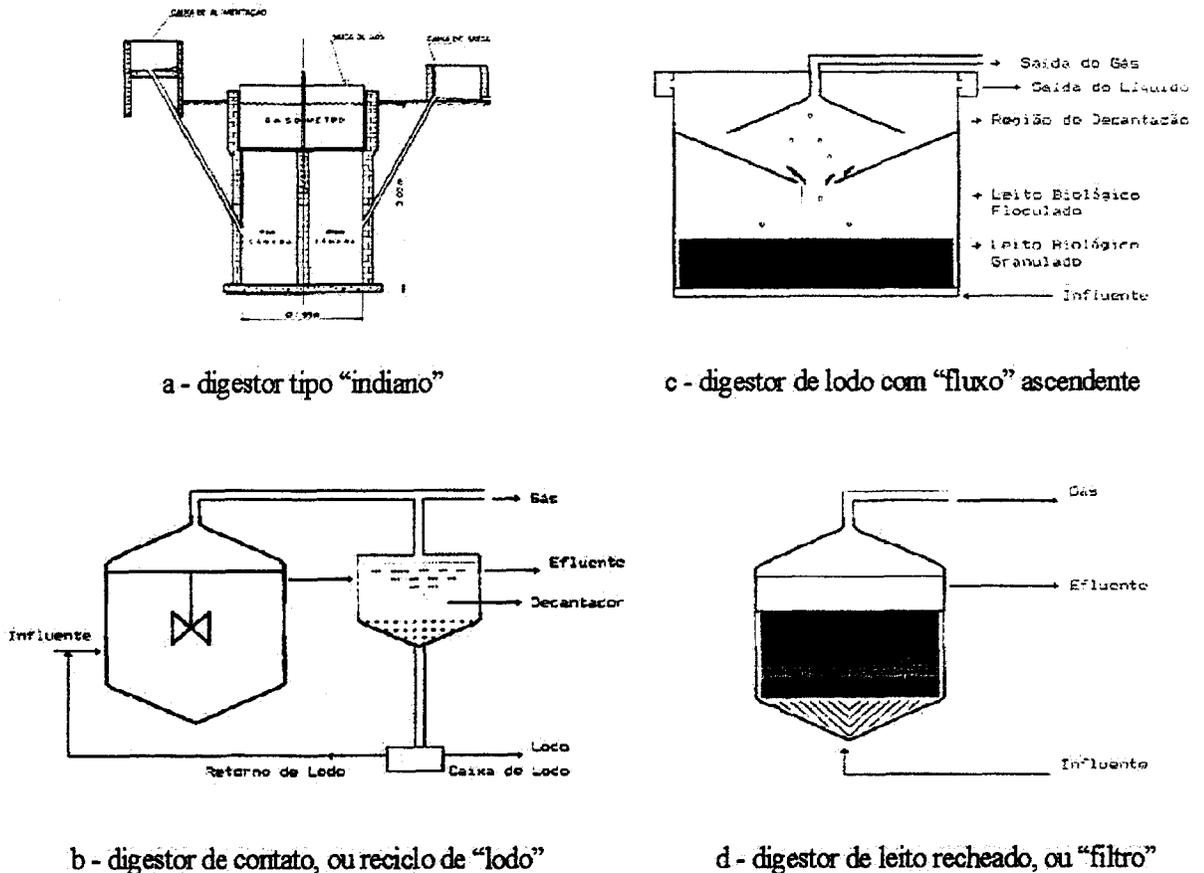


Figura IV.8 – Diagramas esquemáticos dos principais tipos de biodigestores.

Fonte: Hoffmann, 1989.

IV.2.2. Cogeração.

Por sua importância atual e futura, a cogeração, embora já mencionada várias vezes, é mais uma vez enfocada, agora com ênfase nos pequenos e médios aproveitamentos, não tão clássicos quanto as propostas de cogeração de energia elétrica com gás, carvão e biomassa (como o bagaço de cana, por exemplo).

Cogeração conceitua-se como:

“a produção simultânea e seqüencial de calor e trabalho, através de uma única fonte de energia, que visa o atendimento às necessidades do processo produtivo da unidade. Essa fonte de energia, normalmente um insumo fóssil ou biomassa, produz calor através de um processo de combustão, que em adequados sistemas de conversão como turbinas a gás, turbinas a vapor, etc. produzem trabalho mecânico e calor para a unidade” [AAE, op. cit.].

A cogeração pode se dar em:

- turbinas a vapor;
- turbinas a gás;
- ciclo combinado;
- motores de combustão interna; e
- ciclo de absorção.

Segundo a AAE, op. cit., as principais características dos sistemas de cogeração podem se resumir em:

- a cogeração na maioria dos casos necessita um investimento menor por kW instalado comparado com a hidroeletricidade, cerca de US\$ 800 a 1.000, contra US\$ 2.000 - 2.500;
- a flexibilidade do sistema permite a utilização de vários insumos disponíveis na região com um maior aproveitamento energético. A análise do custo do Gcal útil deve levar em conta o transporte, armazenagem, pré-aquecimento, manutenção de temperatura, etc;
- diminuição dos impactos ambientais com a menor necessidade de investimentos em hidroeletricidade (formação de lagos) e menor poluição ambiental devido ao maior rendimento global da unidade (utilização de equipamentos mais eficientes);
- menos perdas nos sistemas de transmissão e distribuição, além da atual escassez de bacias hidrográficas favoráveis; e
- a eletricidade que poderá ser liberada dos sistemas elétricos com a entrada de sistemas cogeneradores, possibilitará o atendimento de outros consumidores, melhorará a

confiabilidade e retardará a entrada de usinas termoeletricas convencionais e hidroelétricas mais caras no sistema interligado.

Nas unidades de beneficiamento de derivados florestais e de criação de gado, aves e porcos, bem como nos matadouros e frigoríficos, existe uma grande e iminente possibilidade de cogeração, visto ser de grande necessidade o vapor para secagem, nas primeiras, e vapor e frio nas últimas.

Uma alternativa para pequenos aproveitamentos, especialmente quando o combustível apresenta-se em forma gasosa ou líquida, são os motores alternativos de combustão interna. A limitação fica por conta da indústria nacional, que fabrica apenas motores de pequena potência individual, mais direcionada a veículos automotores, havendo a necessidade de importação ou constituição de banco de motores.

O calor residual dos gases de escape e do sistema de arrefecimento é usado para aquecimento de água, pré-aquecimento de ar e combustível, geração de vapor de baixa pressão, aquecimento de secadores e fonte quente em ciclo de absorção. Esse último arranjo é ainda pouco empregado, necessitando de importação dos absorvedores. A Figura IV.9 apresenta o esquema de funcionamento desta alternativa de cogeração.

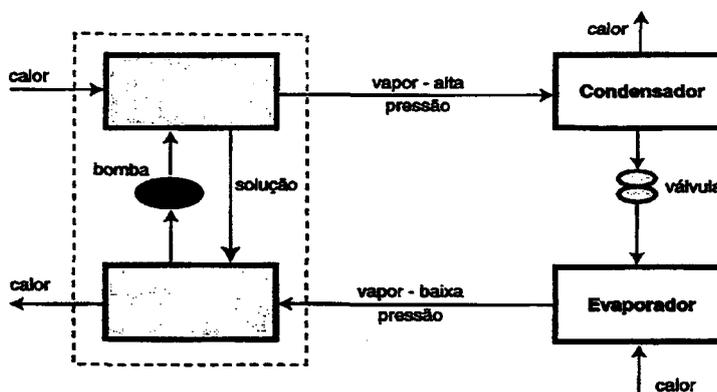


Figura IV.9 – Sistema de cogeração com ciclo de absorção.
Fonte: AAE, 1998.

Vários estudos podem ser encontrados na literatura internacional, onde os sistemas de cogeração de pequeno porte têm uso mais disseminado (hospitais, escolas, centros comerciais, agroindústrias, etc). Wagner, 1986, apresenta uma avaliação econômica de plantas em torno de 400 kW_e, que empregam motores ciclo diesel alimentados com gás natural e resfriadores de 160 t

de refrigeração por ciclo de absorção (*chillers*). Estes apresentaram um coeficiente de performance (COP) superior aos equipamentos alimentados com água quente. Conclui pela pouca atratividade, aplicável apenas em determinadas áreas.

IV.2.3. Miscelânea.

Em linha semelhante ao gaseificador está o combustor pirolítico, tipo Biochamm® (vide Figura IV.10), que em um só equipamento realiza simultaneamente a pirólise e a combustão dos gases vindos da biomassa, caracterizando-se como um equipamento gerador de calor. Pode, ou não, ser acompanhado de caldeira para produção de 1 a 40 t/h de vapor, sendo uma alternativa bastante versátil e eficiente para uma variada gama de combustíveis e escalas de produção de calor.

Segundo o fabricante, em dois anos de lançamento no Brasil esse sistema, de tecnologia alemã, já conta com mais de 300 unidades, as quais atendem às exigências ambientais vigentes e dispensam obras civis de maior porte, diminuindo custos fixos.

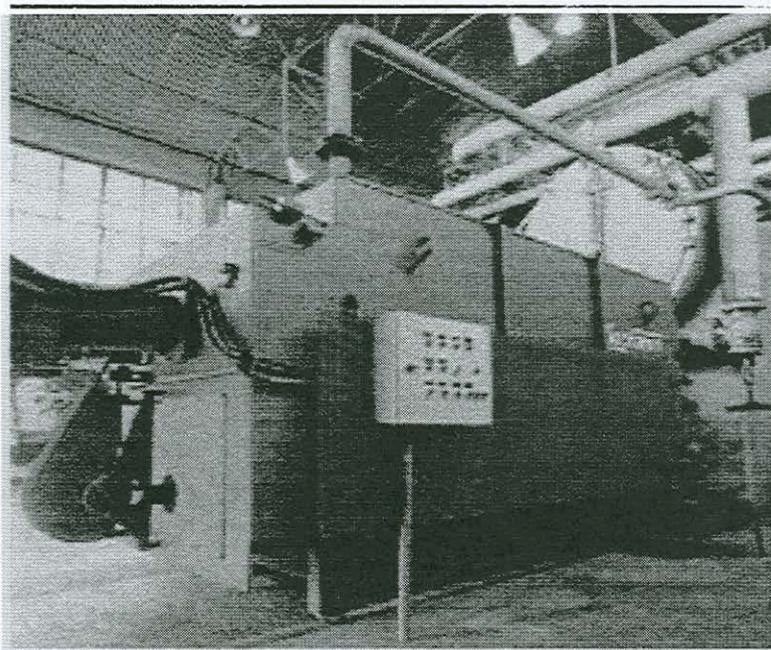


Figura IV.10 – Conjunto queimador Biochamm®.
Fonte: Máquinas Walter Siegel Ltda.

A produção de briquetes de resíduos de biomassa deve ser considerada uma alternativa no sentido de aumentar o PCI volumétrico, sendo um processo comercializado no Brasil desde 1990, pelo menos [Moreira et al., 1996]. Os resíduos mais utilizados são os de serrarias e fábricas de lápis e palitos. Os briquetes têm sido comercializados junto à indústria, cerca de 20.000 t/mês e comércio (padaria e pizzarias), cerca de 10.000 t/mês atualmente [Mazotini, 1995 citado por Moreira et al., op. cit.]. Segundo esse mesmo autor, o consumo de briquetes em 1991 chegou a 6% da lenha consumida no Estado de São Paulo.

Os equipamentos são fabricados no país e também no Rio Grande do Sul, com tecnologia alemã, ou diretamente importados. A vantagem principal do briquete relativamente à lenha, ou ao carvão vegetal, como já mencionado, é sua maior densidade volumétrica de energia (5.280 kcal/dm³ contra 1.287 kcal/dm³ e 1.725 kcal/dm³) [Moreira et al., op. cit.], o que diminui bastante o custo do transporte, manuseio e armazenagem.

O emprego de óleos vegetais, *in natura* ou processados físico-quimicamente, tem despertado o interesse para geração de energia elétrica, mediante motores de combustão estacionários e geradores acoplados, em pequenas comunidades, isoladas e que possuam matéria prima oleaginosa local. Nesses casos, segundo Moreira et al., op. cit.,

“o princípio que norteia ... é que seria mais barato produzir-se localmente óleos vegetais, sem custos associados para seu transporte, juntamente com outros subprodutos, do que a compra de óleo diesel com seu alto custo de transporte associado. Além disso, o dinheiro circularia localmente nessa atividade”.

Desde o início do desenvolvimento do motor Diesel, por volta de 1900, foi utilizado o óleo vegetal como combustível. Porém seu uso continuado teve a concorrência de um petróleo muito barato, o que o inviabilizou na prática. Há pouco tempo, pensava-se necessária a transesterificação do óleo vegetal, para possibilitar seu emprego como combustível, mas vários testes e modelos de motores (como o Elsbett, comercializado também no Brasil) comprovaram a plena possibilidade de emprego *in natura*.

Ainda segundo Moreira et al., op. cit., modernas instalações de processamento, como a da Agropalma que beneficia óleo de dendê, fazem uso da cogeração a partir do completo uso dos resíduos, abastecendo a planta de beneficiamento com vapor, necessário à extração do óleo, e gerando energia elétrica, inclusive com excedentes exportáveis.

Não se deve esquecer que os óleos vegetais também têm emprego em motores de barcos e caminhões, e que apresentam um grande potencial não competitivo com alimentos, em estado

natural, em regiões hoje carentes de desenvolvimento, exigindo muita mão-de-obra, mas com tecnologia de simples manejo.

IV.3. Constituintes da planta termoelétrica.

Moura, 1996, traça um plano lógico para execução de projetos de UTEs que se inicia na definição do combustível, desde a sua disponibilidade até a pré-viabilidade econômica, passando pelas características físicas e químicas. Segue caracterizando atividades de coleta, transporte, estocagem e manuseio da biomassa residual.

Após, aparecem as definições tecnológicas quanto ao tipo de queimador e caldeira (quando for o caso), equipamento de conversão e seus acessórios. Conclui a lista com duas atividades muito importantes: o tratamento da água a ser utilizada na unidade e o tratamento dos resíduos gerados no processo (gasosos, líquidos e sólidos). Em termos de processos industriais a UTE é um sistema bastante simples, empregando tecnologias conhecidas há décadas, variando seu arranjo em função do porte de geração, da relação eletricidade/calor necessária e de características físico-químicas da matéria-prima.

Porém a construção de um projeto de processo plenamente adequado às necessidades de um determinado empreendedor passa obrigatoriamente por um emaranhado de detalhes e alternativas de concepções de processo que, somente quando adicionados a parâmetros de custos, tais opções se encontram instrumentalizadas a fornecer o real perfil da melhor solução. Esta opção tem sido descartada pelos “pacotes tecnológicos” existentes no mercado, fazendo com que o empreendedor seja onerado significativamente ao final do processo. Corre-se, ainda, o risco de ter-se soluções inadequadas e pouco flexíveis.

A seguir apresentam-se os principais constituintes tecnológicos de tais plantas, dando ênfase ao ciclo de vapor e equipamentos que existam no mercado nacional atualmente, procurando de modo resumido dar um enfoque genérico.

IV.3.1. Definição e preparo do combustível.

Esta fase envolve desde um estudo preliminar de disponibilidade de combustível, suas características técnicas (umidade, PCI, granulometria, composição e teor de cinzas, estado físico, etc), pré-viabilidade econômica de seu emprego, até avaliação quanto à coleta, transporte, recepção, armazenagem, secagem, diminuição de tamanho e outras pré-operações.

Os principais equipamentos empregados nessa fase são: caminhões, tratores, silos, moegas, transportadores (de correia, rosca, pneumático, etc), picador, briquetador, secador, e outros, além de construções (galpão, telhado, reator específico, etc). Varia grandemente com o material e processo escolhido.

IV.3.2. Conjunto queimador - gerador de vapor.

Na maioria dos casos, a transformação da biomassa em energia se dá por combustão direta, com geração de vapor em um conjunto genericamente denominado de caldeira, o qual é constituído de dezenas de itens, predominando a sua divisão grosseira em: queimador e gerador de vapor.

As exceções ficam por conta das caldeiras de recuperação (desenhadas para aproveitamento de calor residual) e a utilização do gás gerado e convertido em energia na combustão em turbinas apropriadas e motores estacionários.

Os queimadores podem ser, segundo Moura, op. cit., de grelhas fixas (planas e inclinadas), grelhas basculantes, vibratórias, rotativas e de avanço, e leito fluidizado (pressurizado e atmosférico).

Já os geradores de vapor a combustível dividem-se em dois grandes grupos: o fumotubular (ou flamotubular) e o aquatubular. O primeiro é constituído de câmara de combustão, câmara de água e câmara de vapor, sendo que os gases de combustão passam através de tubos que se encontram mergulhados no reservatório de água. Indicado para qualquer tipo de combustível, necessita de maiores cuidados na limpeza dos tubos e apresenta uma vida útil de 15 anos [AAE, 1998].

O outro tipo consiste da passagem de água em tubos envolvidos pelos gases quentes. Exige um investimento 50% maior que o anterior, mas possui capacidade de produção (t/h) e pressão de trabalho superiores, alcançando vida útil de 30 anos [AAE, op. cit.].

Há também uma classificação secundária quanto ao percurso dos gases quentes e conseqüente disposição da tubulação, dividindo as caldeiras em horizontais e verticais.

Assim sendo, o tipo de caldeira determina-se pela avaliação conjunta da necessidade de produção horária de vapor, pressão de trabalho e combustível disponível. Outros acessórios importantes fazem parte do conjunto, como o superaquecedor de vapor, o economizador (pré-aquecedor de ar de combustão), além de instrumentação adequada.

O desempenho de tais equipamentos é bastante variável, na faixa de 60 a 90 % do calor contido no combustível. Pode ser melhorado com isolamento térmico adequado, controle de entrada de ar primário e secundário, reciclo de água condensada e outros cuidados.

IV.3.3. Conjunto conversor mecânico – redutor de velocidade.

Como já abordado anteriormente, para as condições em apreço (ciclo convencional), existem duas possibilidades para a transformação da energia contida no vapor em energia mecânica: o motor a vapor (horizontal e vertical) e a turbina a vapor.

Os motores a vapor ainda carecem de maior rendimento e confiabilidade operacional, especialmente em termos de horas efetivas. Devem ser desenvolvidos sistemas de controle que permitam um menor gasto de óleo lubrificante, bem como possibilitem a condensação de vapor para reciclo, com isso se diminuem consideravelmente os custos operacionais.

Nos últimos anos, a indústria nacional desenvolveu turbinas de ação, em simples estágio, que podem operar em ampla faixa de potências, desde 200 kW, ou até menos, até o dobro, para mesma unidade (é claro que com eficiência variável). O grande número de horas sem manutenção, a confiabilidade e simplicidade desses equipamentos, aliado à queda de seu custo (por maior volume de produção) e fundamentalmente o rendimento maior de tais máquinas (comparadas aos motores) tornam a turbina a vapor a melhor alternativa atual.

As turbinas podem ser de simples (SE) e múltiplos (ME) estágios e de ação e reação, como já foi mencionado. Além disso, podem ser de contrapressão (o vapor de saída apresenta pressão superior à atmosférica e determinada pelo processo produtivo), e de condensação (prioriza a geração de força e o vapor é totalmente condensado e retornado à caldeira, podendo operar também abaixo da pressão atmosférica, ou seja à vácuo).

Elas podem ou não possuir extração, isto é, retirada de vapor em um ponto intermediário da turbina, geralmente objetivando uso do vapor em algum processo industrial e que implica necessariamente no modelo ME, com quedas no rendimento e quantidade de força gerada, devido a tal retirada de vapor.

A partir de dados práticos do desempenho de turbinas a vapor, estabeleceu-se os seguintes parâmetros em relação à queda de pressão (QP) na turbina:

Pressão de 21 kgf/cm ²	Tipo da turbina	Índice kW/t vapor.h em relação à queda de pressão
QP de até 16 kgf/cm ²	SE	3,15
	ME	4,27
QP acima de 16 kgf/cm ²	SE	2,66
	ME	3,62
Pressão de 42 kgf/cm ²		
QP de até 32 kgf/cm ²	SE	2,07
	ME	2,81
QP acima de 32 kgf/cm ²	SE	1,91
	ME	2,59
Pressão de 62 kgf/cm ²		
QP de até 48 kgf/cm ²	SE	1,33
	ME	1,81
QP acima de 48 kgf/cm ²	SE	1,65
	ME	2,24

Tabela IV.6 – Índice de potência gerada por t/h de vapor e queda de pressão.
Fonte: AAE, 1998.

Assim, escolhe-se a turbina em função da geração de energia elétrica desejada, da necessidade de cogeração, da disponibilidade de máquinas para o porte e do rendimento da planta, fatores que influem diretamente no retorno do investimento.

Já o sistema de redução de velocidade objetiva ajustar ou sincronizar a rotação do motor ou turbina (geralmente mais elevada) para a do gerador elétrico, que se situa na faixa de 1800 rpm. O conjunto turbina-redutor é comercializado com a instrumentação de controle e comando necessária; os rendimentos oscilam em torno de 36-39% e 97,5 %, respectivamente [AAE, op. cit.].

IV.3.4. Gerador e sistema elétrico.

O gerador é um sistema robusto, de grande eficiência (em média 94%) e relativamente barato, que transforma a energia mecânica transmitida pelo eixo em energia elétrica, geralmente em corrente alternada, por isso também é chamado de alternador.

São produzidos nacionalmente em várias escalas e modelos, empregando-se, para os casos em análise, o gerador síncrono de 4 polos, frequência 60 Hz a 1800 rpm, nas mais variadas faixas de tensão, as quais irão depender das opções de voltagem a gerar, ou das limitações ditadas pelas correntes obtidas para uma dada potência.

Quanto aos sistemas de arrefecimento, esses possuem basicamente duas concepções: sistema de arrefecimento ar-ar e ar-água.

A classe do gerador será determinada, basicamente, em função do regime de operação requerido e do tipo de ambiente ao qual o equipamento estará submetido.

O gerador deve possuir um nível de confiabilidade condizente com o exigido pela concessionária de energia, fato que leva a que este esteja acompanhado invariavelmente dos seguintes equipamentos:

- resistência elétrica para desumidificação;
- painel (componentes recomendados pelo fabricante);
- excitatriz de corrente alternada, do tipo sem escovas (*brushless*);
- regulador de tensão;
- detetores de temperatura do estator e dos mancais;
- sistema completo de arrefecimento; e
- caixa de terminais.

O conjunto de elementos que compõem o do sistema elétrico, e condicionam a energia produzida no gerador, deve estar de acordo e compatibilizado com o esquema elétrico proposto e/ou projetado para a central, o que irá depender dos conceitos de auto suprimento e/ou inserção de energia elétrica na rede da concessionária, buscando-se, nesse caso, atender às normas pré estabelecidas pela mesma.

De uma forma geral, o sistema de interligação é composto por dupla medição, com controles de sobretensão, subtensão, subfrequência, sobretensão no neutro (seqüência zero), sobrecorrente de fase e de neutro, e sincronismo. Tais controles objetivam garantir a integridade do sistema e não permitir que o autoprodutor energize a rede da concessionária, quando o sistema estiver desligado (segurança para os operadores da rede). A atuação destes relés de proteção é feita através de disjuntor de alta e de baixa tensão.

V. Revisão das principais ferramentas metodológicas.

Acompanhar os impactos ambientais do desenvolvimento econômico, aperfeiçoando as políticas públicas, é função da chamada "economia ambiental" e que visa melhor inserir, no processo decisório convencional, as questões sociais e de meio ambiente. Na base deste campo da economia estão a otimização econômica e a alocação eficiente de recursos que, no entanto, não são de fácil aplicação em situações conflitantes como as encontradas nas propostas de desenvolvimento sustentado [Munasinghe, 1993].

Muitos são os métodos de avaliação disponíveis para a análise do potencial de geração termoelétrica, ainda que pelo aproveitamento regional dos resíduos agrícolas existentes. Seu emprego depende da necessidade, do desenvolvimento da proposta e do aprofundamento da análise. Um desses, a razão custo-benefício (ACB – Análise Custo Benefício), derivada da economia clássica e usada nos negócios privados, deu origem à análise custo-benefício social (ASP – Análise Social de Projetos), de maior emprego em projetos governamentais e que está baseada no conceito de “excedente” pró consumidor.

De um modo geral, os métodos de avaliação econômica empregam três índices básicos, conhecidos como: valor atual líquido (valor temporal do dinheiro), razão benefício/custo (que é o próprio índice de valor social presente) e taxa interna de retorno (geralmente expressa em percentagem ao ano). Os resultados dependem da taxa de desconto, ou atratividade, apresentada e/ou admitida pelo projeto e que representa o efeito desta, obtido ao longo do tempo.

Tais análises realizam um eficiente uso das características monetárias - todos os índices são transformados em valores monetários - e das características temporais dos valores de critério. No entanto, as informações que não podem ser quantificadas por um preço e as que são qualitativas, perdem-se, mesmo quando uma classificação completa de cada alternativa for produzida. De fato, a decisão continua carregada de fatores imponderáveis e extra projeto, ou de ordem qualitativa, que tendem a preponderar em quem vai decidir, o que não invalida o trabalho de investigação do comportamento econômico e financeiro dos projetos, pelo contrário, aponta para rumos os mais seguros possíveis.

Para avaliar-se economicamente projetos com fatores muitas vezes conflitantes e quase sempre múltiplos, emprega-se a ferramenta multicriterial, que consiste em encontrar a solução maximizada, em termos de “benefícios” (ou minimizada para os “malefícios”), atendendo uma série de restrições e critérios de valoração. Objetivando-se aperfeiçoar a análise e obter respostas

que auxiliem na tomada de decisão, é cada vez mais usada tal metodologia de avaliação multicritério (MCE) no processo de suporte à decisão, a qual enfatiza o emprego de resultados experimentais em casos complexos, onde se encontrem envolvidos vários objetivos e/ou participantes (sujeitos), acoplando a capacidade intelectual dos indivíduos ao da computação [Janssen, 1992, Schmidt, 1995 e Ensslin, 1995].

Quando se quer associar custo e benefício a outros critérios não quantificáveis monetariamente, a análise multicriterial, valendo-se da mensuração não monetária, constrói uma matriz em que se classificam atributos e objetivos em uma escala de importância, eliminando várias opções irrelevantes e tornando mais transparente o processo de *tradeoff* (taxa de substituição) final, deixando às autoridades maior possibilidade de opção [Munasinghe, op. cit.].

Eastman et al., 1995, citam como processos mais comuns de apoio à decisão, a combinação linear ponderada (ou função aditiva de valor) e a análise concordância – discordância. A primeira tem emprego em casos onde os SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) são úteis para apoiar decisões. O emprego de SIGs nessa área é recente e constitui uma evolução lógica de seus dois primeiros usos, isto é, como base de dados e ferramenta analítica.

O SIG possibilita a união de informações descritivas à localização geográfica destas. Assim, em um ambiente computacional, mediante o emprego de *software* adequado, é factível o plano de gestão de resíduos de biomassa, a estratégia de sua utilização e a visualização dos chamados PIs (Planos de Informação), tudo facilitado pela possibilidade de atualização dos dados.

V.1. Aspectos econômicos e financeiros.

A dificuldade, sob ponto de vista econômico, em aumentar a participação de biomassa, como insumo energético renovável, reside em grande parte nos preços baixos dos combustíveis fósseis [Moreira et al., 1996]. “A imagem que se teve na época dos grandes choques de petróleo (1973 e 1979) de que este combustível teria um custo crescente não se confirmou, prevalecendo a tese daqueles que mostram que o petróleo por quase um século apresentou preços estáveis com perturbações confinadas a breves momentos” [Moreira et al., op. cit.]. Em um futuro próximo, no entanto, a tendência é afastar-se desse comportamento devido ao significativo aumento de demanda de energia mundial (cerca de quatro vezes em 50 anos) e a diminuição das reservas, especialmente do petróleo e do gás natural.

Por outro lado, tal dificuldade de competição é consequência, ainda, de vários subsídios e vantagens obtidas ao longo dos tempos pelo setor de energia convencional, procurando sempre

convencer os governantes de que energia deve ser vendida por baixo preço para favorecer os mais pobres. Assim é que subsídios são muito comuns em óleo diesel e querosene em toda a Índia, em gás de cozinha em todo Brasil, diesel e querosene em várias regiões do Brasil graças à política de subsídio ao transporte.

“É necessário enfrentar a realidade atual e procurar fontes alternativas de energia capazes de competir ou se aproximar do custo do combustível fóssil. Isso ocorre em certas situações geográficas especiais, quando se obtêm incentivos que pelo menos favoreçam mais o combustível alternativo do que os fósseis, ou em situações onde há produção em escala considerável para que algumas economias típicas de mercado ocorram” [Moreira et al., op. cit.].

Enquadrado na última situação, pode-se citar o exemplo do carvão vegetal de uso siderúrgico, que no Brasil desenvolveu seu mercado graças à ausência de enxofre, o que produz aço e ferro-ligas de melhor qualidade que os que se obtêm usando carvão mineral. Exemplo de subsídio é encontrado no programa de álcool do Brasil e no programa de produção independente de eletricidade nos EUA que, além de algumas vantagens dadas pelo governo, gozaram do privilégio de poder competir com usinas nucleares e térmicas, que possuem altas obrigações para com o meio ambiente.

O atual estudo pretende comprovar as situações localmente favoráveis, que podem ocorrer em certas regiões do interior, especificamente agroindustriais geradoras de resíduos de biomassa, onde o custo do transporte, tratamento e disposição dos rejeitos e a conta de energia cubram os investimentos.

A inclusão das chamadas "externalidades" aos custos (vide Anexo Capítulo II), como contabilização do impacto ambiental, tem sido cada vez mais a preocupação dos métodos avaliadores e dos que elaboram instrumentos decisórios. Como essas externalidades são de difícil avaliação e o mercado, de um modo geral, não fixa preços corretos ao insumo energia, tem-se usado o custo marginal, isto é, o custo necessário para a produção de uma unidade adicional do bem - no caso o kWh e o kcal - como base para a determinação do preço global da energia.

V.1.1. Construção e etapas do projeto industrial.

“Um projeto pode ser entendido como um conjunto de informações, que são coletadas e processadas, de modo que simulem uma dada alternativa de investimento para testar sua viabilidade” [Woiler e Mathias, 1992]. No caso de projetos industriais, muitos aspectos estruturais podem ser avaliados em conjunto, permitindo uma análise seqüencial iterativa, visto

estarem inter-relacionados. A complexidade de cada aspecto analisado vai depender do grau de sofisticação que se propugna.

Baseado em autores como: Simonsen e Flanzer, 1974; Holanda, 1975; Woiler e Mathias, op. cit.; e Camargo, 1998, os aspectos mais frequentemente encontrados nos projetos de investimento são:

- a- econômicos: os principais itens considerados são o mercado, a localização e a escala de produção;
- b- aspectos técnicos: conduzem à seleção do processo, ao projeto de engenharia e ao *lay-out*, entre outros;
- c- financeiros: analisa a composição do capital (próprio e/ou de terceiros), as alternativas de financiamento, o capital de giro e outros;
- d- ambientais: verifica o atendimento de legislação e normas para implantação industrial, impacto ambiental e outras externalidades afins;
- e- jurídicos e legais: consideram a formação societária, individual ou cooperativada da empresa e suas implicações; e
- f- administrativos e contábeis: dizem respeito à estrutura da empresa, treinamento de pessoal, plano de contas, cronograma financeiro e outros controles em todas as fases, durante e após a implantação do projeto.

Todo projeto nasce, via de regra, na identificação de uma oportunidade de negócio a partir de procura externa, pressão interna ou política pública de incentivo a determinado setor. O investimento é feito após análise e aprovação do projeto específico, seguindo a seqüência acima resumida, o que envolve, como já foi dito, uma série iterativa, onde se procura o equilíbrio dos fatores considerados mais importantes [Woiler e Mathias, op. cit.].

V.1.2. Princípios de matemática financeira e engenharia econômica.

A seguir, procura-se apresentar um resumo dos principais conceitos de matemática financeira, empregados na análise de projetos e noções de sua aplicação na engenharia - o que constitui o ramo conhecido como “engenharia econômica”- indispensável ao perfeito entendimento dos métodos analíticos empregados. Tal apanhado está alicerçado na literatura clássica amplamente disponível e já mencionada anteriormente.

Juros.

“É o valor em dinheiro, pago pelo uso de um empréstimo”.

Taxa de juros.

“É a relação entre o dinheiro recebido pelo empréstimo e o dinheiro emprestado”. Geralmente é usada a letra “*i*” para representar esta taxa. Os juros são *compostos* quando há incidência de juros sobre juros de um determinado período de tempo. A taxa de juros *nominal*, representada pela letra “*r*”, é o valor que não considera o efeito dos juros compostos em um período de capitalização menor que o de aplicação do dinheiro. Já a taxa *efetiva*, considera esse em um período de aplicação maior que o período de capitalização.

Período de capitalização.

“É o intervalo de tempo considerado para a aplicação da taxa de juros.

Inflação.

A consideração do valor inflacionário durante o período de análise de um investimento é tarefa ligada à incerteza de quais valores a inflação poderá assumir. Quando se presume que os preços de venda dos bens e serviços da empresa irão acompanhar os mesmos índices que corrigem os preços de insumos e aplicações financeiras, a inflação passa a não ter importância nas análises e não é computada. Outras alternativas são o atrelamento a uma moeda forte e a referência do fluxo de caixa a uma mesma data base.

Não deve ser confundida com a taxa de juros e, em havendo desvalorização da moeda, o investimento deve levar este fato em consideração através da correção monetária, a qual, no entanto não está remunerando o capital investido.

Risco.

Todo investimento tem, inerente, uma incerteza, ou risco. Quanto maior o risco de um negócio, maior a taxa de juros.

Oportunidade.

Devido à escassez dos recursos, a rentabilidade de um investimento deve responder pela aplicação do capital no projeto selecionado, isto é, demonstrar sua oportunidade.

Utilidade.

O capital investido significa restrição ao consumo, e disto é esperada alguma compensação financeira útil, no caso industrial, a produção de bens duráveis e de consumo, ou mesmo serviços.

Equivalência.

“Fluxos de caixa diferentes que, para uma determinada taxa de juros, em tempos diferentes têm o mesmo valor”.

Valor presente.

Representado pela letra “ P ”, é o montante equivalente no instante inicial de uma série de pagamentos (saídas ou entradas).

Valor futuro.

Idem para o instante final de uma série, representado por “ F ”.

$$F = P(1+i)^n \quad (\text{V.1})$$

donde:

$$P = F \frac{1}{(1+i)^n} \quad (\text{V.2})$$

Série uniforme.

Uma série de pagamentos constante (U), ao longo de “ n ” períodos de capitalização, a uma taxa i , é equivalente ao valor presente de P , ou a um valor futuro F . Pelo fato de que todo desembolso, ou receita contabilizada no instante inicial, pode ser entendido como um valor presente, considera-se que as séries uniformes de pagamento são efetuadas ao final dos períodos de capitalização.

$$U = F \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (\text{V.3})$$

ou

$$F = U \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (\text{V.4})$$

e

$$P = U \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (\text{V.5})$$

Fatores diversos.

De acumulação de capital: $FAC'(n,i) = F / P$

De valor presente, ou atual: $FVA'(n,i) = P / F$

De acumulação de capital: $FAC(n,i) = F / U$

De formação de capital: $FFC(n,i) = U / F$

De valor atual: $FVA(n,i) = P / U$

De recuperação de capital: $FRC(n,i) = U / P$

Depreciação.

“É um meio contábil de distribuição do custo de um determinado bem de capital, ao longo de sua vida útil, de maneira sistemática e racional”.

Ao se calcular o fluxo de caixa de um projeto, a receita oriunda da depreciação contábil dos equipamentos não deve ser esquecida. A depreciação é um dispositivo fiscal e legal que permite considerar a desvalorização do ativo fixo ao longo de sua vida útil, reduzindo o lucro líquido antes do imposto de renda.

Existem duas tendências distintas: a dos “engenheiros”, que supõe a depreciação ao longo da vida útil do bem em questão, e a dos “contadores”, que procura acelerar ao máximo a depreciação, dentro do que permite a lei, se possível no prazo de pagamento do empréstimo.

Como tal redução é apenas contábil, não existindo desembolso real de recursos, a depreciação é encarada como receita nas análises de investimentos. Por sua relação com o pagamento de impostos, existe legislação específica da Receita Federal, que estabelece a vida útil de cada tipo de equipamento para esses fins.

Impostos.

O Imposto de Renda (IR) de uma empresa é calculado sobre o lucro desta. Lucro é definido como: Receitas – Despesas. Há diversos abatimentos e artifícios fiscais que podem incidir sobre essas duas parcelas, antes que se aplique o percentual legal do IR.

Nas receitas obtidas a partir de um projeto de redução de consumo de energia, devem ser considerados os impostos associados à comercialização do energético, ou seja, a receita deve ser calculada incluindo-se os respectivos impostos. Por outro lado, o resultado em cada exercício fiscal, oriundo das melhorias obtidas com o projeto, irá aumentar o rendimento tributável e será, portanto, sujeito à taxaço pelo imposto de renda, fazendo com que o rendimento líquido (após o IR) seja inferior à simples economia ou ganho que o projeto possa proporcionar.

Dois outros impostos incidem sobre o eventual excedente de energia produzido, que são o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS, de competência estadual) e o Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISSQN, municipal), com taxas diferenciadas e variáveis regionalmente.

Equipamento novo/substituição.

Quando se estuda a implantação de um projeto novo (com todas alternativas referindo-se a equipamentos novos), ou se deseja substituir um equipamento já no final de sua vida útil, compara-se a atratividade da aquisição pelo uso de um dos métodos acima citados. No entanto, quando se trata de substituição de equipamento ainda não totalmente depreciado (como uma caldeira de baixa pressão por uma de vapor superaquecido), deve-se computar a eventual receita com alienação do equipamento existente, o que poderá reduzir a necessidade de desembolso inicial, melhorando a atratividade do novo investimento.

Custos variáveis ou operacionais.

É toda natureza de custo relacionado à unidade de produção (no caso kWh_e), tais como: mão-de-obra na produção, manutenção de equipamento e instalações, insumos diversos e outros.

Custos fixos.

É toda ordem de gastos de ordem administrativa necessários à manutenção da produção, tais como: despesas com pessoal administrativo, material de expediente, serviços de terceiros, taxas bancárias e outros.

V.1.3. Critérios quantitativos para avaliação de alternativas de investimentos.

Para os órgãos financiadores é importante que um determinado projeto tenha “viabilidade financeira”. Já para os empresários, o interesse está na “viabilidade econômica” de tal projeto. Para que se possa comparar várias propostas e alternativas de investimento, é necessário que seja estabelecido um conjunto de critérios que, geralmente baseados no valor temporal do dinheiro, e sujeitos a hipóteses simplificadoras, permitem também concluir a respeito da viabilidade ou não das configurações apresentadas.

Nesse sentido, os critérios quantitativos mais usados como métodos de comparação em engenharia econômica são sucintamente descritos a seguir. Tais critérios resumem toda a informação existente em um número, o qual expressa a condição da proposta e pode submeter esta à aceitação ou rejeição, mediante a comparação com um determinado padrão escolhido na análise. Vários outros enfoques aparecem na literatura, como se pode constatar no artigo de Johnson, 1994, o qual apresenta um resumo das ferramentas de análise de investimento.

Tempo de recuperação ou *Payback*.

É um critério de grande aceitação prática por ser simples de calcular, sendo uma exceção por não considerar o valor temporal monetário. Woiler e Mathias, op. cit., o definem como: “o prazo de tempo necessário para que os desembolsos sejam integralmente recuperados”. Não considera, portanto, nem os juros nem os rendimentos após a recuperação dos valores investidos.

O prazo de tempo é geralmente contado a partir da operação da planta e a empresa aceita os projetos que apresentarem tempo de recuperação menor ou igual a um determinado “prazo-limite” por ela fixado, que depende de características do setor em que se insere a atividade industrial em questão. A informação obtida é bastante incompleta e pode ser melhorada mediante a aplicação do conceito de valor presente às receitas, a uma dada taxa de juros (fluxo de caixa descontado), produzindo o tempo de recuperação descontado, ou *Payback* descontado.

Custo anual (ou mensal) equivalente.

Também é chamado simplesmente de custo equivalente, e nada mais é que a conversão dos desembolsos e receitas de um projeto em uma série uniforme “U” [Camargo, op. cit.]. É bastante sensível à taxa de juros “i” escolhida no cálculo da série uniforme, bem como ao IR incidente, que deve ser descontado da taxa de juros real. A alternativa escolhida será aquela cuja série apresente maior benefício mensal ou anual, conforme o período de análise “n” escolhido.

Valor atual (ou presente) líquido.

Tomada uma certa taxa de juros, também conhecida como “taxa de desconto”, o VAL, ou VPL, é a soma algébrica dos saldos do fluxo de caixa, descontados àquela taxa e computados, geralmente, ao final de cada período, porém referidos ao instante inicial.

Esse é um método bastante semelhante ao anterior, pois também consiste no cálculo do valor presente de receitas e pagamentos, só que estes são referidos aos valores iniciais, e não mais ano a ano, ou mês a mês.

Tomando os juros bancários como taxa de desconto, tem-se a “taxa mínima de atratividade” que pode viabilizar uma determinada alternativa de investimento. Se os recursos forem próprios, costuma-se usar como taxa mínima os juros que o empresário obterá aplicando o dinheiro no mercado financeiro, que no caso brasileiro tem por mínimo a remuneração oferecida pela poupança.

Com uma dessas taxas de desconto, o cálculo do VAL é feito conforme a equação

$$\text{VAL} = \frac{(P_n)}{(1+i)^n} \quad (\text{V.6})$$

e o investimento é considerado atrativo se apresentar valor final positivo, significando que os ganhos remuneraram o capital investido à taxa considerada, permitindo ainda o aumento do capital da empresa no valor encontrado. Obviamente, caso o valor seja negativo, o projeto deve ser rejeitado, pois as receitas não cobrem o custo do capital da empresa.

Alguns autores usam também o “índice do valor atual” (IVA), que consiste em dividir os valores atuais das receitas pelo das despesas. Se este quociente for igual ou maior que a unidade, o investimento no projeto pode ser recomendado (já considerando os riscos).

Taxa interna de retorno (TIR).

Nos critérios anteriores verificou-se a necessidade de estabelecimento de uma taxa de juros, com a qual se compara a atratividade de aplicação do recurso, como se este fosse investido em um mercado financeiro com conhecida rentabilidade. A variação de tal taxa tem influência

profunda sobre as conclusões de viabilidade e, para estender a análise a uma faixa mais ampla de taxa de juros, emprega-se o método da “taxa interna de retorno”, que pode ser conceituada como: a taxa de juros (ou de desconto) que torna nulo o valor atual (ou presente) líquido de um determinado investimento.

A decisão recai sobre as maiores TIR, isto é, quanto maior, mais atrativo é o investimento. Porém a escolha vincula-se ao custo do capital a ser investido pela empresa (risco ou incerteza implícitos), o qual apresenta-se como a taxa de desconto mínima e, assim, só se classificam os projetos que apresentem TIR superior a esse mínimo (TIR descontada).

V.1.4. Um breve histórico de avaliações de interesse realizadas.

Neste item, pretende-se arrolar alguns dos principais estudos desenvolvidos, sob o enfoque econômico, em pequenas gerações termoelétricas e de plantas com uso de biomassa como combustível. Note-se que o interesse não está tanto nos resultados finais, uma vez que a gama de combustíveis, para o primeiro caso e de tecnologias, para o segundo, é muito grande, mas sim nos métodos de análise e nas conclusões e sugestões geradas pelos analistas.

Setor sucro-alcooleiro nacional.

Uma radiografia técnico-econômica das possibilidades de cogeração, com emprego de bagaço de cana-de-açúcar como combustível, foi feita por Walter, 1995, avaliando a condição de atendimento da demanda energética de uma empresa e a eventual comercialização de excedentes produzidos, sujeitas a quatro condições tecnológicas:

CPA, ou turbinas em “contrapressão atual”, condição da maioria das empresas, operando com vapor a 2,2 MPa e 300°C;

CPAT, “contrapressão alternativa”, em que 50% da energia é gerada como na opção anterior e o restante é gerado com vapor a 6,2 MPa e 450°C;

CEAT, sistema “alternativo extração-condensação”, que exige vapor a 8,0 MPa e 470°C, que passa e máquina de dupla extração (uma a 2,2 MPa para alimentar moendas e outra a 0,247 MPa para vapor de processo); e

G-GT-CC, ou “gaseificador de biomassa, turbina a gás e ciclo convencional”, ainda em testes e desenvolvimento.

Adotando o critério do “Valor Presente Líquido” e empregando uma taxa de desconto de 15,2% a.a., o autor analisou o comportamento econômico-financeiro do auto abastecimento de

70% da necessidade de energia elétrica. Utilizando a opção CPA, simulou variações no preço de venda do bagaço (US\$ 7,5 e 10,0 por tonelada), na tarifa paga pelo excedente (US\$ 34, custo marginal de expansão do sistema Sul/Sudeste em 1994; US\$ 41, avaliação do mesmo custo feita em 1993; e US\$ 55, avaliação do custo marginal de geração acrescido do custo de transmissão) e na tarifa de fornecimento para consumidores do subgrupo A4 (de US\$ 35 a 105), cujos resultados se encontram resumidos no gráfico da Figura V.1 que segue.

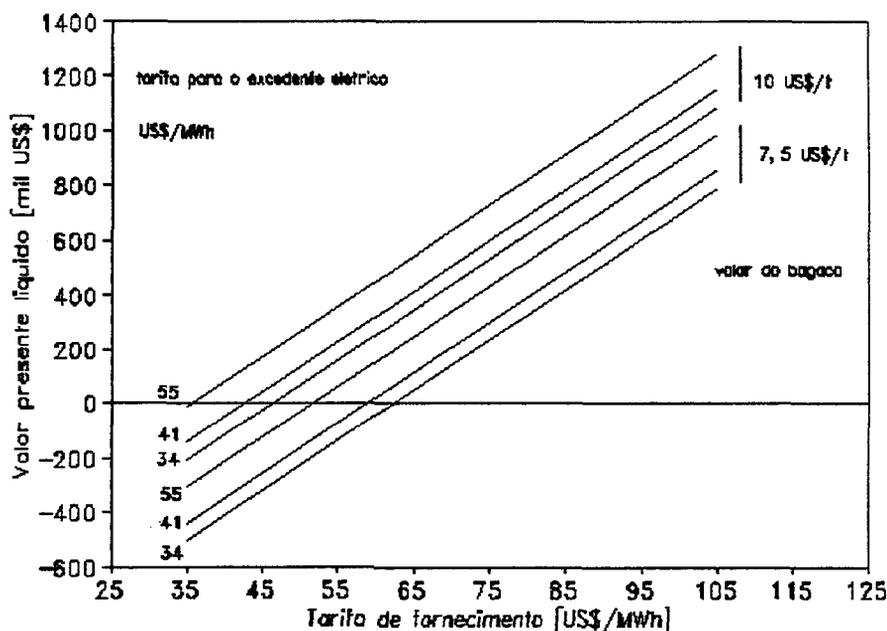


Figura V.1 – Viabilidade econômica da auto-suficiência em usina canavieira com índice 0,7 – Critério do VPL.

Fonte: Walter, 1995.

Na análise da viabilidade de produção de excedentes, o autor compara as demais tecnologias citadas à condição de auto-suficiência tradicional, empregando a TIR e o *Payback* como critérios de análise. Os resultados são simulados para três condições de investimento: sem nenhum financiamento; com financiamento (condição 1) de até 70% do valor da obra, juros de 12% a.a., carência de 1 ano e 8 anos para amortização; e (condição 2) até 80%, com juros especiais de 10% a.a., carência de 3 anos com amortização em 7, adicionada da condição de depreciação acelerada em 5 anos, como benefício fiscal lícito. A Tabela V.1 apresenta a síntese das simulações.

Condições	CPAT		CEAT		G-GT-CC	
	TIR	Payback	TIR	Payback	TIR	Payback
Sem financiamento	0,088	9,2	0,137	6,7	0,121	7,4
Financiamento (1)	0,111	11,9	0,287	2,2	0,230	2,5
Financiamento (2)	0,273	1,8	0,663	1,4	0,481	1,6

Tabela V.1 – Resultados da análise econômico-financeira das alternativas de cogeração elétrica para empresas do setor sucro-alcooleiro.

Fonte: Walter, 1995.

“Os resultados apresentados evidenciam a importância das linhas de financiamento e dos incentivos de natureza fiscal para a alavancagem de empreendimentos do gênero. A combinação de vários desses recursos pode fazer com que investimentos de alto risco passem a ser bastante atraentes. Cabe notar que em praticamente todo o mundo os investimentos em cogeração só foram viabilizados em larga escala a partir da criação de programas especiais de fomento” [Walter, op. cit.].

Por fim, considerando a inexistência de mecanismos de alavancagem dos investimentos, o autor conclui que a atratividade só se concretiza para o auto-abastecimento elétrico, uma vez que tarifas acima de 60 US\$/MWh são necessárias para o caso de venda da eletricidade excedente produzida. A principal razão para tal resultado estaria na dificuldade de remuneração do capital investido, em função do baixo período de produção ao longo do ano.

Sistemas de geração tradicionais, empregando máquina a vapor.

Dos vários estudos com sistemas tradicionais disponíveis na literatura, destacam-se:

- a- o trabalho de dissertação de Iberê L. Nodari, por sua atualidade (foi realizado em 1995/96 no PROMEC-UFRGS) e porque centrou-se basicamente na verificação do estágio atual e das possibilidades da geração termoeletrica via biomassa no Estado. Sob o ponto de vista econômico, estudou um caso de geração elétrica que há mais de 40 anos funciona na Cooperativa Agrícola Cachoeirense, com potência instalada de cerca de 250 kVA, produzindo energia através de uma máquina a vapor horizontal, tipo locomóvel, com vapor obtido em caldeira que queima casca de arroz. Comparando os custos fixos e variáveis do projeto, sem considerar o equipamento que já estava amortizado, e as contas de energia elétrica em períodos de diferenciação

tarifária (úmido e seco), comprovou ser uma excelente alternativa econômica para a Cooperativa pois, embora não atendesse toda a demanda energética do engenho, produzia uma economia anual de R\$ 72 mil. Mediante uma observação criteriosa do processo global de queima, geração de vapor, transformação e transmissão mecânica e geração elétrica, Nodari calculou o rendimento, com uso da locomóvel como dispositivo gerador de força, em 7,37%. Com tal rendimento, concluiu ser possível atender cerca de 70% das necessidades elétricas de um engenho de arroz.

- b- o estudo realizado pelo Dr. Prasad, da Universidade do Pacífico Sul, entre 1988 e 1993, por ser uma análise teórica e experimental conduzida em outro país, porém com atenção ao aproveitamento energético de biomassa para geração de eletricidade e calor em pequena escala (30 kW_e). O principal objetivo foi a determinação da performance teórica de um sistema de cogeração alimentado com biomassa (especialmente resíduos da indústria florestal e madeireira), constituído de um queimador/gerador de vapor monotubo, uma máquina a vapor com três cilindros e alta performance (tipo Piston-Operated-Valve; talvez do tipo Spilling®), um alternador, trocador de calor, condensador e outras unidades auxiliares.

Parâmetro	Mínimo	Máximo
Umidade da biomassa (% b. u.)	0	60
Excesso de ar (% ao estequiométrico)	0	200
Eficiência da geração de vapor (%)	49	84
Eficiência da máquina térmica (%)	13	18
Eficiência global da planta (%)	8,4	11
Custo de geração (US\$/kWh)	0,10	0,14
Razão de geração (kWh/kg _{combustível})	0,2	0,7

Tabela V.2– Performance do sistema de cogeração termoelétrico (30 kW_e).

Fonte: Prasad, 1995.

A Tabela V.2 resume a performance do processo, baseados em valores reais experimentais de dois diferentes centros de pesquisa, em várias “corridas” com os equipamentos considerados. Observa a importância das propriedades do combustível (principalmente a umidade), sua taxa de alimentação, as condições de saída da caldeira (vapor e ar de exaustão) e as de entrada de vapor na máquina térmica (pressão e

- temperatura de superaquecimento), e faz uma análise percentual dos principais pontos de perda de calor (energia) no processo de combustão e geração de vapor.
- c- o da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), com relatório publicado em 1986, por também estudar a questão da casca de arroz e seu aproveitamento energético no Estado. Nesse projeto, foi realizada uma pesquisa de viabilidade econômica de atendimento da demanda energética de engenhos de arroz, pelo emprego de duas tecnologias de combustão (grelha tradicional e leito fluidizado) associadas à máquina a vapor horizontal monocilíndrica, além de gaseificador acoplado a grupo gerador. Empregando a metodologia de cotejar o “Custo Anual Equivalente” (que inclui o investimento, o fator de recuperação de capital a uma dada taxa e em um certo tempo, e as despesas operacionais), para diversos níveis de utilização, com o custo do kWh adquirido da concessionária, conclui pela não competitividade dos sistemas providos de máquina a vapor, para engenhos com capacidade menor que 70 sacas de arroz beneficiadas por hora. É oportuno esclarecer que a única empresa fabricante dos motores a vapor horizontal (e também suas versões em locomóvel) encerrou as atividades em 1997.
- d- o Perfil de Oportunidade de Investimento (POI), sob tema “geração térmica à biomassa”, elaborado pelo Eng. Ricardo Pretz, em colaboração com o Departamento de Economia da UFRGS, para o Programa RS Emprego, da Secretaria Estadual do Desenvolvimento e dos Assuntos Internacionais e publicado em 1997. Esse aborda os aspectos estratégicos e econômico-financeiros de implantação de termoelétricas alimentadas com biomassa, analisando um exemplo de caso de uma serraria. Empregando a VAL, a TIR e o *Payback* como critérios de avaliação e valendo-se da metodologia básica apresentada por Woiler e Mathias, op. cit., chega a valores de VAL = R\$ 343.464,00, TIR = 42,6 % e tempos de recuperação simples de 1 ano e 11 meses, e 2 anos e 3 meses para o descontado. A análise é válida para um horizonte de 11 anos e Taxa Mínima de Atratividade (TMA) = TJLP (à época de 10,15 % a.a.).

Sistemas de gaseificação para geração de calor e eletricidade.

Um dos melhores e mais completos estudos de acompanhamento em plantas de geração de força e calor, é o “Biomass Gasifier Monitoring Programme – BGMP”, do Banco Mundial e cujo relatório foi publicado na forma de *paper* em 1995 [Stassen, 1995]. Tratando especificamente do monitoramento de quinze diferentes plantas e tecnologias de gaseificadores em pequena escala,

distribuídos em vários países, inclusive quatro plantas selecionadas no Brasil: duas para geração de força (de 23 kW_m e 41 kW_e), e duas para fornecimento de calor (de 670 kW_t e 4 MW_t).

Os materiais empregados na combustão variam desde cascas e outros resíduos agrícolas, até carvão vegetal não especialmente produzido para a gaseificação, passando pela lenha. Porém todos têm sua origem na biomassa fresca.

As verificações de performance dos equipamentos levaram em conta os seguintes parâmetros: máxima potência de saída; consumo específico de combustível; eficiência do sistema; e custo comparativo com a alternativa à substituição do diesel.

A qualidade do equipamento, definida pela vida tecnicamente útil, considerou itens no gás, como conteúdo de particulados e alcatrão, e causados pelo desgaste do engenho produtor de gás, como particulados, metal presente no óleo, paradas para manutenção, bem como dificuldades de início de operação. Já sob a ótica de operacionalidade, foram considerados a mão-de-obra, a segurança e a poluição ambiental.

O desempenho econômico dos gaseificadores foi analisado considerando os custos financeiros e as diversas performances acima citadas, especialmente no plano de substituição dos conjuntos alimentados com diesel e gasolina, tidos como principais alvos de substituição imediata pela tecnologia em questão. Desse modo, contabilizados os custos fixos (sistema de manipulação da matéria prima, aparelho de gaseificação e limpeza do gás, motor de combustão, gerador ou bomba ou compressor, obras civis, transporte, instalação, seguros e outros) e os variáveis (mão-de-obra, combustível, manutenção e outros), chegou-se a números bastante dispersos quanto ao investimento específico de geração (em US\$/kW_e) e custos operacionais (em US\$/kWh). Tais índices dependem fortemente das condições locais de produção, instalação e manutenção do equipamento, bem como do regime de operação da planta.

O projeto criou um critério chamado BEDP (preço da tonelada de diesel que, queimado em um motor ciclo diesel, produz a mesma potência a um mesmo custo que o gaseificador em exame). Pelas características de análise, os três principais parâmetros que influem na variação do BEDP são: custo fixo do equipamento, número de horas operadas à plena carga pela planta e o valor pago pela biomassa.

Para o caso da biomassa casca de arroz, cuja tecnologia de gaseificação não está totalmente desenvolvida, aplicada em plantas de geração entre 30 e 100 kW_e, o BEDP apresentou um mínimo de US\$ 250 a 150 em plantas de baixo custo e 3000 horas de operação à plena carga, subindo para US\$ 430 a 290 em regime de 1000 horas, considerando custo zero para a matéria prima. Como esse é um caso de exceção e o preço máximo do diesel, incluindo transporte e

custos de refinação do petróleo a aproximadamente US\$ 18/barril, chega a US\$ 250/t, as plantas de gaseificação em geral, só se viabilizam em altos regimes de operação, ou se o petróleo tiver um aumento de 1,5 a 2 vezes o atual preço.

Nodari, 1996, apresenta resultados de testes feitos na REPLAN-PETROBRAS, que comprovam a viabilidade do gás de madeira gerado, bem como sua competitividade com os fósseis: gás natural e óleo combustível. Para um preço de US\$25 por tonelada de cavaco de eucalipto, em investimento para 15 anos com taxa de juros de 15% a.a., o custo do gás gerado, usando o critério adotado de preço do barril equivalente de petróleo, foi de US\$15,08, portanto menor que o preço médio do petróleo.

Já a CIENTEC, 1986, desenvolveu estudos de gaseificação em leito fluidizado para produção de calor em torno de 1 a 5 Gcal/h, conhecido por projeto CIVOGÁS. Originalmente desenhado para o carvão e posteriormente adaptado para madeira picada (MADEGÁS), teve seus dados técnicos publicados, mas nenhuma avaliação econômica foi divulgada e/ou atualizada.

A Fundação participa, ainda, junto com outros órgãos de pesquisa e empresas nacionais e internacionais, do projeto BIG-GT (Biomass Integrated Gasification - Gas Turbine) patrocinado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, que desde o início da década vem estudando o sistema de cogeração a partir de biomassa gaseificada, prevê a implantação e operação de unidade de demonstração com 25 MW de potência, 45% de eficiência - ciclo de vapor em condensação total – a um custo de US\$2.500,00 [Elliott e Booth, 1993].

Conclusão.

Como se vê, ainda há grandes discrepâncias entre as avaliações de custo de geração. Entretanto, esse problema é fundamental e precisa ser resolvido para que se possa realmente calcular o valor real dos energéticos renováveis, em especial a biomassa residual, quando comparado aos fósseis.

Um grande esforço está sendo feito pela União Européia, através de projetos como o THERMIE e o EUBIA, com a finalidade de aperfeiçoar as novas tecnologias, colocando-as em produção através da iniciativa privada e, ao mesmo tempo, usando uma rede européia de institutos de pesquisa para, além de desenvolver, acompanhar e avaliar o desempenho das novas instalações que vão sendo implantadas.

A maioria dos artigos concorda que a alocação de subsídios por parte dos governos não é recomendável por grandes intervalos de tempo. Porém, concordam ainda que incentivos fiscais, isenções tributárias e programas de fomento ao setor de energias renováveis, serão fundamentais

para o sucesso de sua instalação e permanência (uma prova disto é a situação do etanol no Brasil, recentemente agrava por desvios das políticas públicas, o que parece muito complicar a sua continuidade e seu crescente aperfeiçoamento).

O Ministério das Minas e Energia (MME) do Brasil possui programas no sentido de incentivar a aplicação de recursos no setor energético renovável, como o PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios), o PROMASE (Programa de Bioeletricidade Para Suprimento de Comunidades Remotas e Meio Rural), além de outros para setores de grande porte, como o sucro-alcooleiro. Porém, ainda são tímidos no incentivo à produção e desenvolvimento nacional de tecnologia, abrindo muito as oportunidades para a compra de pacotes internacionais, que geralmente têm seu funcionamento questionável.

V.2. Geoprocessamento auxiliar.

O geoprocessamento baseia-se em um poderoso conjunto de ferramentas conhecido por Sistema de Informação Geográfica (SIG), que faz uso de determinadas operações para a administração (aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e visualização) eficaz de dados espacialmente referenciados de regiões, municípios e estados [Detoni et al., 1996].

Essa técnica compreende, entre outros, a digitalização de mapas, o fornecimento de bases cartográficas, o correlacionamento de dados gráficos e literais e o sistema de informações geográficas. Este último, constituído de um sistema capaz de adquirir, armazenar, analisar, manipular e visualizar dados geo-referenciados, é útil na locação de instalações que dependam de uma multiplicidade de critérios e objetivos, em especial de dados e/ou atributos referentes à existência de resíduos de biomassa e a possibilidade de geração termoeétrica.

As informações que tenham interesse e relevância devem, para que possam ser processados em um SIG, apresentar-se em uma das três formas de entrada no sistema:

- a- vetorial, que determinam limites regionais e demarcam rios, estradas, linhas de energia, etc;
- b- *raster*, que constituem as imagens e fotos; e
- c- alfa-numéricos, com informações e dados, geralmente no formato ASCII.

O SIG permite que se faça uso de uma única base de dados e que, espacialmente distribuídos e contendo diversas informações, se gere mapas derivados a partir da combinação desta informações, através de um programa de manipulação (*software*), bem como se torna

possível a reprodução, visualização e lançamento de dados primários e secundários, todos geocodificados [Câmara, 1993].

Cada "mapa" gerado e contendo informações referentes a um "tema", constitui um plano de informação (PI), o qual pode ter seus dados manipulados constantemente, sendo ainda possível realizar operações de cruzamento ou superposição entre dois ou mais PIs, diretamente via software. A localização e descrição dos dados podem ser em formato vetorial (que preservam as características de topologia), matricial (que representam campos) e grade.

Os PIs são divididos em três categorias:

- a- temáticos - usados no trabalho desta proposta com mais frequência, como malha viária, rede de distribuição de energia, hidrografia, uso do solo, etc;
- b- Modelo Numérico do Terreno (MNT) - mais específico a dados altimétricos; e
- c- imagens - arquivos contendo imagens de satélites e fotos aéreas.

Para que os distintos formatos de PIs possam ser processados, faz-se necessário o estabelecimento de um sistema único de coordenadas, uma espécie de mapa básico georeferenciado da região em estudo, podendo ser UTM (ortogonal, em metros) ou geodésico (latitude e longitude geográficos). As possíveis operações com PIs são (Figura V.2): reclassificação, sobreposição, medição de distâncias, conectividade, caracterização e sumarização de vizinhanças.

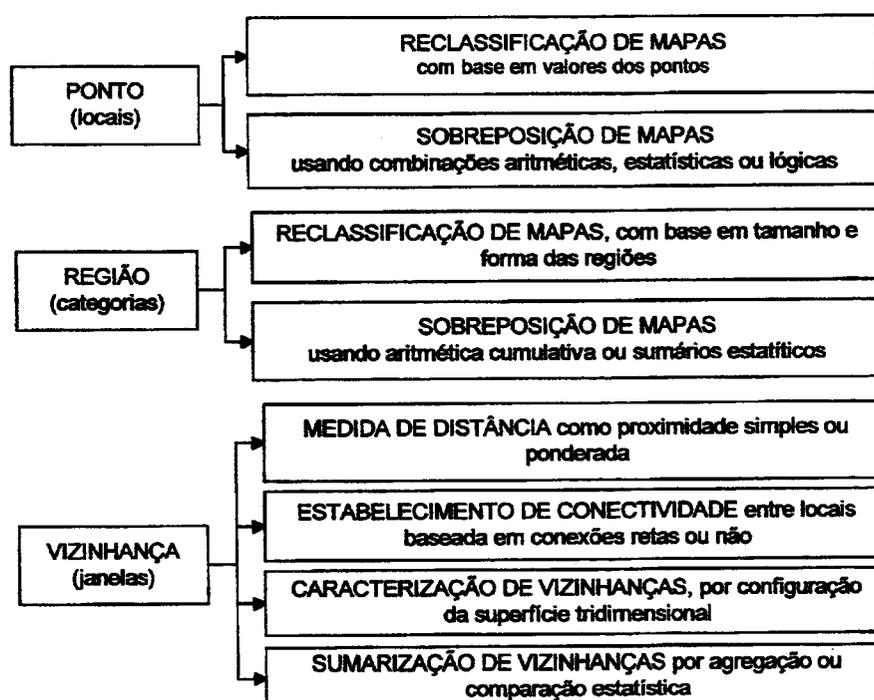


Figura V.2 – Operações com PIs.

Fonte: Detoni et al., 1996.

No Brasil é ainda pouco empregado - embora seja o terceiro “consumidor” mundial de imagens, induzindo muitos projetos de exploração de recursos naturais a avaliações incorretas. Muitos países, que possuem um geoprocessamento integrado, atualizado e implantado, utilizam-se da base de informações com dados sobre malha viária, malha de comunicação, malha de distribuição de energia e zonas de disponibilidade, padrão de consumo populacional e outros, na elaboração de projetos industriais e comerciais, bem como na análise destes para fins de financiamento [Klink, 1996; Rocha, 1997].

V.3. A tomada de decisão apoiada por sistemas de análise multicriterial.

Cada vez mais se tem valorizado a decisão e aqueles que a sabem tomar corretamente. No processo que leva à tomada de decisão, necessita-se mais do que inteligência, bom senso e sorte. Modernamente, é fator fundamental a informação: tê-la, saber onde buscá-la e, sobretudo, interpretá-la ou compreendê-la.

A decisão é um comprometimento com a ação, juntamente com os recursos. Os tomadores de decisão, ou decisores, são indivíduos, ou grupos de indivíduos que geram parâmetros e opiniões que, no processo da tomada de decisão, definem a escolha entre alternativas no andamento da ação [Chankong e Haimes, 1983 citados por Janssen, op. cit.], isto é, na gestão dos recursos.

Sendo a decisão considerada uma alternativa de solução a um problema que surge, e como as pessoas, em geral, não gostam de problemas e procuram não criá-los para si próprias, supõe-se que as decisões “são jogadas sobre elas por outros ou pelas circunstâncias” [Ensslin, op. cit.]. Como resultado, surge uma forte tendência à falta de conscientização, evidenciada na forma como as questões decisórias são encaminhadas: “partem para a chamada resolução antes mesmo de refletirem sobre a natureza real de seus problemas” [Ensslin, op. cit.].

As informações são elementos importantes no processo, mas apenas oferecem suporte à gestão administrativa. Elas dependem de uma base de dados confiáveis e, para alguns casos, possibilitam o emprego da análise multicritério que, em conjunto, posicionam o decisor e conduzem à ação [Kaehler, 1993; Eastman et al., op. cit.; Ensslin, op. cit.; Detoni e Ensslin, 1996; Bana e Costa et al., 1996a e b; Mury, 1996; e Eastman, 1996 e 1997].

V.3.1. Os sistemas de apoio à decisão.

Os sistemas de apoio à decisão (SAD ou DSS) trabalham com o conceito de “abordagem orientada a objetos” que, vinculados à base de dados e incluindo todos os conhecimentos disponíveis sobre um tema, assumem a forma de dispositivos de aprendizado. Isso permite que as pessoas manipulem em torno de um problema, uma vez que tais sistemas podem exercitar a função dos “objetos” experimentalmente, sem maiores conseqüências. Por essas características, tais sistemas também são chamados de sistemas interativos de apoio à decisão (SIAD).

Em termos de definição, o SAD pode ser “um sistema interativo computacional que auxilia os decisores (tomadores de decisão), utilizando-se de dados e modelos para solucionar problemas não estruturados” [Gorry e Scott Morton, citados por Janssen, op. cit.], ou mais amplamente “qualquer sistema que traga alguma contribuição à tomada de decisão” [Sprague e Watson, citados por Janssen, op. cit.]. Segundo esse mesmo autor, via de regra, o SAD implica em um programa computacional que:

- ajuda indivíduos ou grupos de indivíduos em seus processos decisórios;
- mais apoia do que substitui o julgamento desses indivíduos; e
- antes melhora a efetividade do processo de decisão, que a sua eficiência.

Portanto, o foco está sobre a qualidade do processo decisório ao invés de estar centrado na qualidade da decisão final. É, no entanto, fundamental ter-se objetivos claros (situação desejada), para que o instrumento utilizado solucione os problemas existentes (situação atual).

Simon, citado por Kaehler, op. cit., identificou três fases nesse processo:

1. a atividade de informação, ou compreensiva, com identificação dos objetivos e de quem desenvolverá as ações;
2. a atividade de projeto, ou de concepção, com a quanti e qualificação dos objetivos, a busca e estruturação de dados úteis e a proposta de ações aceitáveis; e
3. a atividade de escolha, com a classificação da alternativas, simulação de resultados e tomada de decisão, justificada e associada à escolha final.

Mintzberg et al., citado por Janssen, op. cit., redefiniu a questão também em três, porém desdobrou estas fases em sete rotinas principais:

- *Identificação*, constituída das rotinas de reconhecimento, em que oportunidades, problemas e crises são reconhecidos e aguardam decisão; e diagnóstico, em que o administrador é solicitado a compreender o estímulo suscitado e determinar as relações de causa e efeito para a situação decisória.

- *Desenvolvimento*, englobando as rotinas de pesquisa, objetivando encontrar soluções já existentes; e de projeto, onde se criam novas soluções ou se adaptam as pré-existentes.
- *Seleção*, que envolve a rotina de projeção, onde se espera que a pesquisa possa gerar mais soluções prontas, além das já identificadas; de avaliação/escolha, que opera com os modos de julgamento, negociação e análise; e de autorização, em que se obtém a aprovação em nível hierárquico e/ou de órgãos externos.

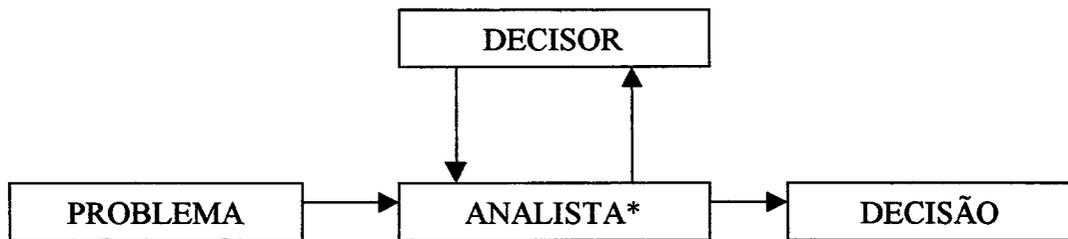
V.3.2. Teoria da decisão – Resumo atual.

Atualmente, segundo Ensslin, op. cit., entende-se a decisão como um processo complexo e abrangente, que se inicia com a identificação de necessidade de mudança, passa pela escolha de uma ação entre várias viáveis, e tem seu fim com a implantação da alternativa selecionada. De acordo com Bana e Costa, citado por Schmidt, op. cit.,

“a tomada de decisão é de fato parte integrante da vida cotidiana. Mas é também uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que se tem naturalmente de escolher não apenas entre alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações, e por fim, de considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com a decisão a tomar”.

Todo esse processo decisório pode ser resumido em duas fases: estruturação e avaliação. A que tem concentrado maior esforço de pesquisadores e estudiosos é a segunda, no entanto, de acordo com vários autores, a solução adequada de um problema específico encontra-se na primeira, uma vez que esta tem por finalidade confirmar a existência do problema identificado, ou encontrar o real problema e sua total compreensão, Já a avaliação está relacionada com os resultados apresentados, ou seja, está vinculada ao sucesso na estruturação do modelo [Roy e Bana e Costa, citados por Schmidt, op. cit.; e Ensslin, op. cit.].

O problema de decisão não é, no entanto, um simples seguir passos em uma seqüência, mas depende de fatores que provocam o retorno às fases anteriores, com modificações nesta e nas seguintes. Com isso, criam-se ciclos de compreensão (um problema complexo é entendido percorrendo-se seu ciclo ou suas rotinas), e de retroalimentação (uma solução falha e nova proposta necessita ser feita ou encontrada). O problema esgota-se com a elaboração das recomendações [Corrêa, 1996].



*Também chamado *facilitador*.

Figura V.3 – O processo de decisão e a interação Decisor – Analista.
Fonte: Voogd, citado por Bramont, 1996.

A existência de objetivos e critérios conflitantes impedem o surgimento de uma solução ótima. O apoio à decisão, em momento algum, poderá assumir um posicionamento normativo [Bana e Costa citado por Ensslin, op. cit.], caracterizando o problema mais como uma arte que uma ciência.

Tais objetivos podem ser neutros, complementares ou concorrentes. Apenas esses últimos configuram, na verdade, um problema decisório, pois a contribuição a um implica em prejuízo a outro. Keeney e Raiffa, 1976 apresentam a análise de concorrência através das curvas de indiferença, nas quais o decisor pode estruturar suas preferências.

O conceito de *tradeoff*, utilizado nas várias análises de *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM), significa taxa de “trocas” ou “substituições”, isto é, o número de unidades de um dado objetivo que o decisor dispõe-se a perder, em troca do aumento de unidades do outro objetivo comparado. Tais “movimentos” restringem-se a uma única curva de indiferença [Keeney e Raiffa, op. cit.; Bana e Costa et al. citado por Bramont, 1996].

A escala em que é possível medir ou definir os critérios para realização de análises, se apresenta dividida e subclassificadas em [Voogd, citado por Bramont, op. cit.]:

- qualitativa, em nominais, binárias e ordinais; e
- quantitativa, em intervalares e racionais, podendo ainda apresentar-se como absoluta (adimensional, restrita ao intervalo fechado [0, 1]).

Já os valores atribuídos às medidas necessitam, em várias metodologias SAD, de normalização, que são basicamente de três tipos:

- a- a soma dos valores normalizados é unitária

$$V_{mi} = \frac{V_{ai}}{\sum_{i=1}^n V_{ai}} \quad (\text{V.7})$$

b- o maior valor normalizado é sempre unitário

$$V_{mi} = \frac{V_{ai}}{V_{a \max}} \quad (\text{V.8})$$

c- o maior valor é unitário e o menor é igual a zero

$$V_{mi} = \frac{V_{ai} - V_{a \min}}{V_{a \max} - V_{a \min}} \quad (\text{V.9})$$

onde

- V_{ni} é o valor normalizado da medida i ;
- V_{ai} é o valor absoluto da medida i ;
- n é o número de medidas; e
- $V_{a \max}$ e $V_{a \min}$ são os valores máximo e mínimo das medidas.

Dois axiomas básicos caracterizam a teoria da decisão:

- a ordinalidade ($a \preceq b$ ou $b \preceq a$), isto é, sempre é possível expressar-se a preferência entre duas opções; e
- a transitividade ($a \preceq b$ e $b \preceq c \Rightarrow a \preceq c$), ou seja, os julgamentos devem apresentar-se com consistência. Se julgar-se que a é tão ou menos atrativa que b e se b é tão ou menos atrativa que c , necessariamente a tem de ser tão ou menos atrativa que c ;

onde a , b e c são opções de ação ou alternativas e “ \preceq ” quer dizer “tão ou menos atrativo que”.

Tem-se ainda os símbolos “ \sim ” para “indiferença” e “ \succeq ” para “tão ou mais atrativo que” [Binmore, 1992].

Os problemas de decisão consistem em encontrar um resultado ω de um subconjunto S de Ω (conjunto das soluções possíveis), que mais “agrada” ao decisor. A “função utilidade” é um mecanismo matemático criado para simplificar o trabalho de escolha, de modo que $u : \Omega \rightarrow \mathfrak{R}$, será uma função utilidade que represente a relação de preferência “ \preceq ”, se e somente se o valor dela no ponto a for menor ou igual ao seu valor no ponto b , isto é, $u(a) \leq u(b) \Leftrightarrow a \preceq b$.

Deste modo, se u representa a relação de preferência “ \preceq ”, o problema de encontrar um ω ótimo, em S , se reduz a um simples problema de determinar o valor de ω , em S , para o qual

$$u(\omega) = \max_{s \in S} u(s).$$

V.3.3. Métodos multicriteriais - MCDM.

Desde os anos 40-50 foram sendo desenvolvidas metodologias cada vez mais específicas e detalhadas para solucionar os problemas de decisão. A partir desta diversificação evidenciou-se que as "Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão" representam a síntese dos avanços efetuados, seguindo um paradigma *soft* de resolução.

“Por exemplo, abordagens para tratar incertezas, para auxiliar o processo de estruturação do problema, para identificar e construir alternativas, podem ser utilizadas por todos aqueles que estão fazendo uso de um instrumento multicritério para apoiar uma decisão” [Corrêa, op. cit.].

Segundo Bana e Costa e French, citados por Bramont, op. cit., não se encontra na literatura uma preferência classificatória, nem terminológica, para os problemas MCDM. No intuito de deixar mais clara a distinção e aplicação de tais métodos, apresenta-se a seguir uma classificação, segundo Massan, citado pelo autor acima referido.

- Tomada de Decisão com Múltiplos Atributos – MADM – Caracteriza-se pelo limitado número de ações possíveis, e a quantificação destas por pontos, ou *scores*, relativos aos critérios considerados. Normalmente trabalham com parâmetros determinísticos e as incertezas são consideradas nas análises de sensibilidade e de cenários.
- Teoria da Utilidade com Múltiplos Atributos – MAUT – Também conhecida como MAVT (utilidade = valor), utiliza parâmetros probabilísticos e emprega o conceito de “utilidade” ou “valor” esperado.
- Tomada de Decisão com Múltiplos Objetivos – MODM – Estende o conceito de vários critérios à multiplicidade de objetivos. As opções de ação definem-se pela consideração de um conjunto contínuo de critérios e/ou alternativas submetidas a restrições. Utiliza-se de métodos de programação matemática.
- Teoria da Escolha Pública – PCT – É aplicada quando a análise objetiva a maximização da satisfação coletiva, necessitando-se considerar a opinião de grupos de pessoas.

Quanto aos modelos de MCDM, os principais são:

- de ordenação lexicográfica, onde as opções são ordenadas por seu desempenho em relação ao critério mais importante. São simples e fáceis de aplicar, no entanto não consideram todos os critérios [Bodily, citado por Bramont, op. cit.];
- de subordinação de síntese ou concordância (inglês = *outranking*, francês = *surclassement*), em que as opções são parcialmente comparáveis, quando o decisor não pode, não quer ou não sabe como comparar as ações, geralmente motivado pela imprecisão dos dados [Fander e Spronk, citado por Bramont, op. cit.]. Três situações fundamentais de preferência podem ser encontradas: Incomparabilidade (R), preferência estrita (P) e indiferença (I), e ainda, em algumas circunstâncias admite a preferência fraca (Q), que leva em conta casos de indecisão entre P e I [Roy, citado por Schmidt, op. cit.]. Nesse modelo encontram-se o ELECTRE e o PROMETTEE, de ampla utilização em um passado recente. Possui limitações no estabelecimento do grau de dominância entre as alternativas consideradas par a par, garantindo apenas a eliminação das piores alternativas;
- *fuzzy*, a qual também encontra aplicação em casos de preferência não bem definidas. Esses dois últimos modelos têm aplicação quando os axiomas básicos anteriormente citados não se verificam em sua totalidade; e
- aditivo, compensatório ou de agregação a um critério único de síntese, onde o problema é estruturado de tal forma que a função-objetivo esteja situada no nível mais alto, seguida dos critérios (e subcritérios) e das alternativas de ação. Tal modelo constitui-se no mais conhecido e utilizado, tanto por sua simplicidade relativa como, principalmente, por sua relevância para os problemas reais [Keeney e Raiffa, op. cit.; e Stewart e Edwards citados por Bramont, op. cit.]. Ele exige que os critérios sejam mutuamente independentes quanto à preferência, é compensatório com relação às alternativas, seus *tradeoffs* podem variar, as funções de valor podem ser lineares ou não e a variável risco é levada em consideração.

Concentrando-se a atenção nos modelos aditivos, cujo princípio subjacente “postula que o indivíduo deverá identificar uma função utilidade marginal para cada critério. Função esta, que deverá permitir representar a utilidade subjetiva apercebida pelo decisor, através de uma agregação única de consenso” [Schmidt, op. cit.]. A literatura apresenta três processos principais de resolução para um problema de decisão multicritério, que são resumidos a seguir. Todos apresentam qualidades e limitações que fogem ao escopo desta revisão.

V.3.3.1. Processo de Análise Hierárquica – AHP.

Idealizado por Thomas L. Saaty em 1986, o *Analytic Hierarchy Process* baseia-se no modelo aditivo com *tradeoffs* constantes, incorporando um teste de consistência para os julgamentos do decisor. O AHP tem por princípio que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas é, pelo menos, tão valioso quanto os dados, o que auxilia na concepção de cenários, especialmente onde a incerteza (característica do indivíduo) exista.

Caracteriza-se pela capacidade de análise de um problema de decisão, através da construção de uma escala hierárquica, constituída por níveis de elementos ou fatores resultantes da decomposição da situação complexa. Os objetivos finais encontram-se no topo, seguidos por sub-objetivos, limitantes dos decisores, objetivos dos mesmos e, finalmente, os resultados ou cenários possíveis.

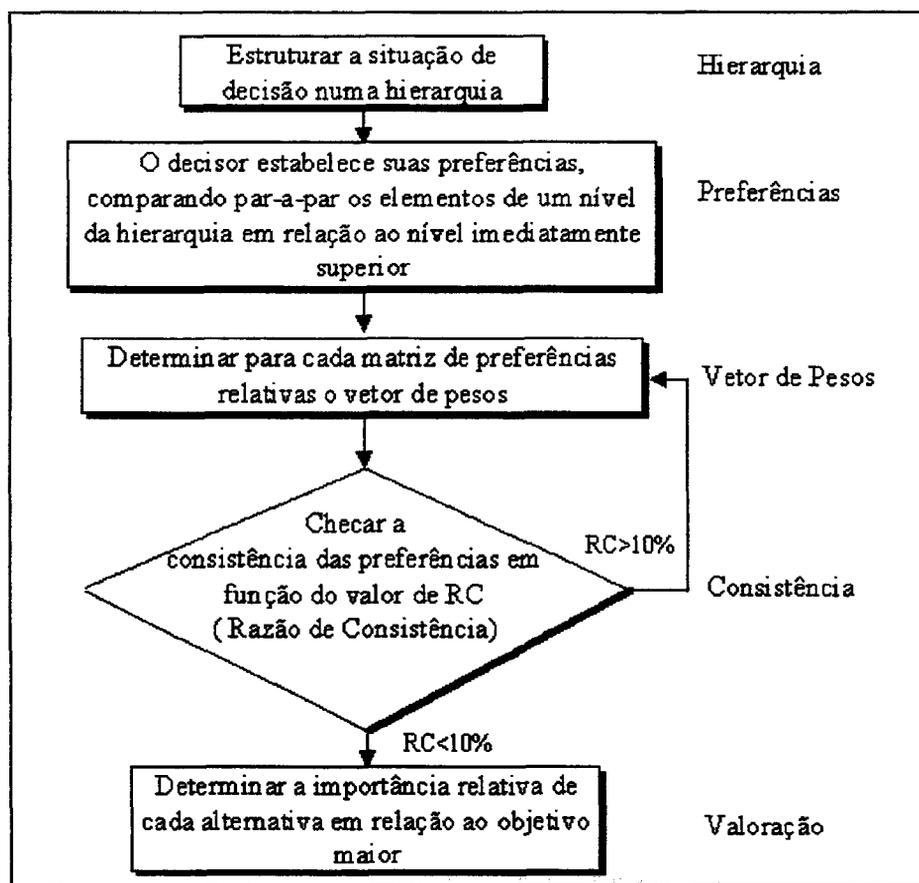


Figura V.4 – Fluxograma geral da metodologia AHP.

Fonte: Schmidt, 1995.

“Os cenários determinam as probabilidades de se atingir os objetivos, os objetivos influenciam os decisores, os decisores guiam as forças que, finalmente, causarão impacto nos

objetivos finais. O AHP parte do geral para o mais particular e concreto” [Schmidt, op. cit.]. A esse respeito, ver Figura V.4.

É um método utilizado para obter julgamentos através de consenso, decorrente de uma homogeneização de conhecimento do problema que a metodologia propõe. Associa uma escala fixa à preferência, utilizando-se de comparações diretas dos elementos entre si, não definindo uma função de utilidade marginal. O julgamento do AHP mede o grau ou relação de importância (prioridade) entre os elementos.

V.3.3.2. Mensuração da Atratividade pela Categorização Baseadas em Técnicas de Avaliação – MACBETH.

Método interativo de apoio à decisão, desenvolvido por Carlos A. Bana e Costa e J. C. Vansnick no início da presente década, que permite representar-se numericamente os julgamentos dos decisores sobre a atratividade global das ações. Verifica a consistência da escala e detecta as fontes de inconsistência, empregando métodos distintos na elaboração dos escores e dos *tradeoffs*.

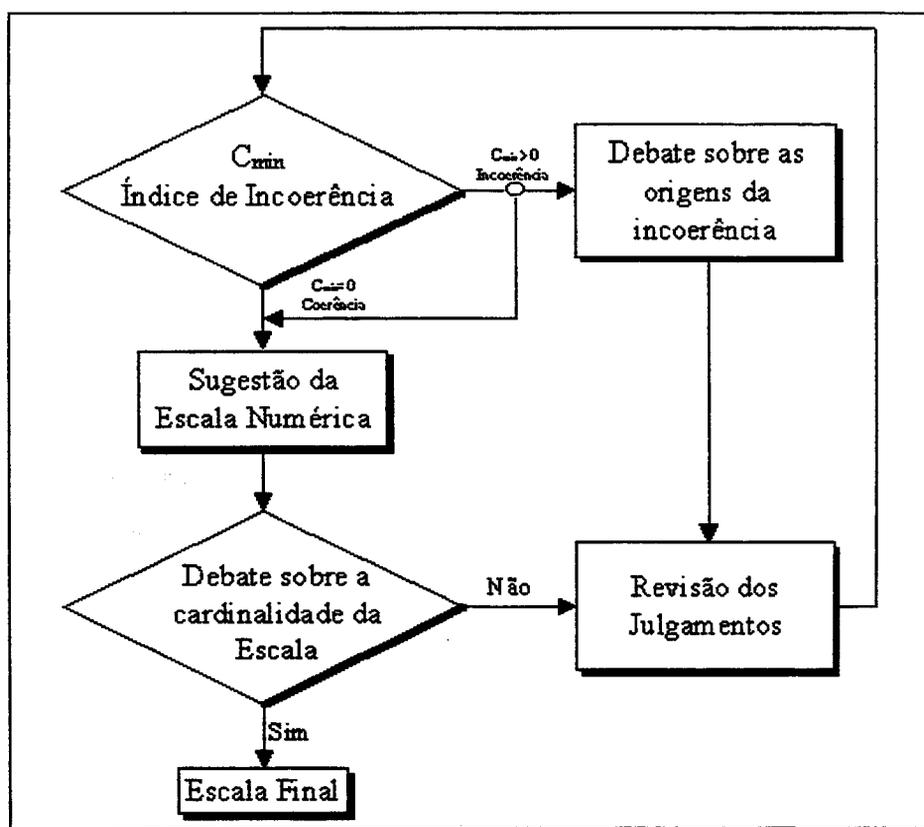


Figura V.5 – Fluxograma do processo interativo do MACBETH.
Fonte: Schmidt, 1995.

Os pares de comparação constituem matrizes $n \times n$ (de ordenação e de julgamento), a partir de uma escala semântica, e as preferências são igualmente determinadas de forma semântica. Após, através de programação linear, elas são transformadas em escala cardinal (escala MACBETH), conforme fluxograma apresentado na Figura V.5..

O julgamento do MACBETH mede o grau ou diferença de atratividade entre os elementos. A rigor, caracteriza-se como o produto das análises de entrevistas com diversos decisores, que opinam sobre critérios e alternativas que julgam válidos para atingir um dado objetivo geral, cujas opiniões podem expressar tanto elementos quantitativos quanto qualitativos.

V.3.3.3. Modelo Aditivo Linear – MAL.

É uma variação do modelo aditivo, que se utiliza de funções individuais de valor lineares e emprega coeficientes de valor que representam a importância relativa de cada critério, em vez de pesos dos critérios. A função multicritério de valor é [Bramont, op. cit.]

$$V(a_1, a_2, \dots, a_k) = x_1(a_1) + x_2(a_2) + \dots + x_k(a_k) \quad (V.10)$$

e a equação básica de função de valor é

$$x_j = \sum_{i=1}^k c_i \cdot a_{ji} \quad (V.11)$$

onde:

- x_j representa o valor do projeto j , em unidades de valor, relativo aos critérios $i=1,2,\dots,k$,
- c_i é o coeficiente de importância relativa do critério i , em unidades de valor por unidades físicas do critério i ;
- a_{ji} é o desempenho da alternativa j frente ao critério i , em unidades do critério i e
- k é o número de critérios.

Nesse modelo, zero unidades de um critério i apresenta valor zero, a escala utilizada é a racional e as funções individuais de valor são lineares (Bana e Costa et al., citados por Bramont, op. cit.), sendo representadas por retas de inclinação c_i ; as curvas de indiferença são retas, planos ou hiperplanos. O valor do *tradeoff* entre dois critérios C_i e C_j é constante em qualquer ponto, e

dado por

$$C_{ij} = \frac{C_i}{C_j} \quad (V.12)$$

Os critérios escolhidos devem apresentar unidades físicas mensuráveis, o decisor fará julgamentos de valor apenas quando estimar os valores dos coeficientes. Critérios de natureza

intangível podem ser considerados mediante uma escala de medidas binária - zero ou um [Voogd, citado por Bramont, op. cit.].

“Para estimar os coeficientes, o decisor aloca pontos de valor para os diversos critérios, representados em suas unidades físicas. Esses pontos não precisam ficar limitados a escalas pré-estabelecidas, sendo necessário, porém, que reflitam as importâncias relativas dos critérios” [Bramont, op. cit.]. Para os critérios intangíveis, o valor do coeficiente é determinado da mesma forma que para critérios tangíveis; atribui-se pontos para o coeficiente relacionado ao critério analisado, de modo a refletir a sua importância relativa.

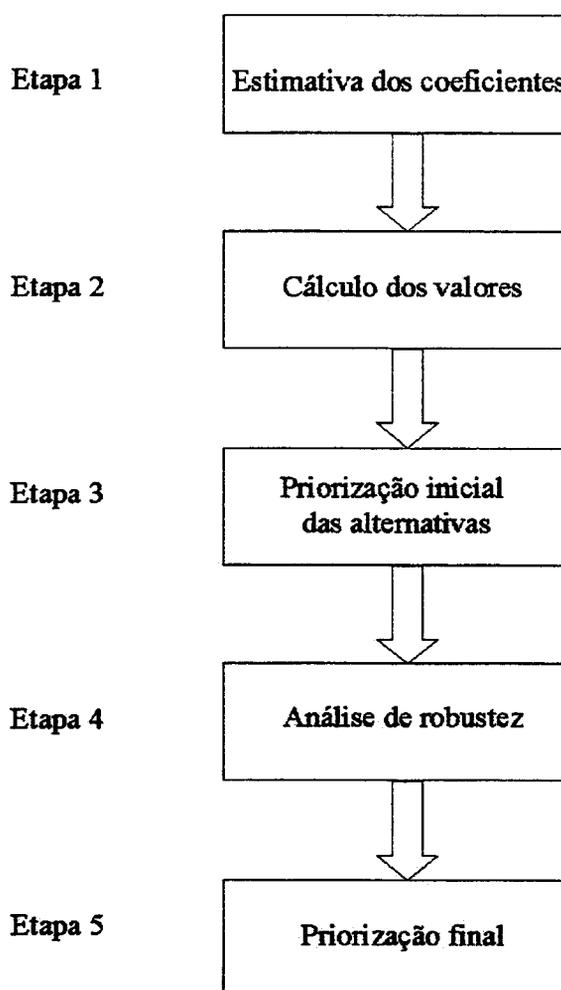


Figura V.6 – Fluxograma das etapas do MAL.
Fonte: Bramont, 1996.

Nesse modelo aditivo (ver Figura V.6), os valores dos coeficientes e dos desempenhos dos projetos podem ser utilizados diretamente, não sendo necessário normalizá-los, uma vez que “os pontos atribuídos aos coeficientes do MAL não ficam limitados a qualquer escala pré-estabelecida” [Bramont, op. cit.]. As incertezas nas estimativas são avaliadas, e seus efeitos considerados, por variação aleatória e independente dos coeficientes, inicialmente estabelecidos pelo decisor, em um processo de simulação estatístico, que confere ao método a característica dita “robusta”.

V.3.4. Exemplos aplicados à área de interesse.

Um exemplo simples e prático de metodologia auxiliar da apoio à decisão, é apresentado no anexo do já referido Paper 296, Banco Mundial [Stassen, op. cit.]. Nele é explicitada uma “árvore de decisão” para projetos de gaseificação da biomassa em pequena escala, até 500 kW_e e 5 MW_t.

<i>Evaluation factor</i>	<i>Power gasifiers (capacity range < 500 kW_{el})</i>	<i>Heat gasifiers (capacity range < 5.0 MW_{th})</i>
Biomass fuels	Charcoal Wood Rice husks Coconut shells	Wood Charcoal Rice husks Coconut shells Limited experience with a number of other biomass fuels
Fuel consumption	Wood: 1.3–1.4 kg/kW _{el} Charcoal: 0.7–0.9 kg/kW _{el}	Wood: 0.4 kg/kW _{th} Charcoal: 0.15–0.17 kg/kW _{th}
Investment	2–4 times the investment in petrol/oil-fueled plant	1.5–2.0 times the investment in oil-fueled plant
Local conditions		
Fuel cost	Petrol/diesel > 300 US\$/tonne	Processed biomass fuel < 60 US\$/tonne
Operating hours	> 1,000 hour per year	
Load factor	> 50	
Reliability	10–20 downtime caused by technical problems	Less than 5 downtime caused by technical problems
Labor	Motivated and skilled labor required	No special labor requirements
Other projects	Initial support needed	No special requirements

Note: kg = kilogram; kW_{el} = kilowatt electric; kW_{th} = kilowatt thermal; MW_{th} = megawatt thermal.

Tabela V.3 – Informações para alimentação do checklist para gaseificadores à biomassa.
Fonte: Stassen, 1995.

Mediante uma série de perguntas seqüenciais envolvendo as questões acima, e cujas respostas podem ser traduzidas em “sim” e “não” (análise binária de sistema especialista), conclui-se se uma determinada proposta tem boas chances de sucesso e deve, portanto, ser melhor detalhada, ou se a gaseificação não é a solução mais adequada para o caso.

Como auxiliar na obtenção das respostas, usa-se uma base de informações que é continuamente alimentada pelo Programa de Monitoramento de Gaseificadores à Biomassa (BGMP/ WB / UNDP), cujos principais valores são apresentados na Tabela V.3.

Esse *checklist* considera os seguintes quesitos em sua análise:

- a- limite de capacidade da planta;
- b- tipo de biomassa combustível;
- c- garantia do suprimento de combustível;
- d- custo de instalação (investimento);
- e- condições locais específicas;
- f- custo do combustível;
- g- tempo de operação (horas/ano);
- h- fator de carga (energia realmente obtida / potência nominal);
- i- confiabilidade de operação do equipamento;
- j- mão-de-obra; e
- k- existência de outros projetos similares na vizinhança.

Sendo o tempo de operação um dos parâmetros de maior influência na viabilização econômica das plantas, como já comentado anteriormente.