

VIABILIDADE ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS PARA O
MEIO RURAL NORDESTINO.

A-720909
FC00005451-3

ANTÔNIO JÚNIOR COLARES OLIVEIRA

UFC/BU/BEA 01/04/1998



R771627 Viabilidade econômica de
C401730 alternativas en
T600 045v

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ



FORTALEZA - CEARÁ

1991



do Correio Nacional de Portugal, dentro da qual, na
Gestão Pública - C.N.P., pelo seu mérito, obteve a
concessão da distinção de curso.

As professoras e orientadoras de cada classe, per-
feitas atenções, competência e entusiasmo manifestaram-se
fronte ao desenvolvimento destes ensinamentos.

As 1000 copias de cada prova, elaboradas nestas Sessões, tam-
bém a indenização para a mesma, foram pagadas, pelo ato da
1000 milhares de reais, descontos, despesas de viagem que se fizeram
com o direcionamento e pagamento de cada prova.

O Arquivo de Estados Sociais da União, da
Instituição de Ciências - C.P.C.P., que contém a legislação e
o decreto de 10 de Julho de 1914, que estabelece a
possibilidade de realização destes provimentos.

As disposições da Companhia das Minas de São João,
Antônio de Sá, Capitão de Pernambuco, Dr. José Ribeiro
Machado, exerceu a competência, no sentido de autorizar
o seu direcionamento.

As professoras exerceram, durante as 1000 horas de
atendimento à classe, participações diretas, auxiliando
os ensinamentos para a realização da instrução.

As professoras da Escola de ensino fundamental, Rosalina
Dias, pelo seu auxílio e competência, foram elogiadas.

À minha esposa Fátima
Aos meus pais
Aos contribuintes que a
fazem possível o meu
estudo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo suporte financeiro concedido durante a realização do curso.

Ao professor e orientador José Valdeci Biserra, pela atenção, competência e orientação sábia manifestadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos conselheiros: professor José de Jesus Sousa Lemos e engenheiro Paulo Marcos Aragão Craveiro, pela atenção e as valiosas sugestões, críticas e correções que em muito contribuiram para o aprimoramento deste estudo.

À Divisão de Estudos Energéticos - DEN da Companhia Energética do Ceará - COELCE, pela cordial acolhida e pela cessão de seu acervo bibliográfico, que mostrou-se indispensável à realização desta pesquisa.

Aos engenheiros da Companhia Energética do Ceará, Antinous de Souza Carvalho e Francisco de Assis Sales Filho, pelo apoio e esclarecimentos dados durante a realização deste trabalho.

Ao professor Bernardo Gondim, pela transmissão de inúmeras informações, principalmente de natureza empírica, necessárias para a realização da pesquisa.

Aos professores do Curso de Mestrado em Economia Rural, pela colaboração e conhecimentos transmitidos.

A Deus, por sua presença nos momentos difíceis.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização do curso e do presente estudo.

5.4.2 - Existência de Rendimentos à Escala	72
6 - <u>RESUMO E CONCLUSÕES</u>	74
6.1 - <u>Resumo</u>	74
6.2 - <u>Conclusões</u>	75
7 - <u>BIBLIOGRAFIA</u>	79
<u>APÊNDICES</u>	83
APÊNDICE A - DESPESAS DE INVESTIMENTO E VIDA ÚTIL DOS BENS DE CAPITAL REFERENTES ÀS TEC- NOLOGIAS	84
APÊNDICE B - MÃO-DE-OBRA OPERACIONAL	90
APÊNDICE C - CUSTO ANUAL DE CONSERVAÇÃO	92
APÊNDICE D - PRODUÇÃO ENERGÉTICA ANUAL	94
APÊNDICE E - COEFICIENTES TÉCNICOS E FÓRMULAS DE CÁLCULO	96
APÊNDICE F - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTE- MAS FOTOVOLTÁICOS CONSIDERADOS	100
APÊNDICE G - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA MONOFÁSICO COM RETORNO POR TERRA-MRT ..	103

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
1 Evolução do consumo final energético do setor agropecuário do Estado do Ceará no período de 1982 a 1987	4
2 Evolução do consumo final de energia por setor - Estado do Ceará, 1982/1987	5
3 Demanda energética de alguns equipamentos agrícolas e produtividade com a energia de 1 kWh	7
4 Potencialidade de algumas fontes de energia do Estado do Ceará	9
5 Principais fontes alternativas de energia tecnologia para seu aproveitamento, princípio operacional, produto resultante e aplicações no meio rural	11
6 Produção de biogás a partir do esterco de diversos animais	16
7 Consumo de biogás em diversos equipamentos	18
8 Produção anual de energia do aerogerador Dicomex - 200 W na cidade de Fortaleza	25
9 Composição dos custos anuais, conforme os tamanhos dos biodigestores	34
10 Custo total médio do biogás considerando-	
	vii

TABELA

Página

se sua conversão em diversos energéticos e conforme os tamanhos dos biodigestores	36
11 Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 4 m ³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP	40
12 Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 10 m ³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP	41
13 Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 15 m ³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP	42
14 Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 4 m ³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel	43
15 Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 10 m ³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel	44
16 Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 15 m ³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel	45
17 Relação benefício/custo (B/C) e valor presente líquido (VPL) a diferentes taxas de desconto e taxa interna de retorno (TIR) para biodigestores de tamanhos seleciona-	

TABELA

Página

	dos, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP	47
18	Relação benefício/custo (B/C) e valor presente líquido (VPL) a diferentes taxas de desconto e taxa interna de retorno (TIR) para biodigestores de tamanhos selecionados, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel	48
19	Análise de sensibilidade dos indicadores de rentabilidade dos biodigestores de tamanhos selecionados, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP	50
20	Análise de sensibilidade dos indicadores de rentabilidade dos biodigestores de tamanhos selecionados, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel	51
21	Composição dos custos anuais e custo total médio, conforme os tamanhos dos gasogênios.	54
22	Custo total médio (CTMe) do gás produzido pelos gasogênios de alvenaria e sua relação com o preço do diesel considerando-se variações nos preços do óleo diesel e do carvão vegetal	56
23	Fluxo de benefícios e custos para o gasogênio padrão, considerando-se a conversão energética do gás pobre em gasolina	58
24	Fluxo de benefício e custos para o mini gasogênio, considerando-se a conversão energética do gás pobre em gasolina	59

TABELA

Página

25	Relação benefício/custo (B/C) e valor presente líquido (VPL) a diferentes taxas de desconto e taxa interna de retorno (TIR) para o gasogênio padrão e o mini gasogênio considerando-se a conversão energética do gás pobre em gasolina	60
26	Análise de sensibilidade dos indicadores de rentabilidade do gasogênio padrão e mini gasogênio, considerando-se a conversão energética do gás pobre em gasolina	61
27	Composição dos custos anuais e custo total médio referente ao sistema aerogerador	63
28	Custo total médio da energia produzida pelo aerogerador Dicomex - 200 W, quando são considerados diferentes fatores de capacidade e mantidas as demais condições constantes	65
29	Composição dos custos anuais e custo total médio, conforme os tamanhos dos sistemas fotovoltaicos	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1 Biodigestor modelo indiano	20
2 Gasogênio de alvenaria	22
3 Curva de custo total médio para o biogás .	38
4 Despesas de investimento para instalação de biogás de alvenaria com capacidade de 100 m ³ dia	40
5 Despesas de investimento para instalação de biogás de alvenaria com capacidade de 200 m ³ dia	40
6 Despesas de investimento para instalação de sistema de tratamento de esgoto com capacidade de 100 m ³ dia	40
7 Vida útil das componentes do sistema de tratamento de esgoto com capacidade de 100 m ³ dia	40
8 Não-danoso atual necessário para instalação dos equipamentos	51
9 Custo anual de conservação para instalação de sistema de tratamento de esgoto com capacidade de 100 m ³ dia	51
10 Previsão monetária anual das manutenções, custos de limpeza do depósito, custos de operação	51
11 Despesas de investimento relativas a instalação biogás de alvenaria com capacidade de 100 m ³ dia	51

LISTA DE TABELAS DOS APÊNDICES

TABELA	Página
1A Despesas de investimento e vida útil dos bens de capital referentes aos biodigestores	85
2A Despesas de investimentos e vida útil dos bens de capital referentes aos gasogênios de alvenaria	86
3A Despesas de investimento e vida útil dos bens de capital referentes ao sistema aero-gerador	87
4A Despesas de investimento referentes aos sistemas fotovoltaicos	88
5A Vida útil dos componentes dos sistemas fotovoltaicos	89
1B Mão-de-obra anual necessária para operação dos equipamentos	91
1C Custo anual de conservação dos equipamentos	93
1D Produção energética anual dos equipamentos, conforme os tipos de energia	95
1G Despesas de investimento relativas ao Sistema Monofásico com Retorno por Terra - MRT e à rede elétrica de baixa tensão	105

TABELA	Página
2G	Custo total médio (CTMe) da energia elétrica distribuída pelo sistema MRT, considerando-se diversas combinações de comprimento da linha e consumo energético da propriedade

RESUMO

Este trabalho pretende investigar a viabilidade econômica da utilização de quatro tecnologias alternativas para produção de energia no meio rural nordestino, quais sejam: o biodigestor modelo indiano, o gasogênio de alvenaria, o aerogerador e o painel de células fotovoltaicas.

Utilizou-se, no estudo, informações referentes a diversos tamanhos dos equipamentos e para cada tamanho foram identificados e quantificados os custos a eles associados. Com a determinação do custo médio da energia produzida, investigou-se a existência de rendimentos à escala associados às tecnologias e comparou-se esses custos aos preços de mercado dos tipos convencionais de energia (óleo diesel, gás liquefeito de petróleo - GLP, gasolina e energia elétrica). Conduziu-se, em seguida, uma análise de retorno aos investimentos, utilizando-se, como indicadores de rentabilidade, a relação benefício/custo, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno.

Os resultados indicaram que a utilização do biodigestor para produção de energia é economicamente viável, podendo o biogás ser empregado como substituto do GLP e do óleo diesel. O gasogênio de alvenaria apresentou viabilidade econômica apenas quando o gás combustível foi comparado à gasolina. Os resultados apontaram, ainda, que a viabilidade econômica do gasogênio, quando o gás combustível é comparado ao óleo diesel, é possível ser alcançada, quando ocorrem reduções no preço do carvão vegetal e/ou acréscimos ao preço do óleo diesel.

A pesquisa mostrou também que no estágio tecnológico atual, o aerogerador e o painel de células fotovoltaicas não apresentam viabilidade econômica, visto que produzem energia a um custo unitário muito superior ao preço de mercado da energia elétrica. Entretanto, para pequenas ne-

cessidades energéticas em propriedades distantes da rede de distribuição elétrica e quando são considerados os custos relativos à rede elétrica para a propriedade, essas tecnologias mostraram-se economicamente viáveis.

1 - INTRODUÇÃO

A urgente necessidade de energização do meio rural é constatada pelas evidências empíricas de correlação entre consumo de energia e crescimento econômico. A maior produção de bens e serviços e a consequente elevação do padrão de vida da população requerem mais energia, de forma que quanto mais desenvolvida é a região mais energia ela consome^{1/}.

As consequências esperadas da intensificação do uso de energia na área rural seriam, entre outras, uma elevação na produção e produtividade agrícolas, com a resultante elevação na oferta de alimentos; diminuição do êxodo rural, pela integração do homem ao campo (através do aumento das oportunidades de trabalho e da melhoria de suas condições sociais) e o crescimento da industrialização no meio rural.

Tal elenco de benefícios sugerem que sejam direcionados maiores esforços no sentido de se determinar quais as fontes energéticas e as tecnologias mais adequadas para prover, de forma eficiente e econômica, o meio rural da energia necessária ao seu desenvolvimento.

Assim, no presente trabalho, procurou-se indicar algumas alternativas tecnológicas capazes de suprir, total ou parcialmente, as necessidades energéticas das propriedades rurais e, sobretudo, avaliar a viabilidade econômica dessas tecnologias.

Na pesquisa empregou-se dados relativos ao Estado do Ceará como representativos da Região Nordeste, considerando-se a existência de condições edafo-climáticas, econômicas, sociais e energéticas relativamente homogêneas entre

^{1/}Naturalmente, em alguns casos, um alto consumo de energia denota desperdícios, da mesma forma que um baixo consumo pode indicar um uso conservacionista e racional. Não obstante essas ressalvas, a referida correlação permanece válida.

o Ceará e o Nordeste, de forma que os resultados e conclusões obtidos podem ser inferidos para a região sem que seja necessário maiores discussões do ponto de vista científico.

2 - O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA

São poucas as propriedades rurais no Nordeste que dispõem de energia elétrica. Especificamente, no Estado do Ceará dos 184.337 imóveis rurais cadastrados pelo INCRA em 1985, somente 30.337 (16,7 %) eram atendidos por rede de energia elétrica (SALES FILHO, 1986). Dessa forma, para o atendimento de suas necessidades energéticas, a maioria das propriedades rurais nordestinas utilizam, além da energia muscular humana, a lenha e o carvão vegetal e, em alguns casos, os combustíveis derivados do petróleo (óleo diesel, querosene e gás liquefeito de petróleo - GLP). Como ilustração, o consumo energético para o setor agropecuário do Estado do Ceará é apresentado na TABELA 1 e, na TABELA 2, este consumo é comparado com o de outros setores da economia.

Constata-se, pela análise dessas tabelas, a pequena participação do setor agropecuário no consumo energético final do Estado, indicativo do pouco uso de energia por parte das unidades produtivas deste setor.

Considerando-se que uma maior utilização de energia é um fator essencial para a melhoria das condições de vida da população e para um aumento na produção de bens e serviços, conclui-se que é necessário a elevação de sua oferta para o meio rural, reconhecendo-se, não obstante, que a maioria das propriedades rurais do Nordeste não necessitam de grandes quantidades de energia para o desenvolvimento de suas atividades^{2/}, podendo a produção agrícola ser incrementada com a utilização de equipamentos simples e de

^{2/}Segundo PALZ (1981), no Brasil o consumo teórico médio de eletricidade para as necessidades domésticas é de cerca de 200 kWh por ano por pessoa ou cerca de 0,55 kWh por dia por pessoa, para as regiões rurais pode-se esperar um valor ainda menor.

TABELA 1 - Evolução do consumo final energético do setor agropecuário do Estado do Ceará no período de 1982 a 1987.

Fonte	1.000 tEP					
	%					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Lenha	30,2	15,9	42,3	33,3	53,6	41,3
	43,0	22,3	43,2	34,3	42,9	31,7
Óleo diesel	23,0	27,8	28,0	36,2	39,6	51,0
	32,7	39,0	28,6	37,3	31,7	39,1
Eletricidade	16,7	27,3	27,0	27,0	31,1	37,5
	23,7	38,3	27,5	27,8	24,9	28,8
Carvão vegetal	0,4	0,3	0,7	0,6	0,7	0,5
	0,6	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4
Total	70,3	71,3	98,0	97,1	125,0	130,3
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

FONTE: Balanço Energético do Estado do Ceará 1980/1987.

NOTAS: (1) os valores superiores de cada linha representam o consumo em 1.000 tEP (tonelada equivalente de petróleo) e os valores inferiores representam a percentagem em relação ao consumo total dos energéticos considerados.

(2) para detalhes sobre a metodologia e conceituações utilizadas na confecção da tabela, ver Balanço Energético do Estado do Ceará 1980/1987, pag. 108-16.

TABELA 2 - Evolução do consumo final de energia por setor -
Estado do Ceará, 1982/1987.

	1.000 tEP					
	%					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Consumo final energético	1738,0	1752,3	1804,2	1886,7	2268,1	2323,8
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Setor agropecuário	70,3	71,3	98,0	97,1	125,0	130,3
	4,0	4,1	5,4	5,1	5,5	5,6
Setor industrial	372,4	362,6	385,3	406,8	480,8	573,9
	21,4	20,7	21,4	21,6	21,2	24,7
Setor de transportes	428,1	395,9	401,2	406,8	511,2	452,6
	24,6	22,6	22,2	21,6	22,5	19,5
Setor energético	50,0	61,0	46,2	65,3	63,8	77,6
	2,9	3,5	2,6	3,5	2,8	3,3
Setor residencial	641,0	666,7	675,7	704,4	859,9	873,3
	36,9	38,0	37,5	37,3	37,9	37,6
Setor comercial	106,0	114,4	115,9	122,8	135,3	125,9
	6,1	6,5	6,4	6,5	6,0	5,4
Setor público	70,2	80,4	81,9	83,5	92,1	90,2
	4,1	4,6	4,5	4,4	4,1	3,9

FONTE: Balanço Energético do Estado do Ceará 1980/1987.

NOTAS: (1) os valores superiores de cada linha representam o consumo em 1.000 tEP (tonelada equivalente de petróleo) e os valores inferiores representam a percentagem em relação ao consumo final energético do Estado.

(2) para detalhes sobre a metodologia e conceituação utilizadas na confecção da tabela, ver Balanço Energético do Estado do Ceará 1980/1987, pag. 108-16.

baixa demanda energética, conforme é apresentado na TABELA 3.

A partir da verificação desses fatos pode-se questionar a forma pela qual deve ser incrementada a oferta de energia para o meio rural. Três são os caminhos que podem ser norteados: a expansão do sistema de eletrificação rural; a intensificação no uso de combustíveis derivados do petróleo e a utilização, de forma racional e eficiente, dos recursos energéticos disponíveis nas propriedades.

A curto e médio prazos, a expansão do sistema de eletrificação rural encontra fortes obstáculos, relacionados, principalmente, com os elevados custos dessa expansão. Considerando que a maioria das propriedades rurais próximas às linhas de distribuição já foram eletrificadas, para o sistema ser expandido teriam de ser atendidas agora aquelas propriedades mais distantes da rede, implicando, assim, em uma elevação no valor dos investimentos necessários juntamente com maiores custos de manutenção. Desta forma, o problema da longa distância das propriedades rurais às linhas de distribuição, adicionado à baixa densidade de propriedades por quilômetro quadrado e ao pequeno consumo energético nestas áreas, acaba por tornar a eletrificação rural uma opção de custo bastante elevado e que, em muitos casos, beneficia apenas pequena parcela da população e contribui para aumentar as diferenças sociais no campo.

Além do fator custo, um outro ponto da eletrificação rural deve ser levado em consideração, qual seja: as reais possibilidades de um adequado fornecimento de energia elétrica para o Nordeste, face às ameaças de racionamento nesta década de 90^{3/}. A Região Nordeste, sofreu em 1987, um racionamento da ordem de 15 % no seu suprimento de energia elétrica, o qual trouxe graves consequências sociais e econômicas para a região. Com os atrasos ocorridos nas obras da usina de Xingó, técnicos do setor já estimam, para 1993, um novo período de racionamento, de intensidade até mesmo superior ao experimentado em 1987 e, portanto, de

^{3/}A CHESF estima que antes do ano 2.000 o potencial hidroelétrico aproveitável de sua área de concessão não será suficiente para atender a demanda projetada.

TABELA 3 - Demanda energética de alguns equipamentos agrícolas e produtividade com a energia de 1 kWh.

Equipamento	Demandas	Produtividade com 1 kWh
Forrageira	2 kWh/t	500 kg de forragem
Mini beneficiador de arroz	9 kWh/t	111 kg de arroz
Prensa extratora de óleo	9,7 kWh/t	103 kg de óleo extraído
Engenho de cana	1 kWh/100 l	100 litros de caldo
Misturador de ração	9,3 kWh/t	107 kg de mistura
Ordenhadeira	0,067 kWh/dia/vaca	15 vacas ordenhadas/dia
Secador de cereais	2,7 kWh/t	370 kg de cereais
Batedeira de manteiga (média)	55 kWh/t	18 kg de manteiga
Ralador de mandioca	17,5 kWh/t	57 kg de mandioca ralada
Ferro de soldar	250 W/hora	4 horas de uso
Moto-bomba ^{a/} hidráulica	0,335 kWh/1.000 litros	2.985 litros d'água por hora

PONTE: Energia eólica - Vol. IV, CHESF, 1987.

NOTA: ^{a/} Potência de 1/2 HP, altura manométrica de bombeamento de 20 mCA.

consequências ainda mais graves.

Por tratar-se de um recurso de suprimento finito e em sua maior parte importado, o petróleo encontra várias restrições à intensificação de seu uso para fins energéticos, principalmente em programas de longo prazo. Essas restrições estão relacionadas com as incertezas de sua disponibilidade e preços no futuro (em decorrência das previsões de escassez em um futuro próximo); maiores gastos com importações; aumento da dependência de recursos externos e especificamente para o meio rural, a utilização de combustíveis derivados do petróleo torna-se, ainda, mais dispendiosa pela incidência dos custos de transporte.

Portanto, considerando-se o elevado custo da distribuição de energia elétrica para o meio rural, adicionando aos problemas de desabastecimento, a não-renovabilidade do petróleo como fonte energética e a probabilidade de maiores aumentos nos seus preços no futuro, torna-se necessário mudar o enfoque atual sobre a questão de energização do meio rural, passando-se a considerar as fontes de energia disponíveis na maioria das propriedades rurais e que estão sendo desprezadas ou sub aproveitadas.

A fim de identificar os recursos energéticos que, explorados de forma adequada, contribuiriam para a elevação da oferta de energia no Estado do Ceará, a COELCE - Companhia Energética do Ceará, realizou um levantamento das potencialidades energéticas desse Estado. Os valores encontrados para algumas fontes de energia estão summarizados na TABELA 4. Esses resultados demonstram, além do significativo potencial dessas fontes^{4/}, que o Ceará, e por extensão o Nordeste, não apresentam fortes restrições quanto à capacidade de suprimento para as tecnologias alternativas de produção de energia.

Na TABELA 5 são apresentadas as principais fontes alternativas de energia, a tecnologia para seu aproveitamento, o princípio básico de funcionamento, o produto resul-

^{4/} A título de comparação, o consumo final energético do Estado do Ceará no ano de 1987 foi da ordem de 2,3 milhões de tEP (toneladas equivalente de petróleo).

TABELA 4 - Potencialidade de algumas fontes de energia renovável do Estado do Ceará.

Fonte de energia	Potencial (1.000 tEP/ano)
Sol (energia solar) ^{1/}	121.960
Ventos (energia eólica) ^{2/}	108.857
Resíduos agropastoris ^{3/}	400
Lenha ^{4/}	524
Bagaço-de-cana ^{5/}	169
Outros bioenergéticos ^{6/}	129

FONTE: Articulações sócio-econômicas do Estado do Ceará, COELCE/DPLEM/DEN, 1991 (em fase de publicação).

NOTAS: potencialidades energéticas são os recursos que uma vez identificados, poderiam ser adicionados aos energéticos disponíveis, a partir do momento que fossem explorados de forma adequada.

^{1/} potencial anual teórico de energia solar líquida, considerando-se como 10 % o rendimento médio de conversão dos sistemas solares.

^{2/} potencial considerando 1.000 km² da Região do Acaraú.

^{3/} Potencial referente ao ano de 1983.

^{4/} Potencial energético teórico máximo (sem causar desmatamento).

^{5/} Potencial referente ao ano de 1984.

^{6/} compreende: derivados do babaçu e do coco-da-baia, farelo de oiticica, resíduos da castanha-de-caju e sólidos urbanos (lixo).

tante e suas aplicações no meio rural.

Não obstante o grande potencial energético dessas fontes e o fato da tecnologia para seu aproveitamento já se encontrar sob elevado grau de domínio, a sua exploração em larga escala encontra alguns empecilhos, principalmente devido ao preconceito que associa a idéia de fontes alternativas de energia com processos experimentais e anti-econômicos, técnicas ultrapassadas e ineficientes e dificuldades na limpeza e conservação dos equipamentos. Dessa forma, qualquer programa visando a utilização de uma tecnologia alternativa para produção de energia no meio rural deve, necessariamente, demonstrar de forma inequívoca as vantagens dessa tecnologia, sua operacionalidade e, sobretudo, sua economicidade, a fim de dirimir os preconceitos e desconfianças da população rural.

As considerações de ordem econômica constituem-se em alguns dos fatores que exercem maior influência na aceitação de uma determinada tecnologia alternativa para produção de energia. SEIXAS & MARCHETTI (1982) assim traduzem a influência dos fatores econômicos: "Seria utópico partir da hipótese que em nossa economia de mercado as considerações de ordem energética global se sobreponham às considerações de ordem econômica. Quaisquer soluções só serão aceitas e postas em prática se e quando forem economicamente interessantes para os indivíduos".

Portanto, a energização do meio rural, via a utilização de tecnologias alternativas, está fortemente condicionada à viabilidade econômica dessas tecnologias. A constatação desse fato faz surgir o seguinte questionamento: as tecnologias alternativas para produção de energia apresentam viabilidade econômica, de forma que possam ser utilizadas para intensificar o uso de energia no meio rural? É esta a questão que o presente trabalho investigará.

Alguns trabalhos destacam as vantagens econômicas e sociais da utilização de fontes alternativas de energia, servindo, assim, como respaldo para justificar o estudo aqui desenvolvido.

Sobre a viabilidade econômica e os benefícios so-

TABELA 5 - Principais fontes alternativas de energia, tecnologia para seu aproveitamento, princípio operacional, produto resultante e aplicações no meio rural.

Fonte	Tecnologia	Princípio operacional	Produto	Aplicações
Biomassa	Biodigestor	Transformações bioquímicas	Biogás	Cocção de alimentos, iluminação, refrigeração, aionamento de motores.
				Biofertilizante Adubação orgânica, ração animal e p/peixes, defensivo agrocola natural.
Carvão vegetal	Gasogênio	Combustão controlada	Gás combustível	Acionamento de motores p/geração de energia elétrica, bombeamento de água, etc.
				Energia elétrica - Iluminação, carregamento de acumuladores (diversos usos).
Energia eólica	Aero gerador	Conversão eletromecânica	Energia mecânica	Energia mecânica - Bombreamento d'água
	Catavento	Conversão mecânica		
	Células solares	Efeito fotovoltaico	Energia elétrica	Energia elétrica - Acionamento de aparelhos elétricos.
Energia solar	Forno, secador, destilador d'água e aquecedor solares	Efeito estufa	Energia calorífica	Cocção de alimentos, secagem de grãos, aquecimento e destilação de água.

FONTE: Elaboração do autor, com base em BROCCHAUSEN & VETILLO (1986).

ciais da utilização da biomassa como fonte energética, GOLDEMBERG et alii (1988), assim se manifestam: "O custo médio da produção de biomassa, em projetos de plantação financiados pelo Banco Mundial, tem girado em torno de US\$ 1 por gigajoule (GJ). Compare-se este custo com US\$ 5 por gigajoule^{5/} para petróleo a US\$ 30 por barril. (...) A biomassa pode também ser produzida em fazendas energéticas ou plantações em muitos locais, a custos por unidade de energia muito mais baixo que o preço mundial do petróleo. Cultivar a biomassa e convertê-la em vetores energéticos úteis são atividades inherentemente intensivas em mão-de-obra, o que faz com que a produção de bioenergia seja atraente onde quer que o desemprego ou o subemprego seja crônico. Além do mais, a produção de bioenergia pode fornecer fontes descentralizadas de energia para a industrialização rural nos países em desenvolvimento, ajudando assim a diminuir a migração para áreas urbanas".

Estudo realizado pela CHESF/BRASCEP ENGENHARIA (1984) aponta como fatores favoráveis ao uso da energia eólica no Nordeste: o conhecimento da tecnologia, os baixos custos de operação e manutenção, ser esta uma fonte energética ecologicamente limpa e, ainda, poder ser integrada com outras fontes de energia (por exemplo, em um sistema integrado diesel/vento, o motor diesel garante a certeza do fornecimento enquanto o aerogerador reduz o consumo total do combustível por um fator de 2 ou mais, e reduz o custo da energia distribuída).

Mesmo aquelas fontes de energia cujas tecnologias não se encontram totalmente dominadas, como é o caso da energia solar e sua conversão em energia elétrica através de células fotovoltaicas, tem sua viabilidade defendida. CARILOCA & ARORA (1984) postulam que "no caso de localidades remotas, para as quais os custos de transporte de combustíveis e da instalação de rede de transmissão elétrica são elevados, a utilização do sistema fotovoltaico é economicamente viável e socialmente justificável, mesmo nos dias

^{5/} 1 gigajoule = 10^9 joules (unidade de energia).

atuais". Deve ser destacado que a tecnologia de fabricação das células e painéis fotovoltaicos tem sofrido significativos avanços nestes últimos anos, o que tem contribuído para sua maior economicidade.

Os fatos apresentados são um forte indicativo das potencialidades das tecnologias alternativas para produção de energia em viabilizarem o processo de desenvolvimento do meio rural, via crescimento econômico e melhoria das condições sociais de sua população. É necessário, entretanto, um maior esforço para a difusão dessas tecnologias e, principalmente, a execução de estudos que demonstrem sua viabilidade econômica, facilitando, dessa forma, a sua adoção em maior escala.

3 - OBJETIVOS

3.1 - Objetivo Geral

Investigar a viabilidade econômica do emprego das tecnologias: biodigestor, gasogênio de alvenaria, aerogerador e painel de células fotovoltaicas, potencialmente utilizáveis para produção de energia no meio rural.

3.2 - Objetivos Específicos:

- (a) estimar os custos relacionados com cada tecnologia;
- (b) testar a hipótese da existência de rendimentos crescentes à escala associado às tecnologias;
- (c) estimar o retorno aos investimentos nas diversas tecnologias e examinar a sensibilidade dos resultados frente à alterações na produção e nos preços dos insumos e produto (energia).

4 - METODOLOGIA

4.1 - Área de Utilização das Tecnologias Energéticas

As tecnologias sob estudo destinam-se, primordialmente, ao meio rural nordestino, sobretudo àquelas propriedades mais afastadas da rede de distribuição de energia elétrica e onde a aquisição de combustíveis derivados do petróleo é onerada pelos custos de transporte.

O biodigestor deve ser utilizado preferencialmente naquelas propriedades dedicadas à pecuária (bovinos, caprinos, etc.), à suinocultura ou à avicultura, devido à maior facilidade de obtenção do esterco utilizado como matéria-prima para produção do biogás. Para o dimensionamento da quantidade de energia que pode ser produzida na propriedade, a TABELA 6 apresenta a produção de esterco de alguns animais e a quantidade de biogás que pode ser obtida. Os restos de culturas, encontrados em todas as propriedades agrícolas, podem também ser empregados na produção de biogás, como complemento ao esterco.

O gasogênio de alvenaria, a princípio, pode ser utilizado em praticamente todas as propriedades rurais do Nordeste, uma vez que a lenha (a partir da qual é obtido o carvão empregado no gasogênio) é sempre encontrada nessas propriedades. Deve-se, entretanto, ressaltar a necessidade do uso racional da lenha, inclusive com a formação de "bosques energéticos", a fim de serem evitados problemas ecológicos. Para efeito de planejamento, estima-se, com base em estudos da CHESF/BRASCEP, (BIOMASSA FLORESTAL - MADEIRA; 1984), que 1 hectare de caatinga fornece cerca de 100 m³ de lenha e, de acordo com CARVALHO et alii (1987), 1 m³ de lenha produz 0,27 m³ de carvão, ou aproximadamente 62 kg de carvão.

TABELA 6 - Produção de biogás a partir do esterco de diversos animais.

Espécie animal	Quantidade de esterco (kg/animal/dia)	m ³ /kg esterco	Produção de biogás m ³ /animal/dia
Bovino (semi-estabulado)	15 ^b	0,04 a, b, c	0,60
Bovino (não estabulado)	10 ^c	0,04 a, b, c	0,40
Suíno (adulto)	2,2	0,06 a, c	0,13
Equino	10 ^c	0,04 ^c	0,40
Galinha	0,12 ^b	0,05 a, c	0,01

FONTES: a) ARORA, 1989;

b) BATISTA, 1981;

c) SILVA, 1981.

A tecnologia do aerogerador é mais indicada para regiões que apresentem boa incidência de ventos durante o ano todo, especialmente toda a faixa litorânea e aquelas propriedades nas quais, devido à condições topográficas específicas, os ventos possuem velocidades elevadas.

Devido ao elevado potencial de energia solar do Nordeste, que pode ser constatado pelos dados relativos ao Ceará e mostrados na TABELA 4, o fator insolação não é restritivo ao uso do painel de células fotovoltaicas podendo esta tecnologia ser empregada em toda a Região.

4.2 - Descrição dos Equipamentos

4.2.1 - Biogestor

O biogestor é, basicamente, um tanque fechado onde se processa a fermentação anaeróbica da matéria orgânica, resultando na produção do biogás, o qual é uma mistura gasosa com a predominância de dois gases: metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), com ainda pequenas quantidades de hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2) e gás sulfídrico (H_2S). O poder calorífico do biogás varia de 5.000 a 7.000 Kcal/m³, com média de 5.500 Kcal/m³. Sendo facilmente inflamável, ele pode ser utilizado para fins de cozimento (como substituto do GLP), na iluminação por lampiões, em geladeiras, em incubadoras e como combustível para motores de combustão interna ciclo Otto ou Diesel. A TABELA 7 mostra o consumo de biogás em diversos equipamentos, funcionando, assim como um valioso subsídio para o cálculo das necessidades energéticas de uma propriedade.

Além da produção de biogás a ação dos microorganismos sobre a matéria orgânica resulta em um importante subproduto, o biofertilizante, o qual apresenta alta qualidade como fertilizante agrícola, podendo ser usado como substituto parcial dos fertilizantes comerciais. O bioferti-

TABELA 7 - Consumo de biogás em diversos equipamentos.

Equipamento	Consumo de Biogás
Lampião	0,12 m ³ gás/hora/lampião (b)
Fogão	0,30 m ³ gás/pessoa/dia (a,b,c)
Geladeira	2,50 m ³ gás/dia (b)
Motor	0,45 m ³ gás/HP/hora (a,c)
Ferro de passar	0,15 m ³ gás/hora (d)
Incubadora	0,60 m ³ gás/m ³ capacidade/hora (a,c)

- FONTES: a) ARORA, 1989;
 b) BATISTA, 1981;
 c) SILVA, 1981;
 d) COELCE/DPLEM/DEN.

lizante possui características superiores ao esterco em estado natural, apresentando uma relação carbono/nitrogênio mais adequada para fins de adubação; maior facilidade de imobilização pelos microorganismos do solo; maior teor de nitrogênio (1,5 % contra 0,75 % do esterco), potássio (0,7 % contra 0,4 % do esterco) e fósforo (0,35 % contra 0,20 % do esterco natural); e ausência de sementes de ervas daninhas. O biofertilizante pode ainda ser utilizado como defensivo agrícola, como alimento para peixes ou, quando seco, na complementação de rações para animais.

Os materiais utilizados normalmente no biodigestor para fermentação e produção do biogás são o esterco animal e os restos de culturas. O esterco apresenta as vantagens de poder ser coletado sem muitas dificuldades, se misturar bem com a água, não apresentar problemas de fermentação e produzir boa quantidade de gás e um fertilizante rico em nitrogênio. Os restos de culturas antes de serem colocados no digestor devem sofrer um processo de pré-fermentação, a fim de acelerar a decomposição do material fibroso. A utilização da mistura de esterco com restos de culturas pré-fermentados eleva a produção de biogás (SILVA, 1981).

Os modelos mais conhecidos de biodigestores são o modelo indiano (formado pelo digestor e o gasômetro) e o modelo chinês (onde o gasômetro não é móvel, fazendo parte da estrutura do digestor). O digestor é uma câmara de alvenaria ou concreto, onde se processa a digestão (fermentação) da mistura de matéria orgânica e água. O gasômetro é o recipiente que estoca o gás produzido; normalmente é uma campânula de chapas de ferro. O biodigestor indiano e suas partes constituintes são ilustradas na FIGURA 1.

Neste trabalho foram utilizadas as informações referentes ao biodigestor indiano, em seis tamanhos, representados pela capacidade de produção diária de biogás: biodigestores de 1, 4, 6, 10, 15 e 25 m³ de biogás produzido por dia. Essa escolha foi realizada com base na disponibilidade de dados sobre a construção do biodigestor indiano, e nas características das propriedades rurais no que se refere à disponibilidade de matéria-prima para produção de

biodigestor é esse que é mais recomendado para a aplicação, para tanto, devem ser utilizados os dados das TABELAS 6 e 7.

4.2.3 - Biodigestor de Alvenaria

O biodigestor é um equipamento que pode ser construído com tijolos comuns, com altura de 1.100 a 1.200 milímetros, e pode ser utilizado para o tratamento de resíduos de cozinha e coletados em extintores de incêndio e coletados em recipientes de plástico-lata e vidro.

O biodigestor é feito de tijolos e pode ser feito com tijolos comuns ou tijolos de argamassa. O tratamento é feito em um recipiente especializado que é feito de tijolos e que é feito de argamassa.

O tratamento é feito em um recipiente especializado que é feito de tijolos e que é feito de argamassa.

O tratamento é feito em um recipiente especializado que é feito de tijolos e que é feito de argamassa.

O tratamento é feito em um recipiente especializado que é feito de tijolos e que é feito de argamassa.

O tratamento é feito em um recipiente especializado que é feito de tijolos e que é feito de argamassa.

O tratamento é feito em um recipiente especializado que é feito de tijolos e que é feito de argamassa.

O tratamento é feito em um recipiente especializado que é feito de tijolos e que é feito de argamassa.

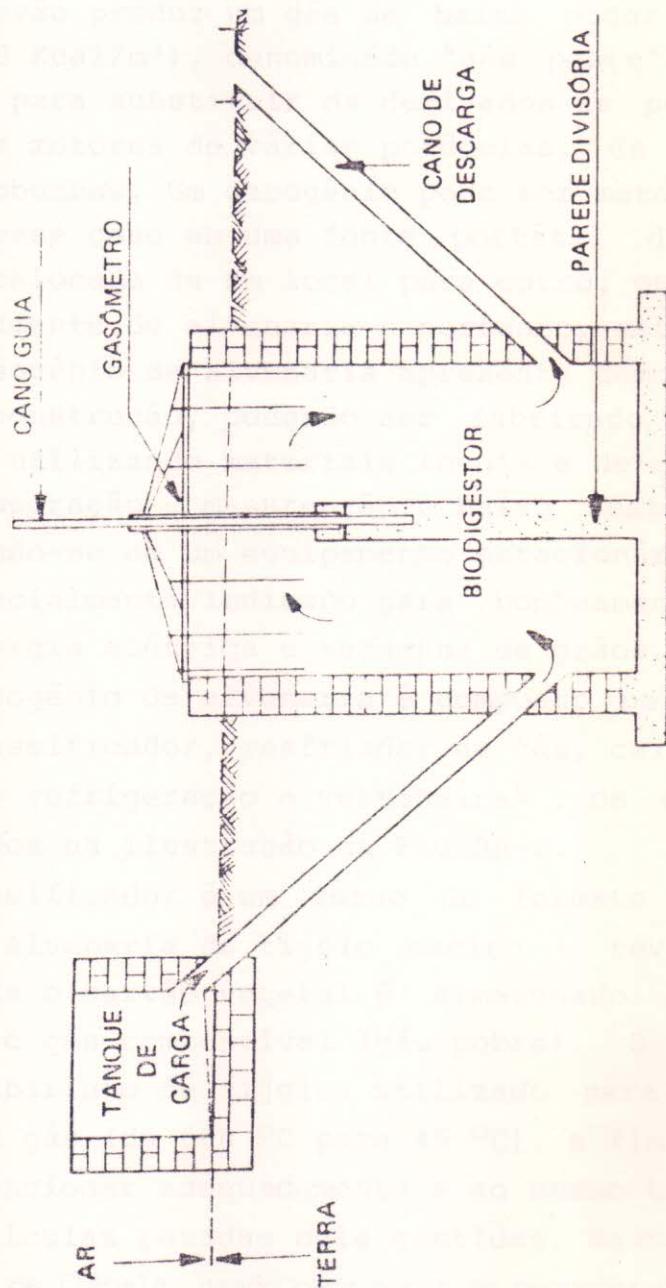


FIGURA 1 - Biodigestor modelo indiano.

biogás e nas suas necessidades energéticas; para tanto foram utilizados os dados das TABELAS 6 e 7.

4.2.2 - Gasogênio de Alvenaria

Um gasogênio é um equipamento que pela queima controlada do carvão produz um gás de baixo poder calorífico (1.100 - 1.200 Kcal/m³), denominado "gás pobre", que pode ser utilizado para substituir os derivados de petróleo, no acionamento de motores de várias potências, de grupos geradores e motobombas. Um gasogênio pode ser metálico, constituindo-se nesse caso em uma fonte portátil de energia, podendo ser deslocada de um local para outro, ou ser construído inteiramente de alvenaria e portanto, estacionário.

O gasogênio de alvenaria apresenta como vantagens: ser de fácil construção, podendo ser fabricado pelo próprio usuário, utilizando materiais locais e de fácil aquisição; fácil operação e manutenção e baixo custo de construção. Tratando-se de um equipamento estacionário esse gasogênio é especialmente indicado para bombeamento d'água, geração de energia elétrica e secagens de grãos.

O gasogênio de alvenaria é composto pelas seguintes partes: gaseificador, resfriador de gás, caixa do filtro, tanque de refrigeração e ventaneira^{6/}, os quais podem ser visualizados na ilustração da FIGURA 2.

O gaseificador é um forno de formato retangular, construído em alvenaria de tijolo maciço e revestido com argamassa, onde o carvão vegetal é armazenado e queimado para produzir o gás combustível (gás pobre). O resfriador de gás é um labirinto de tijolos utilizado para reduzir a temperatura do gás (de 600 °C para 45 °C), a fim de que o motor possa funcionar adequadamente e ao mesmo tempo limpar o gás das partículas pesadas nele contidas. Na caixa do filtro fica o filtro de flanela, usado para reter as pequenas partículas do

^{6/} O mini gasogênio de alvenaria, devido o seu menor tamanho dispensa o uso da ventaneira e do tanque de refrigeração.

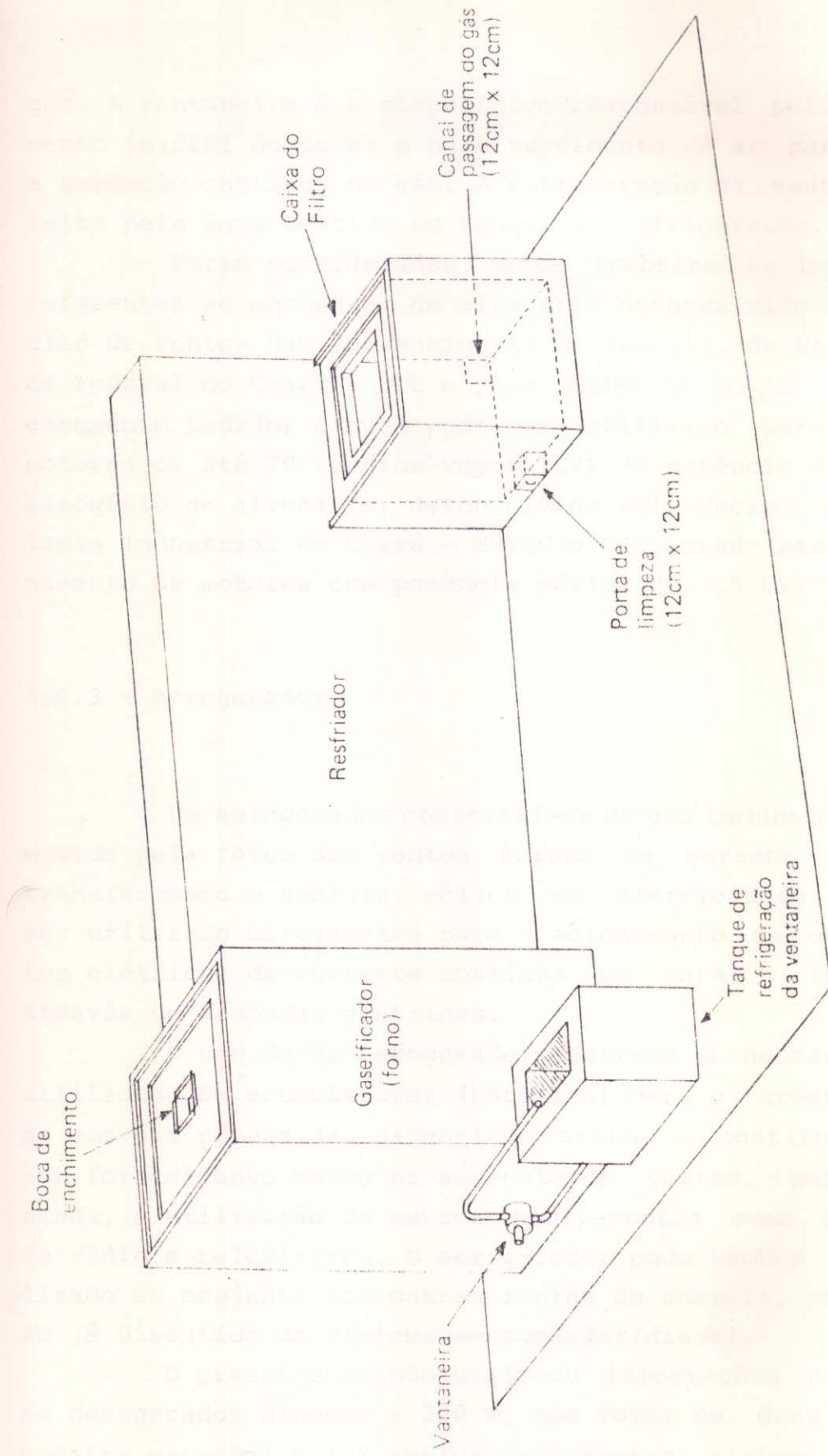


FIGURA 2 - Gasogênio de alvenaria.

gás. A ventaneira é o dispositivo responsável pelo acendimento inicial do forno e pelo suprimento de ar para manter a produção contínua do gás. A refrigeração da ventaneira é feita pela água contida no tanque de refrigeração.

Foram consideradas neste trabalho as informações referentes ao gasogênio de alvenaria desenvolvido pelo Núcleo de Fontes Não Convencionais de Energia, da Universidade Federal do Ceará - UFC e pela EMBRATER (aqui designado gasogênio padrão) o qual pode ser utilizado para acionar motores de até 70 cavalos-vapor (CV) de potência e ao mini gasogênio de alvenaria, desenvolvido pelo Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará - NUTEC e UFC, usado para o acionamento de motores com potência máxima de 3,5 CV.

4.2.3 - Aerogerador

Um aerogerador constitui-se de uma turbina que ao ser movida pela força dos ventos aciona um gerador elétrico, transformando a energia eólica em eletricidade, podendo ser utilizado diretamente para o acionamento de equipamentos elétricos de corrente contínua ou para a iluminação através de lâmpadas elétricas.

O uso de um aerogerador acarreta a necessidade de utilização de acumuladores (baterias) para o armazenamento da energia produzida, garantindo assim a continuidade de seu fornecimento mesmo na ausência de ventos, permitindo, ainda, a utilização de outros equipamentos como aparelhos de rádio e televisores. O aerogerador pode também ser utilizado em conjunto com outras fontes de energia, como o caso já discutido do sistema aerogerador/diesel.

O presente estudo utilizou informações referentes ao aerogerador Dicomex - 200 W, com rotor de duas pás de madeira especial e 1,8 metros de diâmetro; sistema de freio manual e potência nominal de 200 watts, sob condição de velocidade do vento de 10 metros por segundo; sendo utilizado para o carregamento de um acumulador eletro-químico de

12 volts (V) de tensão e 150 amperes-hora (Ah) de capacidade.

Para o cálculo da energia produzida pelo aerogerador foi considerado o regime de ventos da cidade de Fortaleza/CE (com dados de cinco anos - 1981 a 1985 - de velocidade média diária dos ventos) e na curva de desempenho do aerogerador, fornecida pelo fabricante, e que mostra o número de amperes-hora gerados a diferentes velocidades dos ventos. A TABELA 8 resume esse conjunto de dados.

4.2.4 - Painel de Células Fotovoltaicas

Um painel de células fotovoltaicas, ou simplesmente painel fotovoltaico, é um conjunto de células que convertem diretamente a energia radiante solar em energia elétrica.

Em um painel fotovoltaico a energia elétrica é produzida quando fôtons de energia radiante incidem sobre materiais semi-condutores tipo n (silício dopado com arsênico) e tipo p (silício dopado com boro), retirando cargas negativas e positivas dos átomos dos respectivos elementos dopantes e criando na junção dos dois tipos de semi-condutores um campo elétrico que age como uma barreira e impede que as cargas positivas do lado p se unam às cargas negativas do lado n. Nesta condição ao se ligar um condutor entre as extremidades dos materiais semi-condutores as cargas negativas passam do lado n para o lado p onde se combinam com as cargas positivas, e assim é estabelecida uma corrente elétrica.

Um sistema fotovoltaico simples é formado por um painel fotovoltaico, um regulador de tensão e um acumulador eletro-químico. O painel fotovoltaico transforma a radiação solar em energia elétrica de tensão variável, que é estabilizada pelo regulador de tensão, sendo em seguida armazenada no acumulador.

Este trabalho utilizou informações referentes a

TABELA 8 - Produção anual de energia do aerogerador Dicomex - 200 W na cidade de Fortaleza.

Velocidade do vento (m/s)	Ampere-hora ^{a/}	Nº dias/ano ^{b/}	Energia produzida (kWh/ano)
0 - 3	0	114,4	0
3 - 4	1	117,8	33,93
4 - 5	2	94,4	54,37
5 - 6	5	31,6	45,50
6 - 7	10	7,0	20,16
		Total =	153,96

FONTE: Boletim Agrometeorológico - 1981/1985, CCA/UFC; Dicomex Exportação, Importação Comércio Ltda.

NOTAS: ^{a/} Quantidade de amperes-hora gerador pelo aerogerador à respectiva velocidade do vento.
^{b/} Número de dias do ano (média de 5 anos - 1981/1985) em que a velocidade média diária do vento situou-se na faixa considerada

três sistemas fotovoltaicos: o sistema I, formado por 1 painel fotovoltaico; o sistema II, formado por 3 painéis; e o sistema III formado por 6 painéis. Os painéis considerados foram do tipo Heliowatt HM-37C12, formado por células fotovoltaicas de silício monocristalino, com potência de 40 Wp (watt-pico) e capacidade média de geração de 11,4 amperes-hora (Ah) por dia, nas condições de radiação solar do Nordeste. A escolha dos tamanhos dos sistemas fotovoltaicos (dado pelo número de painéis fotovoltaicos utilizados) foi feita com base na potência dos equipamentos que podem ser supridos pelos sistemas e no tempo de utilização desses equipamentos. Esses dados, bem como outras informações referentes aos sistemas considerados, estão mostradas no APÊNDICE F.

4.3 - Fonte dos Dados

Para os biodigestores foram utilizados dados obtidos junto à Divisão de Estudos Energéticos - DEN do Departamento de Planejamento Energético e de Mercado - DPLEM, da Companhia Energética do Ceará - COELCE e dados oriundos de bibliografia específica sobre o assunto (ARORA et alii, 1989; BATISTA, 1981; SILVA, 1981).

As informações relativas ao gasogênio de alvenaria de tamanho padrão foram obtidas de CARVALHO et alii (1987). Para o mini gasogênio utilizou-se dados obtidos junto ao Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará - NUTEC e, ainda, junto à DEN/ DPLEM /COELCE.

Diversas informações, principalmente de caráter empírico, referentes aos biodigestores e aos gasogênios de alvenaria foram obtidas junto ao Centro de Estudos e Demonstrações Bernardo Gondim, da UFC.

Para o aerogerador e o painel fotovoltaico utilizaram-se informações obtidas, respectivamente, junto à Dicomex Exportação, Importação, Comércio Ltda. (São Paulo/SP) e Heliodinâmica S.A. (Vargem Grande Paulista/SP). Dados

complementares relativos a essas tecnologias foram obtidos com a DEN / DPLEM/COELCE.

Os preços dos materiais de construção dos biodigestores e dos gasogênios, bem como dos equipamentos secundários (acumulador eletro-químico, poste de concreto, etc.) utilizados nos sistemas aerogerador e fotovoltaico, foram obtidos por pesquisa direta no mercado de Fortaleza/CE.

Os preços do aerogerador e do painel fotovoltaico foram obtidos junto a seus fabricantes, Dicomex e Heliodinâmica, respectivamente, adicionando-se a estes as despesas de transporte até a cidade de Fortaleza.

4.4 - Métodos de Análise

De uma maneira geral, os custos relativos a qualquer empreendimento são classificados como fixos ou variáveis. Os custos fixos são aqueles que não variam com a quantidade produzida, enquanto que os custos variáveis são aqueles que se alteram de acordo com o nível de produção. A soma dos custos fixos com os custos variáveis dá como resultado o custo total. Pela divisão de cada tipo de custo pelo número de unidades produzidas obtém-se o respectivo custo médio, ou custo unitário (BILAS, 1972; FERGUNSSON, 1986).

Os custos fixos considerados neste trabalho foram os juros sobre o capital investido, a depreciação e os custos de conservação ou manutenção.

O custo relativo aos juros foi calculado sobre o valor médio do capital investido, a uma taxa de 10 ^{7/} % ao ano.

^{7/} Embora uma taxa de juros de 6 % ao ano fosse talvez mais adequada para as condições financeiras predominantes no meio rural, optou-se por uma taxa mais elevada, a fim de dirimir possíveis subestimações do valor estimado para o capital investido, uma vez que em regiões remotas o valor dos investimentos podem elevar-se devido à maior incidência dos custos de transporte. Além disso, para países em desenvolvimento, GITTINGER (1984), recomenda a utilização de taxas de juros anuais variando entre 8 % e 12 %.

A depreciação é o custo para repor o bem de capital após o término de sua vida útil. O valor da depreciação anual dos equipamentos foi calculada pelo método linear, que apresenta a vantagem da simplicidade e resultados satisfatórios, e consiste na divisão do custo inicial do bem de capital pelo número de anos de vida útil desse bem (sendo considerado como igual a zero o seu valor residual ou final). O APÊNDICE A mostra a vida útil considerada para os diversos equipamentos utilizados na pesquisa.

O custo de conservação é aquele necessário para manter o equipamento em condições adequadas de utilização. Foi determinado com base nas características específicas de cada equipamento e pode ser visto no APÊNDICE C.

Os custos variáveis foram representados pelas despesas com a mão-de-obra operacional (para todas as tecnologias), apresentados no APÊNDICE B e os gastos com combustível, no caso carvão vegetal (exclusivamente para o gasogênio).

Os custos assim definidos podem também ser classificados como custos explícitos, ou despesas diretas, e custos implícitos, ou despesas indiretas. Os custos explícitos são representados por pagamentos efetuados pelo uso dos recursos, enquanto os custos implícitos são formados pelas despesas não realizadas monetariamente (despesas não monetizadas) mas imputadas para efeito de avaliação. Portanto, são enquadrados como custos explícitos o pagamento da mão-de-obra e os gastos com a conservação dos equipamentos e com a aquisição de carvão vegetal e como custos implícitos os juros sobre o capital próprio investido e a depreciação.

Os rendimentos crescentes à escala, teoricamente, são conseguidos quando um aumento proporcional em todos os fatores produtivos ocasiona um aumento mais que proporcional na produção e, consequentemente, um decréscimo no custo total médio (BILAS, 1972; FERGUNSSON, 1986).

Neste trabalho, a hipótese de existência de rendimentos crescentes à escala, relacionados com as tecnologias alternativas para produção de energia, foi investigada si-

mulando-se diferentes tamanhos para os equipamentos sob análise e, para cada um dos tamanhos, foram identificados, quantificados e comparados os custos totais médios. Quando esses custos decresciam com o aumento de tamanho do equipamento, caracterizou-se a existência dos rendimentos crescentes à escala.

O retorno aos investimentos relativos às tecnologias alternativas para produção de energia foi estimado utilizando-se três indicadores: a relação benefício/custo (B/C), o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

A relação benefício/custo (B/C) é a razão entre o valor atualizado dos benefícios e o valor atualizado dos custos.

$$\text{Matematicamente, } B/C = \frac{\sum_{t=0}^n B_t / (1+r)^t}{\sum_{t=0}^n C_t / (1+r)^t}$$

Onde: B_t = benefício no ano t .

C_t = custo no ano t , inclusive investimentos.

t = número de períodos (anos de análise do projeto).

Para aceitação de um projeto como economicamente viável a relação benefício/custo deverá ser maior que a unidade ($B/C > 1$), desde que o fluxo de benefícios e custos tenham sido atualizados a uma taxa de desconto igual ou superior ao custo de oportunidade do capital (GITTINGER, 1984).

O valor presente líquido representa a soma algébrica dos valores do fluxo líquido do projeto, atualizados a uma taxa de desconto adequada.

$$\text{Matematicamente, } VPL = \sum_{t=0}^n \frac{L_t}{(1+r)^t} =$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Onde: L_t = fluxo líquido no ano t e as demais variáveis estão definidas acima.

Para GITTINGER (1984), a taxa de desconto a ser utilizada deve ser aquela que corresponda ao custo de oportunidade do capital e o critério de decisão consiste em aceitar o projeto para o qual o valor presente líquido é positivo ($VPL > 0$).

O valor presente líquido é influenciado pelo valor da taxa de desconto utilizada. NORONHA (1981) demonstrou que uma diminuição na taxa de desconto eleva o VPL. Assim, para que o VPL represente adequadamente a rentabilidade de um projeto e conduza a uma tomada de decisão acertada é necessário que o custo de oportunidade do capital, que servirá como base para a taxa de desconto a ser utilizada na atualização dos valores do fluxo líquido do projeto, seja corretamente determinado.

Neste trabalho foram utilizadas seis taxas de desconto: 4 %, 6 %, 8 %, 10 %, 12 % e 15 %, visando, assim, permitir a comparação dos resultados para diferentes custos de oportunidade do capital.

A taxa interna de retorno (TIR) é definida como o valor da taxa de desconto que torna o valor presente líquido igual a zero.

$$\text{Matematicamente, } \sum_{t=0}^n \frac{L_t}{(1+r^*)^t} = 0$$

Onde as variáveis estão definidas como anteriormente e r^* = taxa interna de retorno.

Um projeto é considerado viável se apresentar uma



taxa interna de retorno igual ou maior que o custo de oportunidade do capital (GITTINGER, 1984).

A taxa interna de retorno apresenta como principais vantagens a sua independência da escolha do fator de desconto, pois é calculada a partir dos próprios valores do fluxo de benefícios e custos, e a possibilidade de ser comparada diretamente com o custo do capital e com as opções do mercado financeiro.

HIRSHLEIFER (1970), interpreta a taxa interna de retorno com uma taxa média de crescimento que transforma vários custos em diversos benefícios e demonstra que se a taxa interna de retorno é superior à taxa de desconto empregada o valor presente líquido é então positivo. Esse autor também adverte que a comparação de projetos distintos com base apenas nas suas respectivas TIR pode conduzir a resultados incorretos e, portanto, neste tipo de comparação, a decisão deve ser tomada na análise conjunta da taxa interna de retorno e do valor presente líquido, considerando-se os "tamanhos" dos projetos e se estes são "tardios" ou "precoces".

Para a composição do fluxo de benefícios e custos necessários à análise de investimento, foram consideradas as variáveis: valor bruto da produção de energia, valor dos investimentos e custos operacionais, associados a cada equipamento.

O valor bruto da produção foi obtido convertendo-se a energia produzida em gás liquefeito de petróleo - GLP e óleo diesel (para o biodigestor), gasolina e óleo diesel (para o gasogênio), quilowatt-hora (para o aerogerador e o painel de células fotovoltaicas), com seus respectivos preços de mercado. A conversão da energia produzida para as demais formas foi realizada com base nos coeficientes de equivalência energética apresentados no APÊNDICE E. Devido à dificuldades de valoração, a receita advinda do biofertilizante (resultante do processo de produção do biogás) foi

considerada como equivalendo à despesa com o esterco^{8/}, SILVA & BISERRA (1988) fizeram as mesmas considerações.

Os preços considerados foram os de mercado da cidade de Fortaleza, em cruzeiros de outubro de 1990, com exceção da tarifa de energia elétrica, para a qual utilizou-se o valor do quilowatt-hora cobrado pela COELCE para a classe do consumo rural.

Os custos de investimento e reinvestimento compreenderam, respectivamente, as despesas de implantação e a manutenção dos equipamentos e reposição dos bens de capital com vida útil inferior ao horizonte de análise.

Os custos operacionais consideraram somente os gastos com mão-de-obra, com a pintura do gasômetro do biodigestor e com a aquisição de carvão vegetal (utilizado no gásogênio), uma vez que não se considerou a despesa com o esterco e o custo da água, por não ser significativo, foi desprezado.

Visto que o horizonte de análise dos projetos é relativamente longo, é importante verificar os possíveis impactos sobre os resultados ocasionados por alterações em fatores exógenos e para tanto procedeu-se a uma análise de sensibilidade, que objetivou investigar a estabilidade dos indicadores de rentabilidade frente à mudanças externas, como alterações nos preços dos insumos e da energia produzida. Foram consideradas quatro alternativas:

- 1 - aumento de 10 % nos custos, mantendo-se as receitas constantes;
- 2 - aumento de 20 % nos custos com receitas mantidas constantes;
- 3 - custos estáveis com diminuição de 10 % nas receitas;
- 4 - aumento de 10 % nos custos com diminuição simultânea de 10 % nas receitas.

^{8/} Admitindo, entretanto, que o mais correto seria atribuir preços diferenciados para ambos, uma vez que o biofertilizante é comprovadamente superior ao esterco para fins de adubação.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação e análise dos resultados será conduzida de forma a mostrar, para cada tecnologia considerada, os custos a ela referentes, a existência de retornos à escala (para as tecnologias do biodigestor e do painel fotovoltaico) e o retorno aos investimentos (para aquelas tecnologias que apresentarem o custo total médio da energia produzida inferior ao preço de mercado dos energéticos possíveis de serem substituídos).

5.1 - Biodigestor

As despesas de investimento para os seis tamanhos^{9/} de biodigestores utilizados, as necessidades de mão-de-obra, os coeficientes técnicos empregados bem como outros dados necessários à condução das análises são apresentados nos APÊNDICES A a E.

A partir dessas informações determinou-se os custos anuais e investigou-se a existência de rendimentos à escala e, em seguida, foram estimados os retornos aos investimentos.

5.1.1 - Custos

A análise dos dados da TABELA 9 demonstra que para os biodigestores com produção diária de até 15 m³ de biogás, os custos fixos participam com mais de 50 % do custo

^{9/} Neste trabalho, como já explicado, o tamanho do biodigestor é dado por sua capacidade de produção diária de biogás.

TABELA 9 - Composição dos custos anuais, conforme o tamanho dos biogestores.

Tipo de Custo	Tamanho do biogestor (m ³ de biogás/dia)				
	1	4	6	10	15
A - <u>Custo Fixo</u> (Cr\$)	<u>7.875,37</u>	<u>12.985,38</u>	<u>15.575,82</u>	<u>20.829,67</u>	<u>25.942,06</u>
Juros	1.950,50	3.343,15	3.994,75	5.287,55	6.680,90
Depreciação	4.577,67	7.362,97	8.666,17	11.735,10	14.521,80
Conservação	1.347,20	2.279,26	2.914,90	3.807,02	4.739,36
B - Custo variável (Cr\$)	3.000,00	5.750,00	11.500,00	17.000,00	22.750,00
C - Custo total (Cr\$)	10.875,37	18.735,38	27.075,82	37.829,67	48.692,06
D - Custo total médio (Cr\$/m ³ de biogás)	31,07	13,38	12,89	10,81	9,28

FONTE: APÊNDICES A, B, C e D.

NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.

2. O custo variável compreende apenas as despesas com a mão-de-obra operacional.

total, caindo essa participação para 45 % no caso do biodigestor com produção de 25 m³ de biogás por dia. Verifica-se, assim, um aumento na participação relativa dos custos variáveis na composição do custo total, à medida em que se aumenta o tamanho do biodigestor. Entretanto, para todos os tamanhos de biodigestores considerados, os juros e a depreciação, que constituem custos implícitos ou despesas indiretas, respondem por mais de 80 % dos custos fixos. Uma vez que o custo variável é constituído somente pela mão-de-obra operacional e desde que ela é, em geral, de origem familiar, não sendo obrigatoriamente remunerada pelo produtor, constata-se a pequena participação das despesas diretas na formação do custo total, ficando essas restritas à conservação dos equipamentos e, portanto, que o emprego da tecnologia do biodigestor não acarreta uma elevada necessidade de capital circulante por parte do produtor.

A fim de ampliar a análise e investigar a rentabilidade da produção de biogás quando este é comparado a energéticos convencionais, bem como prover informações utilizadas posteriormente na análise de retorno aos investimentos, elaborou-se a TABELA 10, onde o custo total médio do biogás é apresentado considerando-se a sua conversão energética em gás liquefeito de petróleo - GLP, óleo diesel e energia elétrica. Observa-se, então, que o custo total médio do biogás, quando seu equivalente energético é transformado em energia elétrica, é superior ao preço de mercado dessa forma de energia, para todos os tamanhos de biodigestores considerados. Consequentemente, não existe viabilidade econômica na substituição de energia elétrica por biogás^{10/}.

Quando o biogás é convertido em GLP, verifica-se

^{10/} É necessário destacar que na comparação entre o custo total médio do biogás e o preço de mercado da energia elétrica, partiu-se da hipótese que a propriedade já encontrava-se eletrificada, o que não é verdadeiro para a maioria das propriedades rurais; tal hipótese poderia ser relaxada e, a partir daí, proceder-se a uma reavaliação da viabilidade econômica do biogás como substituto da energia elétrica. Entretanto, como esse não é um emprego comum para o biogás, optou-se por não realizar essa análise.

TABELA 10 - Custo total médio do biogás considerando-se sua conversão em diversos energéticos e conforme os tamanhos dos biodigestores.

Tamanho do biodigestor (m ³ de biogás/dia)	Custo total médio			
	Cr\$/m ³ biogás	Cr\$/kg GLP	Cr\$/litro diesel	Cr\$/kWh
1	31,07	69,05	56,50	21,73
4	13,38	29,74	24,33	9,36
6	12,89	28,65	23,44	9,02
10	10,81	24,02	19,65	7,56
15	9,28	20,61	16,86	6,49
25	8,33	18,50	15,14	5,82

FONTE: TABELA 9 e APÊNDICE D.

NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.

2. Preços de mercado:
 - GLP: Cr\$ 27,73/kg.
 - óleo diesel: Cr\$ 27,40/litro.
 - energia elétrica: Cr\$ 4,15/kWh.

que os biodigestores que produzem 1, 4 e 6 m³ de biogás por dia apresentam custo total médio superior ao preço do GLP no mercado. Esse custo, contudo, é menor que o preço de mercado para todos os demais tamanhos (10, 15 e 25 m³ de biogás/dia). Portanto, o emprego do biogás, como substituto do GLP, é recomendável somente quando são utilizados biodigestores com capacidade de produção igual ou superior a 10 m³ de biogás/dia.

A conversão energética do biogás em óleo diesel resulta em uma situação mais favorável, relativamente às duas anteriores, pois o custo total médio do biogás passa a ser inferior ao preço de mercado do óleo diesel já para o biodigestor que produz 4 m³ de biogás/dia e, portanto, esse tamanho de biodigestor apresenta viabilidade econômica, quando o biogás é empregado como substituto do óleo diesel.

Deve ser ressaltado que a pesquisa utilizou os preços de mercado do GLP, óleo diesel e energia elétrica, e que nesses preços estão embutidos subsídios. A retirada ou redução desses subsídios contribuiria, inequivocamente, para uma melhoria nas condições de viabilidade econômica dos biodigestores, principalmente no que refere ao emprego do biogás como substituto da energia elétrica, não obstante esta não ser sua utilização mais comum.

5.1.2 - Existência de Rendimentos à Escala

Plotando os valores da TABELA 9 em um gráfico obtém-se a curva de custo total médio mostrada na FIGURA 3.

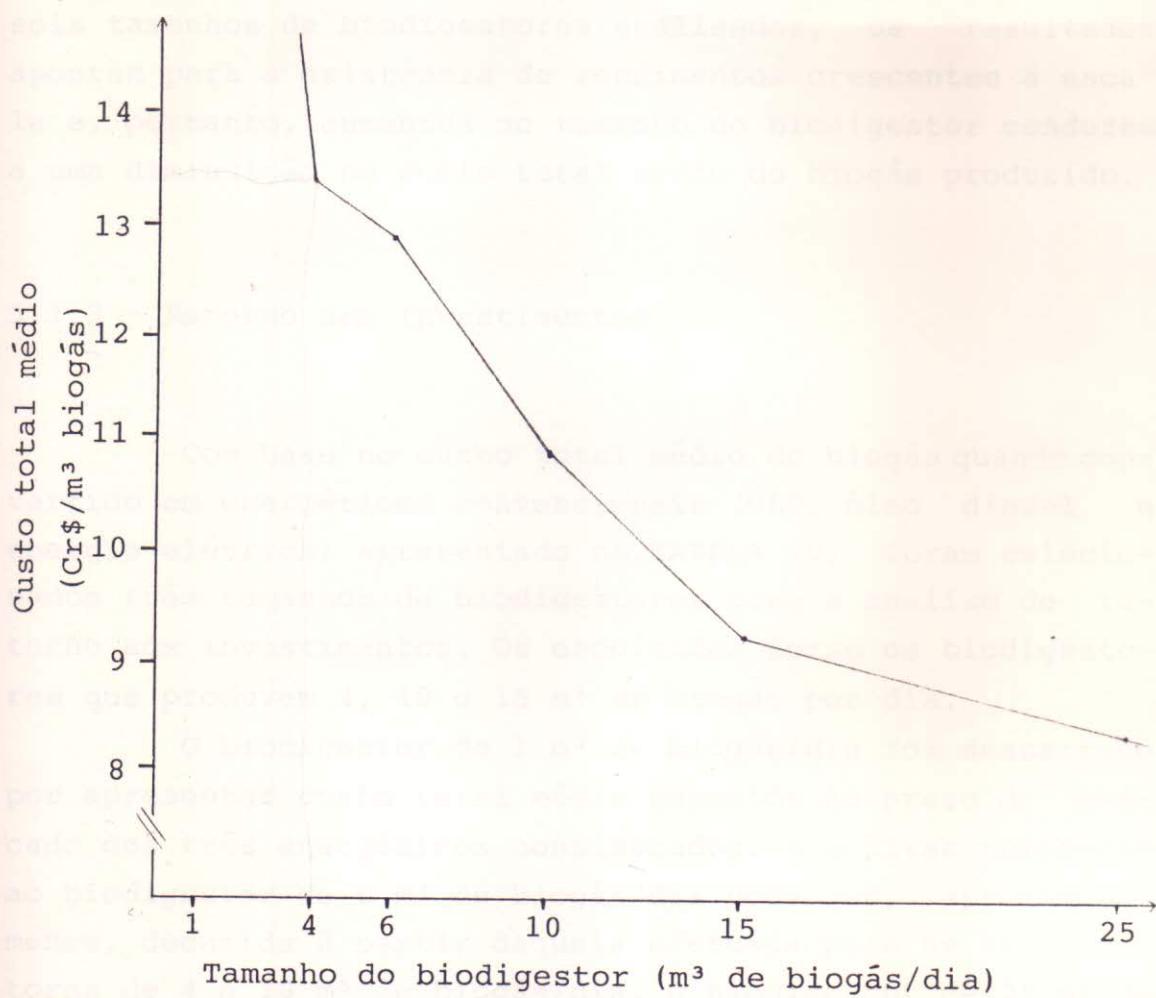


FIGURA 3 - Curva de custo total médio para o biogás.

Verifica-se que, para os biodigestores avaliados, o custo total médio do biogás diminui à medida em que se aumenta o tamanho do biodigestor, expresso pela produção diária de biogás, e que essa diminuição se dá através de taxas decrescentes, sendo a redução nos custos menos que proporcional ao aumento na produção, o que pode ser verificado mais claramente quando se observa que o aumento do biodigestor de 15 m³ de biogás/dia para 25 m³ de biogás/dia (aumento de 66,7 %) foi acompanhado de um decréscimo no custo médio de apenas 10,2 %. Tal fato é um indicativo de que o decréscimo no custo total médio deve cessar para algum tamanho do biodigestor (não determinado pela pesquisa) a partir do qual aumentos continuados no tamanho acarretarão a sua elevação.

Desta forma, para o intervalo compreendido pelos

seis tamanhos de biodigestores analisados, os resultados apontam para a existência de rendimentos crescentes à escala e, portanto, aumentos no tamanho do biodigestor conduzem a uma diminuição no custo total médio do biogás produzido.

5.1.3 - Retorno aos Investimentos

Com base no custo total médio do biogás quando convertido em energéticos convencionais (GLP, óleo diesel e energia elétrica) apresentado na TABELA 10, foram selecionados três tamanhos de biodigestores para a análise de retorno aos investimentos. Os escolhidos foram os biodigestores que produzem 4, 10 e 15 m³ de biogás por dia.

O biodigestor de 1 m³ de biogás/dia foi descartado por apresentar custo total médio superior ao preço de mercado dos três energéticos considerados. A análise referente ao biodigestor de 6 m³ de biogás/dia pode ser, aproximadamente, deduzida à partir daquela efetuada para os biodigestores de 4 e 10 m³ de biogás/dia. O biodigestor de 25 m³ de biogás/dia não foi selecionado por ser um tamanho considerado grande para a maioria das propriedades rurais nordestina (que não produzem matéria-prima suficiente para permitir a sua utilização), além do que, sua análise básica pode ser deduzida à partir daquela efetuada para o biodigestor de 15 m³ de biogás/dia.

Como nenhum biodigestor produziu biogás com custo total médio inferior ao preço de mercado da energia elétrica a presente análise considerou apenas a conversão energética do biogás em GLP e óleo diesel.

Os fluxos de benefícios e custos para os biodigestores selecionados estão apresentados nas TABELAS 11 a 16. Foi considerado um horizonte de tempo de 10 anos, que equivale à vida útil dos biodigestores. Os custos de investimentos referem-se às despesas de implantação dos biodigestores e à aquisição de um carro-de-mão para transporte do esterco. No quinto ano foi realizado um reinvestimento, equi-

TABELA 11 - Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 4m³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP.

Discriminação	Anos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita	15.972	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470
- Biogás	15.972	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470	17.470
Custos	73.613	6.750	6.750	9.650	13.146	6.750	9.650	6.750	6.750	7.717
- Investimentos/reinvestimentos	66.863	-	-	2.900	6.396	-	2.900	-	-	9.672 ^a
- Custos operacionais	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750
• mão-de-obra	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
• pintura	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
Benefício líquido	-57.641	10.720	10.720	7.820	4.324	10.720	7.820	10.720	10.720	9.753

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTAS: - Valores em Cr\$ 1,00 (base: 15/10/90).

^aCorresponde ao valor de 1/3 do investimento do carro-de-mão, dado que a vida útil desse bem de capital é de três anos.

TABELA 12 - Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 10m³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP.

Discriminação	Anos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita	38.683	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675
- Biogás	38.683	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675	43.675
Custos	124.501	18.750	21.650	18.750	31.935	18.750	21.650	18.750	21.650	18.750
- Investimentos/reinvestimentos	105.751	-	2.900	-	13.185	-	2.900	-	2.900	-
- Custos operacionais	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750
• mão-de-obra	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500
• pintura	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250
Benefício líquido	-85.818	24.925	22.025	24.925	11.740	24.925	22.025	24.925	22.025	24.925

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Valores em Cr\$ 1,00 (base: 15/10/90).

TABELA 13 - Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 15m³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP.

Discriminação	Anos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita	56.153	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512
- Biogás	56.153	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512	65.512
Custos	158.493	24.875	27.775	24.875	40.847	24.875	27.775	24.875	27.775	24.875
- Investimentos/reinvestimentos	133.618	-	2.900	-	15.972	-	2.900	-	2.900	-
- Custos operacionais	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875
• mão-de-obra	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375
• pintura	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Benefício líquido	-102.340	40.637	37.737	40.637	24.665	40.637	37.737	40.637	37.737	40.637

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Valores em Cr\$ 1,00 (base: 15/10/90).

TABELA 14 - Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 4m³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel.

Discriminação	Anos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita	19.290	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098
- Biogás	19.290	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098	21.098
Custos	73.613	6.750	6.750	9.650	13.146	6.750	9.650	6.750	6.750	7.717
- Investimentos/reinvestimentos	66.863	-	-	2.900	6.396	-	2.900	-	-	9672/
- Custos operacionais	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750
• mão-de-obra	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
• pintura	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
Benefício líquido	-54.323	14.348	14.348	11.448	7.952	14.348	11.448	14.348	14.348	13.381

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTAS: - Valores em Cr\$ 1,00 (base: 15/10/90).

2/Correspondente ao valor de 1/3 do investimento do carro-de-mão, dado que a vida útil desse bem de capital é de três anos.

TABELA 15 - Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 10m³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel.

	Discriminação	Anos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita	46.717	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745
- Biogás	46.717	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745	52.745
Custos	124.501	18.750	21.650	18.750	31.935	18.750	21.650	18.750	21.650	18.750	18.750
- Investimentos/reinvestimentos	105.751	-	2.900	-	13.185	-	2.900	-	2.900	-	-
- Custos operacionais	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750	18.750
• mão-de-obra	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500
• pintura	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250
Benefício líquido	-77.784	33.995	31.095	33.995	20.810	33.095	31.995	33.995	31.095	33.995	31.095

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Valores em Cr\$ 1,00 (base: 15/10/90).

TABELA 16 - Fluxo de benefícios e custos para o biodigestor com produção de 15m³ de biogás por dia, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel.

	Discriminação					Anos				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receita	67.815	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118
- Biogás	67.815	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118	79.118
Custos										
- Investimentos/reinvestimentos	133.618	-	2.900	-	15.972	-	2.900	-	2.900	-
- Custos operacionais	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875	24.875
• mão-de-obra	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375	23.375
• pintura	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Benefício líquido	-90.678	54.243	51.343	54.243	38.271	54.243	51.343	54.243	51.343	54.243

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Valores em Cr\$ 1,00 (base: 15/10/90).

valente a 10 % do valor de implantação do biodigestor, para reparos na estrutura dos equipamentos. A receita foi obtida pela conversão energética do biogás em GLP e óleo diesel, com seus respectivos preços de mercado. No primeiro ano essa receita foi inferior aos demais, devido ao menor tempo de funcionamento dos biodigestores, em decorrência do tempo gasto na sua implantação.

Com base nos fluxos de benefícios e custos apresentados foram calculados o valor presente líquido (VPL) e a relação benefício/custo (B/C) para diversas taxas de desconto e a taxa interna de retorno (TIR), para os três tamanhos de biodigestores selecionados, levando-se em conta a conversão energética do biogás em GLP e óleo diesel. Os resultados encontrados são mostrados nas TABELAS 17 e 18.

Os resultados mostraram que para o biodigestor correspondente a 4 m³ de biogás/dia, quando considerada a conversão energética do biogás em GLP, o valor presente líquido foi positivo e a relação benefício/custo foi superior a 1 apenas para as taxas de desconto de 4 % e 6 %. A taxa interna de retorno encontrada foi de 7,9 %, indicando que cada cruzeiro investido no projeto permite, em média, um retorno de 8 centavos, superior, portanto, ao retorno obtido com aplicações na caderneta de poupança. Os biodigestores com tamanhos de 10 e 15 m³ de biogás/dia apresentaram, conforme TABELA 17, relação benefício/custo superior à unidade e valor presente líquido positivo, para todas as taxas de desconto consideradas e taxa interna de retorno de 21,7 % e 34,5 %, respectivamente.

Pelo que foi apresentado pode-se constatar que quando o biogás é convertido em GLP o biodigestor de 4 m³ de biogás/dia não apresenta retornos tão significativos em comparação aos biodigestores de 10 e 15 m³ de biogás/dia. Entretanto, deve ser ressaltado que os fatores econômicos não são os únicos determinantes da escolha do tamanho do biodigestor, pois a disponibilidade de matéria-prima (esterco) na propriedade exerce também grande influência nessa escolha e para pequenos agricultores este pode se constituir no fator preponderante.

TABELA 17 - Relação benefício/custo (B/C) e valor presente líquido (VPL) a diferentes taxas de desconto e taxa interna de retorno (TIR) para biodigestores de tamanhos selecionados, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP.

Taxa de desconto (%)	Biodigestor - 4 m ³			Biodigestor - 10 m ³			Biodigestor - 15 m ³		
	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	
4	1,079	10.709,17	1,287	81.143,35	1,492	179.065,80			
6	1,037	4.868,95	1,248	66.824,19	1,447	154.965,40			
8	0,998	-230,95	1,211	54.312,42	1,404	133.895,50			
10	0,961	-4.703,85	1,175	43.332,36	1,363	115.394,90			
12	0,926	-8.643,46	1,142	33.655,91	1,324	99.082,25			
15	0,879	-13.719,44	1,094	21.179,69	1,268	78.037,16			
TIR (%)	7,903		21,687		34,511				

FONTE: Resultados da pesquisa.

TABELA 18 - Relação benefício/custo (B/C) e valor presente líquido (VPL) a diferentes taxas de desconto e taxa interna de retorno (TIR) para biodigestores de tamanhos selecionados, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel.

Taxa de desconto (%)	Biodigestor - 4 m ³			Biodigestor - 10 m ³			Biodigestor - 15 m ³		
	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C
4	1,303	41.002,42	1,554	156.617,40	1,802	291.888,10			
6	1,253	32.863,29	1,508	136.550,90	1,747	259.166,90			
8	1,205	25.750,50	1,463	119.006,90	1,695	230.548,50			
10	1,161	19.507,59	1,420	103.601,90	1,646	205.410,30			
12	1,112	14.005,09	1,379	90.018,12	1,598	183.236,90			
15	1,061	6.909,46	1,321	72.492,86	1,532	154.618,10			
TIR (%)	18,529						38,550		56,161

FONTE: Resultados da pesquisa.

A conversão energética do biogás em óleo diesel resulta em uma situação mais favorável que a do biogás convertido em GLP, pois para todos os tamanhos e para todas as taxas de desconto consideradas, a relação benefício/custo foi maior que 1 e o valor presente líquido positivo; a taxa interna de retorno situou-se entre 18,5 % e 56,2 %, demonstrando, assim, que este investimento apresenta uma significativa rentabilidade.

Em seguida, para testar a estabilidade dos indicadores de rentabilidade, foi realizada uma análise de sensibilidade, que está apresentada nas TABELAS 19 e 20. Esta análise demonstrou que para o biodigestor de 4 m³ de biogás por dia e sendo considerada a conversão energética do biogás em GLP, os resultados são bastante influenciados por mudanças exógenas, de tal forma que uma queda de 10 % nas receitas simultaneamente a uma elevação de 10 % nos custos, faz com que a taxa interna de retorno passe a ser inferior a 1 %, tornando o projeto economicamente inviável. Assim, esse fator, juntamente com os já discutidos, também deve ser ponderado quando da opção por este tamanho de biodigestor. Os demais tamanhos de biodigestores (10 e 15 m³ de biogás/dia) apresentaram boa estabilidade para os indicadores de rentabilidade, com relação benefício/custo superior a unidade, valor presente líquido positivo e taxa interna de retorno superior a 11 % em todas as situações consideradas (TABELA 19).

Quando é considerada a conversão energética do biogás em óleo diesel a análise de sensibilidade indicou que mesmo com mudanças nas condições básicas do projeto os valores da taxa interna de retorno, da relação benefício/custo e do valor presente líquido mantém-se em patamares que apontam para a viabilidade econômica dos biodigestores. Mesmo nas condições mais adversas (diminuição de 10 % nas receitas e aumento de 10 % nos custos), o valor da taxa interna de retorno indica que cada cruzeiro investido no projeto permite um retorno de, no mínimo, 11 centavos (TABELA 20), o que nas condições vigentes no meio rural pode ser considerado um retorno significativo.

TABELA 19 - Análise de sensibilidade dos indicadores de rentabilidade dos biodigestores de tanques selecionados, considerando-se a conversão energética do biogás em GLP.

Discriminação	Taxa de Desc.	Biodigestor - 4 m ³			Biodigestor - 10 m ³			Biodigestor - 15 m ³		
		B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C
Receitas e custos constantes	6 % 10 %	1,037 0,961 TIR (%)	4.868,95 -4.703,85 7,903	1,248 1,175 TIR (%)	66.824,19 43.332,36 21,687	1,447 1,363 TIR (%)	154.965,40 115.394,90 34,511			
Receitas constantes e custos mais 10 %	6 % 10 %	0,994 0,925 TIR (%)	-762,59 -9.471,13 5,696	1,185 1,120 TIR (%)	52.382,13 31.095,00 18,548	1,372 1,298 TIR (%)	136.136,60 99.439,75 31,413			
Receitas constantes e custos mais 20 %	6 % 10 %	0,955 0,891 TIR (%)	-6.394,12 -14.238,44 3,3905	1,127 1,069 TIR (%)	37.940,10 18.857,63 15,295	1,305 1,238 TIR (%)	117.307,80 83.484,63 28,247			
Receitas menos 10 % e custos constantes	6 % 10 %	0,946 0,878 TIR (%)	-7.013,54 -14.764,81 3,1279	1,138 1,073 TIR (%)	37.117,94 18.179,99 15,111	1,318 1,244 TIR (%)	110.406,10 77.666,28 27,056			
Receitas menos 10 % e custos mais 10 %	6 % 10 %	0,907 0,845 TIR (%)	-12.645,08 -19.532,09 0,689	1,080 1,022 TIR (%)	22.675,88 5.948,62 11,712	1,250 1,185 TIR (%)	91.577,25 61.711,19 23,789			

FONTE: Resultados da pesquisa.

TABELA 20 - Análise de sensibilidade dos indicadores de rentabilidade dos biodigestores de tanques selecionados, considerando-se a conversão energética do biogás em óleo diesel.

Discriminação	Taxa de Desc.	Biodigestor - 4 m ³			Biodigestor - 10 m ³			Biodigestor - 15 m ³		
		B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	B/C
Receitas e custos constantes	6 % 10 %	1,253 1,161 TIR (%)	32.863,29 19.507,59 18,529	1,508 1,420 TIR (%)	136.550,00 103.601,90 38,550	1,747 1,646 TIR (%)	259.166,90 205.410,30 56,161			
Receitas constantes e custos mais 10 %	6 % 10 %	1,201 1,117 TIR (%)	27.231,75 14.740,31 16,534	1,433 1,353 TIR (%)	122.108,80 91.364,50 35,490	1,657 1,567 TIR (%)	240.338,00 189.455,20 52,951			
Receitas constantes e custos mais 20 %	6 % 10 %	1,153 1,076 TIR (%)	21.600,22 9.973,00 14,487	1,361 1,292 TIR (%)	107.666,80 79.127,13 32,374	1,576 1,496 TIR (%)	221.509,20 173.500,10 49,706			
Receitas menos 10 % e custos constantes	6 % 10 %	1,142 1,061 TIR (%)	18.513,09 7.357,19 13,333	1,374 1,297 TIR (%)	100.675,30 73.225,86 30,813	1,592 1,502 TIR (%)	205.353,60 159.846,40 46,790			
Receitas menos 10 % e custos mais 10 %	6 % 10 %	1,095 1,020 TIR (%)	12.881,55 2.589,91 11,193	1,304 1,236 TIR (%)	86.233,28 60.988,50 27,606	1,510 1,431 TIR (%)	186.524,80 143.891,30 43,483			

FONTE: Resultados da pesquisa.

É necessário destacar ainda que, como explicado anteriormente (item 4.4), a pesquisa não considerou o valor do biofertilizante — subproduto resultante da produção do biogás, que possui grande poder de fertilização e condicionamento do solo e pode ser utilizado também na alimentação de peixes e como complemento na formulação de ração animal—, se esse valor fosse considerado contribuiria para um aumento na viabilidade econômica dos biodigestores.

5.2 - Gasogênio de Alvenaria

Para este estudo foram utilizados, como já especificado no item referente à metodologia, dois tamanhos de gasogênios de alvenaria: o gasogênio padrão, descrito por CARVALHO et alii (1987) e o mini gasogênio. Admitiu-se, em relação ao gasogênio padrão, as mesmas situações adotadas por esses autores, no que se refere ao tipo de motor acionado (65 CV de potência) e ao número de horas diárias de funcionamento (6 horas). Para o mini gasogênio foi considerado o acionamento de um motor de 3,5 CV de potência durante o mesmo período de tempo. A pesquisa considerou, ainda, a conversão energética do gás produzido (gás pobre) em gasolina e óleo diesel.

As despesas de investimento relativas a essa tecnologia, os coeficientes técnicos empregados e demais informações necessárias à condução das análises estão apresentadas nos APÊNDICES A a E.

Como a pesquisa utilizou apenas dois tamanhos de gasogênios de alvenaria (devido à inexistência de dados relativos a outros tamanhos) não foi possível a determinação da existência de rendimentos à escala e, portanto, para essa tecnologia, o trabalho apresenta somente a composição dos custos, o retorno aos investimentos e a análise de sensibilidade dos indicadores de rentabilidade.

5.2.1 - Custos

Os custos referentes aos dois tamanhos de gasogênios considerados são mostrados na TABELA 21, onde pode ser observado que a maior proporção do custo total é representado pelo custo variável, o qual é formado pelos gastos com a aquisição de carvão vegetal e despesas com a mão-de-obra, e responde por cerca de 94 % e 99 % do custo total referente ao mini gasogênio e ao gasogênio padrão, respectivamente. O gasto com carvão vegetal é o principal componente do custo variável e, por extensão, do custo total, o que acarreta a necessidade de elevado capital circulante para o emprego dessa tecnologia, uma vez que está sendo considerado que o produtor adquire de terceiros, a preços de mercado, todo o carvão vegetal empregado no processo produtivo. Naturalmente, a necessidade de capital circulante poderá ser reduzida, caso o produtor fabrique todo ou parte do carvão vegetal requerido na produção.

Analizando-se o custo total médio do gás produzido pelos dois tamanhos de gasogênios, quando é considerada a conversão energética em óleo diesel e gasolina, verifica-se que o gás produzido pelo gasogênio padrão apresenta custo total médio inferior ao produzido pelo mini gasogênio e ainda que, independente do tamanho de gasogênio empregado, o gás pobre não deve ser utilizado como substituto do óleo diesel, pois seu custo unitário é superior ao preço de mercado desse combustível, podendo, entretanto, ser empregado como substituto da gasolina. Este fato reflete o subsídio incorporado ao preço de mercado do óleo diesel e também a diferença dos fatores de conversão energética do gás pobre para esses dois combustíveis (APÊNDICE E).

Frente a esses resultados, e partindo-se do princípio de que na maioria das regiões rurais o preços dos combustíveis derivados do petróleo experimenta um acréscimo ocasionado pelos custos de transporte do ponto de venda até o local de consumo, e ainda que o agricultor é capaz de produzir o carvão vegetal requerido pelos gasogênios a um

TABELA 21 - Composição dos custos anuais e custo total médio, conforme os tamanhos dos gasogênios de alvenaria.

Tipo de custo	Gasogênios de alvenaria	
	Gasogênio padrão	Mini gasogênio
A - <u>Custo fixo</u> (Cr\$)	6.748,32	2.080,80
Juros	1.984,80	612,00
Depreciação	3.969,60	1.224,00
Conservação	793,92	244,80
B - <u>Custo variável</u> (Cr\$)	652.681,60	35.377,05
Mão-de-obra	22.750,00	5.750,00
Carvão vegetal	629.931,60	29.627,05
C - Custo total (Cr\$)	659.429,92	37.457,85
D - Custo total médio		
• Cr\$/m ³ de gás pobre	4,43	7,13
• Cr\$/litro gasolina	30,73	49,49
• Cr\$/litro diesel (*)	34,04	54,82

FONTE: APÊNDICES A, B, C e D.

NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.

2. Preços de mercado: - carvão vegetal: Cr\$16,91/kg
- gasolina: Cr\$57,70/litro
- óleo diesel: Cr\$27,40/litro

(*) considerando-se que o gás pobre é capaz de substituir 100 % do óleo diesel requerido para o funcionamento do motor. Como, na realidade, essa substituição é de 80 %, o custo total médio eleva-se para Cr\$ 39,52/litro de diesel, com o emprego do gasogênio padrão e Cr\$ 60,30/litro de diesel, com o emprego do mini gasogênio.

custo inferior ao seu preço de mercado, investigou-se como variações nos preços do óleo diesel e do carvão vegetal influenciariam a viabilidade econômica dos gasogênios. Para tanto simulou-se acréscimos no preço do óleo diesel e reduções no preço do carvão vegetal e calculou-se, para tais preços, o custo total médio do gás produzido, bem como a relação entre este custo e o preço considerado para o óleo diesel. Levou-se em conta, também, o fato de que o gás pobre substitui, no máximo, 80 % do óleo diesel requerido por um motor. Os resultados encontrados são mostrados na TABELA 22.

Constata-se, a partir da análise destes resultados, que uma elevação de 10 % no preço do diesel juntamente com uma queda de 30 % no preço do carvão, tornaria o custo total médio do gás pobre produzido pelo gasogênio padrão praticamente igual (apenas 1 % superior) ao preço do óleo diesel e, portanto, naquelas propriedades onde, devido aos custos de transporte, o óleo diesel experimenta um acréscimo de preço superior a 10 % e ao mesmo tempo o carvão vegetal possa ser produzido a um custo 30 % inferior ao preço de mercado, torna-se economicamente viável a substituição do óleo diesel por gás pobre produzido com a utilização do gasogênio padrão. Essa viabilidade é tanto maior quanto maiores forem o acréscimo no preço do óleo diesel e a redução no preço do carvão. Verifica-se, ainda, que a viabilidade econômica do emprego do gás pobre produzido pelo mini gasogênio como substituto do óleo diesel só ocorre se a elevação no preço do óleo diesel for da ordem de 30 % e, ao mesmo tempo, o carvão vegetal seja produzido a um custo 60 % inferior ao seu preço de mercado; o que é bastante provável ocorrer, principalmente em propriedades muito distantes dos pontos de venda de diesel e considerando-se as características do carvão utilizado pelo mini gasogênio (carvão de menor granulometria, feito a partir de pequenos galhos de árvores) e as condições de produção a nível de fazenda, onde é empregada a mão-de-obra familiar.

TABELA 22 - Custo Total Médio (CTMe) do gás produzido pelos gasogênios de alvenaria e sua relação com o preço do diesel, considerando-se variações nos preços do óleo diesel e do carvão vegetal.

Discriminação	CTMe (Cr\$/litro diesel)		Relação (CTMe/preço diesel)	
	Gasogênio padrão	Mini gasogênio	Gasogênio padrão	Mini gasogênio
Aumento de 10 % no preço do óleo diesel e diminuição de 20 % no preço do carvão.	33,57	52,18	1,11	1,73
Aumento de 10 % no preço do óleo diesel e diminuição de 30 % no preço do carvão.	30,32	47,85	1,01	1,59
Aumento de 10 % no preço do óleo diesel e diminuição de 40 % no preço do carvão.	24,07	43,51	0,90	1,44
Aumento de 20 % no preço do óleo diesel e diminuição de 20 % no preço do carvão.	34,12	52,73	1,04	1,60
Aumento de 20 % no preço do óleo diesel e diminuição de 30 % no preço do carvão.	30,87	48,40	0,94	1,47
Aumento de 30 % no preço do óleo diesel e diminuição de 60 % no preço do carvão.	21,65	35,92	0,61	1,01

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Cr\$-base: 15/10/90.

5.2.2 - Retorno aos Investimentos

A análise dos custos dos dois tamanhos de gasogênios demonstrou que, quando considerada a conversão energética do gás pobre em óleo diesel, o custo total médio resultou superior ao preço de mercado desse combustível e, desta forma, a análise de retorno aos investimento foi realizada com base apenas na conversão do gás pobre em gasolina.

Os fluxos de benefícios e custos, necessários à condução da análise são mostrados nas TABELAS 23 e 24. A partir desses dados foram determinados a relação benefício/custo e o valor presente líquido, a diferentes taxas de desconto, e a taxa interna de retorno, os quais são exibidos na TABELA 25.

Os resultados mostram que, para os dois tamanhos de gasogênios, a taxa interna de retorno foi superior a 100 % e, para todas as taxas de desconto consideradas, tanto a relação benefício/custo foi superior à unidade como o valor presente líquido foi positivo, indicando, dessa forma, a viabilidade econômica da utilização dos gasogênios de alvenaria, quando é considerada a conversão energética do gás pobre em gasolina.

De acordo com a análise de sensibilidade apresentada na TABELA 26, a estabilidade dos indicadores de rentabilidade do mini gasogênio é prejudicada quando ocorre mudanças em alguns parâmetros, de tal forma que uma elevação de 10 % nos custos, simultaneamente a uma redução de 10 % nas receitas, torna esse projeto inviável. Por outro lado os indicadores de rentabilidade associados ao projeto de utilização do gasogênio padrão, não são significativamente afetados pelas variações consideradas nas receitas e/ou custos.

5.3 - Aerogerador

Para a tecnologia do aerogerador apenas a estrutura-

TABELA 23 - Fluxo de benefícios e custos para o gasogênio padrão, considerando-se a conversão energética do gás pobre em gasolina.

Discriminação	Anos				
	1	2 - 4	5	6 - 10	
Receita	1.170.233,10	1.238.072,70	1.221.112,80	1.238.072,70	1.238.072,70
- Gás pobre	1.170.233,10	1.238.072,70	1.221.112,80	1.238.072,70	1.238.072,70
Custos	656.860,80	652.681,60	647.772,00	652.681,60	652.681,60
- Investimentos/reinvestimentos	39.696,00	-	3.969,60	-	-
- Custos Operacionais	617.164,80	652.681,60	643.802,40	652.681,60	652.681,60
• mão-de-obra	21.750,00	22.750,00	22.500,00	22.750,00	22.750,00
• carvão vegetal	595.414,80	629.931,60	621.302,40	629.931,60	629.931,60
Benefício líquido	513.372,30	585.391,10	573.340,80	585.391,10	585.391,10

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Cr\$-base: 15/10/90.

TABELA 24 - Fluxo de benefícios e custos para o mini gasogênio, considerando-se a conversão e-nergética do gás pobre em gasolina.

Discriminação	Anos				
	1	2 - 4	5	6 - 10	
Receita	42.475,75	43.672,25	43.313,30	43.672,25	
- Gás pobre	42.475,75	43.672,25	43.313,30	43.672,25	
Custos	46.805,35	35.377,05	36.357,54	35.377,05	
- Investimentos/reinvestimentos	12.240,00	-	1.224,00	-	
- Custos Operacionais	34.565,35	35.377,05	35.133,54	35.377,05	
• mão-de-obra	5.750,00	5.750,00	5.750,00	5.750,00	
• carvão vegetal	28.815,35	29.627,05	29.383,54	29.627,05	
Benefício líquido	-4.329,60	8.295,60	6.955,76	8.295,20	

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Cr\$-base: 15/10/90.

TABELA 25 - Relação benefício/custo (B/C) e valor presente líquido (VPL) a diferentes taxas de desconto e taxa interna de retorno (TIR) para o gasogênio padrão e o mini gasogênio, considerando-se a conversão energética do gás pobre em gasolina.

Taxa de desconto (%)	Gasogênio padrão		Mini gasogênio	
	B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)
4	1,882	4.855.651,00	1,181	56.203,03
6	1,881	4.485.480,00	1,177	51.030,88
8	1,880	4.161.387,00	1,173	46.505,07
10	1,878	3.876.423,00	1,169	42.527,83
12	1,877	3.624.824,00	1,165	39.018,05
15	1,876	3.299.725,00	1,159	34.485,81
TIR (%)		> 100	> 100	

FONTE: Resultados da pesquisa.

TABELA 26 - Análise de sensibilidade dos indicadores de rentabilidade do gasogênio padrão e mini gasogênio, considerando-se a conversão energética do gás pobre em gasolina.

Discriminação	Taxa de desc.	Gasogênio padrão			Mini gasogênio	
		B/C	VPL (Cr\$)	B/C	VPL (Cr\$)	
Receitas e custos constantes	6 %	1,881	4.485.480,00	1,177	51.030,88	
	10 %	1,878	3.876.423,00	1,169	42.527,83	
		TIR (%) > 100		TIR (%) > 100		
Receitas constantes e custos mais 10 %	6 %	1,731	4.041.934,00	1,086	26.890,81	
	10 %	1,730	3.500.876,00	1,081	22.087,13	
		TIR (%) > 100		TIR (%) > 100		
Receitas constantes e custos mais 20 %	6 %	1,605	3.598.389,00	1,008	2.750,75	
	10 %	1,602	3.500.876,00	1,005	1.646,41	
		TIR (%) > 100		TIR (%) > 100		
Receitas menos 10 % e custos constantes	6 %	1,717	3.644.723,00	1,074	21.354,75	
	10 %	1,716	3.164.573,00	1,069	17.401,36	
		TIR (%) > 100		TIR (%) 88,305		
Receitas menos 10 % e custos mais 10 %	6 %	1,582	3.201.177,00	0,991	-2.785,31	
	10 %	1,578	2.789.027,00	0,920	-23.480,06	
		TIR (%) > 100		TIR (%) < 0,001		

FONTE: Resultados da pesquisa.

ra de custos foi determinada, uma vez que não foi possível investigar a existência de retornos à escala, dado que apenas um tamanho de aerogerador foi utilizado na pesquisa (devido à inexistência de outros tamanhos no mercado nacional) e a análise de retorno aos investimentos deixou de ser realizada ao ser verificado que o custo total médio da energia produzida pelo aerogerador foi superior ao preço de mercado da energia elétrica.

As despesas de investimentos e outras informações utilizadas na determinação da estrutura de custos são mostradas nos APÊNDICES A a E.

5.3.1 - Custos

Constata-se, pelo exame da TABELA 27, que para a tecnologia do aerogerador, os custos fixos são os mais importantes, respondendo por 96 % do custo total. Os custos dos juros e da depreciação contribuem com 93,6 % do custo fixo, significando, assim, que a maior parte das despesas são indiretas (ou custos implícitos) e que, portanto, é pequena a necessidade de capital circulante por parte do produtor. Na realidade, desde que não haja desembolso para a mão-de-obra (através da utilização de mão-de-obra familiar), a única despesa direta (custo explícito) é representada pelos gastos com a conservação dos equipamentos, estimados em 1 % do valor do aerogerador.

O custo total médio da energia produzida foi de Cr\$ 143,38, o que é bastante elevado quando comparado com o preço do quilowatt-hora de energia elétrica cobrado pela COELCE para a classe de consumo rural (Cr\$ 4,15 em 15 de outubro de 1990) e indica a não viabilidade econômica da utilização do aerogerador.

Apesar do preço de mercado da energia elétrica ser subsidiado, a retirada desse subsídio não tornaria essa tecnologia competitiva, uma vez que seria necessário uma elevação da ordem de 5.765 % no preço de mercado da energia

TABELA 27 - Composição dos custos anuais e custo total médio referente ao sistema aerogerador.

Tipo de custo	Valor
A - Custo fixo (Cr\$)	35.971,33
Juros	13.206,05
Depreciação	20.466,07
Conservação	2.299,21
B - Custo variável (Cr\$)	1.500,00
C - Custo total (Cr\$)	37.471,33
D - Custo total médio (Cr\$/kWh)	243,38

FONTE: APÊNDICES A, B, C e D.

NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.

2. O custo variável compreende apenas as despesas com mão-de-obra operacional.
3. Produção energética anual do aerogerador: 153,96kWh

elétrica para que a mesma se equiparasse ao custo total médio da energia produzida pelo aerogerador nas condições consideradas pela pesquisa.

Obviamente, a decisão de utilizar essa tecnologia não depende unicamente de sua viabilidade econômica pois ela é influenciada, também, por outros fatores, como a não disponibilidade de outras fontes, a quantidade de energia requerida e a preferência do usuário. Diferentemente das duas outras tecnologias avaliadas (biodigestor e gasogênio de alvenaria) o aerogerador não necessita da produção de insumos para que possa gerar energia, uma vez que sua força propulsora são os ventos; além disso, produz diretamente energia elétrica, a qual é extremamente versátil, permitindo uma multiplicidade de aplicações e desde que as necessidades energéticas do usuário sejam pequena elas podem ser adequadamente satisfeitas pelo aerogerador. Destaca-se ainda que essa tecnologia requer pouquíssima mão-de-obra para sua operação (6 diárias por ano), e apesar de não ser este um fator limitante no meio rural, deve também ser ponderado quando da opção por uma fonte energética.

Uma vez que a energia produzida por um aerogerador é uma função de seu fator de capacidade, que por sua vez depende do regime de ventos da região, a pesquisa simulou vários fatores de capacidade^{11/} para o aerogerador sob estudo (mantendo-se constante os valores dos investimentos apresentados na TABELA 3A e a mão-de-obra necessária) a fim de investigar o comportamento do custo médio para a energia produzida em locais com regimes de ventos mais favoráveis que aquele considerado neste trabalho. Os resultados desta simulação estão apresentados na TABELA 28.

Como esperado, observa-se uma queda no custo total médio à medida em que se aumenta o fator de capacidade do aerogerador, ou seja, à medida em que o regime de ventos

^{11/}O fator de capacidade (FC) de um aerogerador é definido com a relação entre a energia efetivamente produzida durante um determinado período de tempo e a máxima energia teoricamente possível de ser produzida no mesmo período. Para o aerogerador em estudo o fator de capacidade é dado por $FC = 153,96/1752 = 0,088$ ou 8,8 %.

TABELA 28 - Custo total médio da energia produzida pelo aero gerador Dicomex - 200W, quando são considerados diferentes fatores de capacidade e mantidas as demais condições constantes.

Fator de capacidade (%)	Energia produzida (kWh/ano)	Custo total médio (Cr\$/kWh)
8,8	153,96	243,38
30,0	525,60	71,29
50,0	876,00	42,78
70,0	1.226,40	30,55
90,0	1.576,80	23,76

FONTE: Resultados da pesquisa.

passa a ser mais favorável. Isto é um indicativo de que a viabilidade econômica do aerogerador pode ser alcançada, à medida em que se consiga baixar o valor dos investimentos necessários e desde que essa tecnologia seja empregada em regiões com regime de ventos propício.

A diminuição no valor dos investimentos pode ser conseguida, principalmente, via redução no custo de transporte, que pode ser obtida com a aquisição do aerogerador no próprio estado. Para tanto é necessário que indústrias locais produzam esse equipamento. Atualmente a firma "Cata-ventos Vida Eterna Ltda", localizada em Fortaleza, testa um protótipo de aerogerador que, segundo informações do responsável pelo projeto, pode ser construído e vendido com preço cerca de 20 % a 25 % inferior ao do modelo considerado neste trabalho. Futuramente pode-se investigar se tal expectativa foi realmente confirmada.

Um outro fator merecedor de consideração diz respeito à comparação feita entre o custo total médio da energia produzida pelo aerogerador e o preço do quilowatt-hora de energia elétrica cobrado pela COELCE, pois, em tal comparação, parte-se da hipótese de que a propriedade já se encontra eletrificada, o que não é verdadeiro para a maioria das propriedades rurais. Desta forma, para que essa comparação seja feita em termos mais consistentes com a realidade, é necessário considerar-se os custos que o produtor incorreria se eletrificasse sua propriedade. Esses custos dizem respeito aos juros sobre o investimento realizado com a linha de alta tensão, o transformador e a rede de baixa tensão, bem como a depreciação destes bens de capital^{12/}. O APÊNDICE G apresenta as informações e os custos relativos ao Sistema Monofásico com Retorno por Terra - MRT, que é um projeto simplificado de distribuição de energia para o meio rural; bem como o custo médio do quilowatt-hora distribuído por esse sistema, para diversas combinações de comprimento da linha e consumo anual de energia na propriedade.

^{12/}Os gastos com manutenção são efetuados pela COELCE, por isso não foram considerados.

Com base nesses dados, investigou-se qual deveria ser a distância mínima (comprimento da linha MRT) entre a propriedade e a rede principal de distribuição elétrica, a fim de que o custo total médio da energia produzida pelo aerogerador fosse menor que o custo médio da energia elétrica distribuída pelo sistema MRT.

Sejam: E = custo total médio da energia produzida pela tecnologia alternativa ($\text{Cr\$}/\text{kWh}$).

T = tarifa energética cobrada pela COELCE ($\text{Cr\$}/\text{kWh}$).

I = custo dos investimentos referentes à rede de distribuição de energia elétrica até a propriedade ($\text{Cr\$}/\text{kWh}$).

Então, a tecnologia alternativa será economicamente viável se:

$$E < T + I \quad (1)$$

Sendo I uma função do comprimento da linha de alta tensão (ou linha MRT), do consumo energético na propriedade e dos investimentos que independem da distância da propriedade à rede de distribuição principal, ou seja, o transformador e a linha de baixa tensão, pode-se escrever:

$$I = [(J+D) \cdot d + (J'+D')] \cdot Q^{-1} \quad (2)$$

onde: J = juros anuais referentes à linha de alta tensão ($\text{Cr\$}/\text{km}$).

D = depreciação anual referente à linha de alta tensão ($\text{Cr\$}/\text{km}$).

J' = juros anuais referentes à linha de baixa tensão e ao transformador ($\text{Cr\$}$).

D' = depreciação anual referente à linha de baixa tensão e ao transformador ($\text{Cr\$}$).

d = comprimento da linha MRT (km).

Q = consumo energético na propriedade (kWh/ano).

Assim a equação (1) pode ser reescrita como:

$$E < T + [(J+D) \cdot d + (J'+D')] \cdot Q^{-1} \quad (3)$$

Dessa forma, para que a tecnologia alternativa seja viável é necessário que:

$$d > \frac{(E-T) \cdot Q - (J' + D')}{(J+D)} \quad (4)$$

De acordo com os dados do APÊNDICE G, temos:

$$T = Cr\$ 4,15/kWh.$$

$$J = Cr\$ 14.560,00/km.$$

$$D = Cr\$ 11.648,00/km.$$

$$J' = Cr\$ 14.240,00.$$

$$D' = Cr\$ 11.392,00.$$

Admitindo-se que o consumo energético anual da propriedade é igual à produção energética anual do aerogerador, tem-se, de acordo com a TABELA 8, $Q = 153,96 \text{ kWh/ano}$.

O custo total médio da energia produzida pelo aerogerador (E), de acordo com a TABELA 26, é igual a Cr\\$ 243,38/kWh.

Assim, substituindo-se esses valores na equação (4), encontra-se:

$$d > 0,427 \text{ km.}$$

Portanto, a partir de 427 metros de comprimento de linha MRT, o custo total médio da energia produzida pelo aerogerador será inferior ao custo total médio da energia distribuída pelo sistema MRT. Assim, desde que o consumo energético anual da propriedade seja da ordem de 154 kWh e o comprimento da linha MRT necessário para distribuir a energia elétrica até essa propriedade seja superior a 427 metros, a utilização do aerogerador será economicamente viável.

Deve ser destacado, entretanto, que o aumento do consumo energético na propriedade diminui o custo total médio da energia distribuída e, consequentemente, aumenta a viabilidade econômica do sistema MRT (conforme demonstram os resultados apresentados na TABELA 2G). Além disso, uma linha MRT pode ser utilizada por mais de uma propriedade rural, o que também contribui para um decréscimo no custo médio da energia distribuída.

5.4 - Painel de Células Fotovoltaicas

Para essa análise foram utilizados, conforme definido anteriormente, três sistemas fotovoltaicos: sistema I com 1 painel fotovoltaico; sistema II, com três painéis e sistema III, com 6 painéis. Foi considerado um requerimento anual de mão-de-obra da ordem de 2 diárias para o sistema I, 3 diárias para o sistema II e 4 diárias para o sistema III. Não foram estimados os retornos aos investimentos, uma vez que o custo total médio da energia produzida pelos três sistemas foi superior ao preço de mercado da energia elétrica.

As despesas de investimento, a vida útil dos componentes dos sistemas, a quantidade de energia produzida e outras informações referentes aos sistemas fotovoltaicos são apresentados nos APÊNDICES A a F.

5.4.1 - Custos

Analizando-se a composição dos custos mostrados na TABELA 29, verifica-se que, para a tecnologia em questão, o custo total é formado quase que exclusivamente pelos custos fixos, que são responsáveis por mais de 96 % do custo total, em todos os três sistemas estudados. Observa-se também que o custo associado a juros e depreciação correspondem a 99 % dos custos fixos. Assim, para essa tecnologia os custos são formados quase que totalmente por despesas indiretas (custos implícitos), enquanto que os gastos com a manutenção dos equipamentos e a mão-de-obra representam despesas mínimas. Desta forma, após os gastos com investimento, as despesas diretas do produtor com essa tecnologia são insignificantes.

O elevado custo total médio da energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos (entre Cr\$ 187,37 e Cr\$ 267,82 por quilowatt-hora produzido) quando comparado com o preço

TABELA 29 - Composição dos custos anuais e custo total médio, conforme os tamanhos dos sistemas fotovoltaicos.

Tipo de custo	Sistemas fotovoltaicos		
	Tamanho I	Tamanho II	Tamanho III
A - <u>Custo fixo</u> (Cr\$)	<u>12.872,27</u>	<u>29.561,41</u>	<u>55.135,40</u>
Juros	5.250,75	12.997,85	24.727,55
Depreciação	7.516,50	16.303,60	29.913,30
Conservação	105,02	259,96	494,55
B - Custo variável (Cr\$)	500,00	750,00	1.000,00
C - Custo total (Cr\$)	13.372,27	30.311,41	56.135,40
D - Custo total médio (Cr\$/kWh)	267,82	202,35	187,37

FONTE: APÊNDICES A, B, C e D.

NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.

2. O custo variável comprehende apenas as despesas com a mão-de-obra operacional.

de mercado da energia elétrica fornecida pela COELCE para a classe de consumo rural (Cr\$ 4,15 por kWh, em 15/10/90), demonstra que, no estágio tecnológico atual, o painel fotovoltaico não é economicamente viável.

São Cabíveis aqui as considerações feitas em relação ao aerogerador (item 4.3.1) no que concerne à adoção de uma determinada tecnologia. No caso do painel fotovoltaico deve ser destacado que a Região Nordeste é privilegiada por possuir um dos mais altos potenciais de energia solar do mundo, o que garante um funcionamento quase ininterrupto dos painéis fotovoltaicos e, consequentemente, uma permanente produção de energia. Deve também ser destacado que para essa tecnologia os gastos com manutenção e a necessidade de mão-de-obra são praticamente desprezíveis.

Também, como já comentado, a comparação direta entre o custo total médio da energia produzida por uma tecnologia alternativa e o preço do quilowatt - hora de energia elétrica cobrado pela COELCE, não é condizente com a situação encontrada na maioria das propriedades rurais, as quais não são eletrificadas.

Assim, tal como realizado para o aerogerador, investigou-se para que distância da propriedade à rede de distribuição elétrica, os sistemas fotovoltaicos seriam economicamente viáveis.

Como deduzido anteriormente, para que uma tecnologia alternativa seja economicamente viável é necessário que^{13/}:

$$E < T + I$$

e que:

$$d > \frac{(E-T) \cdot Q - (J' + D')}{(J+D)}$$

Utilizando-se os dados do APÊNDICE G, os valores do custo total médio da energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos (TABELA 29) e da produção energética anual desses sistemas (TABELA 1D), encontra-se:

^{13/} Para maiores detalhes ver páginas 67 e 68.

- para o sistema I : $d < 0$;
- para o sistema II : $d > 0,155$ km.
- para o sistema III : $d > 1,116$ km.

Portanto, esses resultados apontam que não é economicamente viável eletrificar uma propriedade cujo consumo energético anual seja igual à produção de energia do sistema fotovoltaico I, mesmo considerando-se apenas o investimento com a rede de baixa tensão (ou seja, o comprimento da linha MRT é igual a zero), pois o custo médio da energia elétrica distribuída é superior ao custo total médio da energia produzida por este sistema fotovoltaico. Os resultados mostraram ainda que o custo total médio da energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos I e II será inferior ao custo médio da energia elétrica distribuída pelo sistema MRT se o comprimento da linha for superior, respectivamente, a 155 metros e 1.116 metros. Assim, se o comprimento da linha MRT for superior a esses valores os sistemas fotovoltaicos I e II serão economicamente viáveis.

5.4.2 - Existência de Rendimentos à Escala

Conforme demonstrado pelos dados da TABELA 29, o custo total médio da energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos decresce com o aumento no tamanho do sistema (medido pela quantidade de painéis fotovoltaicos utilizados), o que indica a existência de rendimentos crescentes à escala no intervalo compreendido pelos três tamanhos dos sistemas fotovoltaicos considerados.

Embora apenas três tamanhos tenham sido estudados, a modularidade dos sistemas fotovoltaicos e os resultados encontrados sugerem que o custo total médio da energia produzida deve continuar diminuindo, a taxas sempre decrescentes, com aumentos continuados no tamanho do sistema (principalmente devido à queda no custo de transporte e ao aumento menos que proporcional na quantidade de mão-de-obra requerida para manutenção e operação do sistema), passando,

muito provavelmente, a se elevar somente para sistema com tamanho bastante grande.

6 - RESUMO E CONCLUSÕES

6.1 - Resumo

O presente trabalho investigou a viabilidade econômica de algumas tecnologias alternativas capazes de serem utilizadas na produção de energia no meio rural nordestino. As tecnologias avaliadas foram o biodigestor tipo indiano, o gasogênio de alvenaria, o aerogerador e o painel de células fotovoltaicas, em diversos tamanhos, tentando-se investigar possíveis economias de escala.

De modo específico a pesquisa buscou estimar os custos relativos à cada tecnologia, verificar a existência de rendimentos à escala, estimar o retorno aos investimentos e examinar o comportamento dos resultados frente à alterações em alguns fatores exógenos.

A estimativa dos custos foi feita considerando-se os investimentos necessários para cada tecnologia e os custos operacionais, conforme as características específicas dos equipamentos. O custo total foi subdividido em custos fixos (juros sobre o capital, depreciação e despesas de conservação) e custos variáveis (gastos com mão-de-obra e, no caso do gasogênio de alvenaria, despesas com a aquisição de carvão vegetal). A partir do custo total foi determinado o custo total médio da energia produzida por cada equipamento, conforme os tamanhos, a fim de se determinar a existência de rendimentos à escala associados às tecnologias pesquisadas, bem como comparar esse custo ao preço de mercado dos energéticos convencionais (óleo diesel, gás liquefeito de petróleo - GLP, gasolina e energia elétrica).

A análise de retorno aos investimentos foi realizada somente para as tecnologias que apresentaram o custo total médio da energia produzida inferior ao preço de mercado

dos energéticos convencionais. Segundo esse critério, apenas o biodigestor, quando comparado ao óleo diesel e ao GLP, e o gasogênio de alvenaria, quando comparado à gasolina, foram selecionados. Nesta análise, utilizou-se a relação benefício/custo, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno, como indicadores de rentabilidade.

6.2 - Conclusões

As despesas de investimento relativas ao biodigestor são inferiores às do aerogerador e às do painel fotovoltaico e superiores às do gasogênio de alvenaria. Para essa tecnologia a maioria dos custos são representados por despesas indiretas, pois, utilizando a mão-de-obra familiar, as únicas despesas diretas do produtor são aquelas relacionadas com a conservação dos equipamentos e a pintura anual do gasômetro. A produção de biogás apresenta viabilidade econômica quando empregado como substituto do óleo diesel e do gás liquefeito do petróleo (GLP), desde que sejam utilizados biodigestores com produção igual ou superior a 4 e 10 m³ de biogás por dia, respectivamente. O emprego do biogás como substituto da energia elétrica, em propriedades já eletrificadas, não é economicamente viável, independentemente do tamanho do biodigestor.

Para os tamanhos de biodigestores analisados, constatou-se a existência de rendimentos crescentes à escala; dessa forma, aumentos no tamanho do biodigestor (medido pela produção diária de biogás) conduz a um decréscimo no custo total médio da energia produzida. Entretanto, o tamanho do biodigestor é limitado pela disponibilidade de matéria-prima (esterco) existente na propriedade. O retorno aos investimentos, é tanto mais significativo quanto maior for o biodigestor utilizado. Para os tamanhos analisados este retorno situou-se entre 8 e 56 centavos por cada cruzeiro investido, respectivamente, para o biodigestor de menor e maior tamanho, que pode ser aceito como bastante satisfató-

rio, quando se consideram as condições vigentes no meio rural. A estabilidade dos indicadores de rentabilidade relativos aos biodigestores maiores (10 e 15 m^3 de biogás / dia) não é significativamente afetada por variações na produção e/ou no preço dos insumos e produtos (energia), seja o biogás convertido em GLP ou óleo diesel. No entanto, essas mesmas variações afetam, de forma significativa, a estabilidade dos indicadores de rentabilidade do menor biodigestor avaliado (4 m^3 de biogás/dia), quando se considerou a conversão energética do biogás em GLP.

Quando comparado às demais tecnologias avaliadas, os gasogênios de alvenaria apresentaram as menores despesas de investimento; no entanto, os custos variáveis (representados principalmente pelos gastos com carvão vegetal) foram os mais elevados entre todas as tecnologias. Naturalmente, esses custos podem ser reduzidos se o agricultor produzir o carvão vegetal requerido pelos gasogênios.

Os dois tamanhos de gasogênios avaliados apresentaram viabilidade econômica quando considerou-se a conversão energética do gás pobre em gasolina, mas mostraram-se inviáveis quando a produção foi convertida em óleo diesel equivalente. Esse fato deve-se, principalmente, ao subsídio incorporado ao preço de mercado do óleo diesel e à diferença entre os fatores de conversão energética do gás pobre em relação à gasolina e ao diesel. Quando são considerados os custos relativos ao transporte do óleo diesel do ponto de venda ao local de consumo, bem como a redução no custo com o carvão vegetal, caso o agricultor venha produzí-lo, constata-se que a substituição do óleo diesel por gás pobre pode ser economicamente viável, dependendo dos percentuais de elevação no preço do diesel e da redução no preço do carvão vegetal a nível de propriedade. Também, para ambos os tamanhos de gasogênios, o retorno aos investimentos, quando considerada a conversão energética do gás produzido em gasolina, é altamente significativo, com taxa interna de retorno superior a 100 %. Entretanto, os indicadores de rentabilidade referentes ao mini gasogênio são afetados por mudanças nas condições básicas do projeto, de tal forma que,

dependendo da magnitude dessas mudanças, esse tamanho de gasogênio pode tornar-se economicamente inviável.

O estudo mostrou que o aerogerador e o painel fotovoltaico produzem energia a um custo médio superior ao preço de mercado da energia elétrica e, portanto, no atual estágio de desenvolvimento, essas tecnologias não apresentam viabilidade econômica. Contribui para tanto as elevadas despesas de investimento, que são as maiores entre todas as tecnologias avaliadas e a baixa eficiência dos equipamentos, que resulta em uma produção energética pequena, além do subsídio existente no preço de mercado da energia elétrica. As despesas diretas são, no entanto, menores que as referentes aos biodigestores e aos gasogênios, implicando, assim, que após os gastos com investimento o produtor necessitará de pouco capital circulante para o emprego dessas tecnologias.

A utilização do aerogerador em regiões com predominância de ventos de alta velocidade, a redução no valor dos investimentos, através da fabricação dos equipamentos no Estado ou o aumento da capacidade de produção energética do aerogerador, via elevação da potência nominal, são fatores que conduzem a um decréscimo no custo total médio da energia produzida, contribuindo, assim, para que a viabilidade econômica dessa tecnologia possa ser alcançada.

É importante observar que essas conclusões são válidas para propriedades que já dispõem de energia elétrica ou encontram-se próximas à rede de distribuição. Entretanto, para propriedades não eletrificadas, distantes da rede elétrica e com necessidades energéticas pequenas, essas duas tecnologias apresentaram-se economicamente viáveis, uma vez que o custo médio da energia produzida mostrou-se inferior ao custo de distribuição da energia elétrica quando os custos relativos aos investimentos da rede de distribuição elétrica para a propriedade foram incluídos. Portanto, os parâmetros distância da propriedade à rede de distribuição elétrica e consumo energético, devem ser considerados quando são confrontadas as opções de eletrificação rural e a utilização de tecnologias alternativas para pro-

dução de energia.

Em relação aos sistemas fotovoltaicos a pesquisa verificou que, para os três tamanhos considerados, existem rendimentos crescentes à escala e, dessa forma, o aumento no tamanho do sistema conduz a um decréscimo no custo total médio da energia produzida.

Com base nas características das tecnologias avaliadas e nos resultados apresentados, pode-se indicar o biodigestor como a alternativa mais adequada para produção de energia no meio rural nordestino, uma vez que pode ser construído na própria localidade, utiliza a mão-de-obra familiar em sua operação, não implica em elevados custos de manutenção e de aquisição de matéria-prima, além de apresentar significativos retornos aos investimentos e a produção poder ser empregada como substituto de dois combustíveis derivados do petróleo - o GLP e o óleo diesel -, diminuindo, assim, a dependência por esses energéticos. Portanto, é necessário que as instituições envolvidas com a extensão rural divulguem de forma mais intensiva esta tecnologia e que órgãos governamentais forneçam incentivos financeiros a fim de facilitar sua adoção pelos agricultores.

Finalmente, é conveniente observar que a constatação da viabilidade ou não viabilidade econômica das tecnologias abordadas não implica necessariamente na sua utilização ou no seu abandono, uma vez que a tomada de decisão é realizada com base também em outras condições, tais como a quantidade de energia necessária, os fins para os quais a energia se destina, o tipo de fonte energética disponível na propriedade, a distância da rede de distribuição elétrica, a disponibilidade de capital para investimento, as condições climáticas, além de outros fatores que juntamente com as considerações de viabilidade econômica devem ser ponderados quando da opção por uma determinada alternativa tecnológica para produção de energia.

7 - BIBLIOGRAFIA

ARORA, J.L. et alii. Manuel pratique pour la construction et l'operation d'un biodigesteur du type indien. Fortaleza: UFC/COELCE/NUTEC, 1989. 53p.

BATISTA, L.F. Construção e operação de biodigestores modelo indiano. Brasília: EMBRATER, 1981. 54p.

BILAS, R.A. Teoria microeconômica, uma análise gráfica. 2. ed. Rio de Janeiro: Forense, 1972. 404p.

BISERRA, J.V. Avaliação econômico-financeira de projetos de irrigação - uma abordagem estrutural. Fortaleza, UFC/DEA, 1986. 30p. (Série didática, 32).

BRASIL. Ministério da Agricultura/INCRA/GEER. Simpósio de eletrificação rural de cooperativas, 3. 1977, Brasília. Brasília, 1977.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia/DNAEE. Pontos básicos para uma política de eletrificação rural, diagnóstico-política. Brasília, 1985. 190p.

BROCCHAUSEN, J., VETILLO, W. "A saída está na integração das fontes" Guia Rural Abril 1986. São Paulo: Abril, 1986. p.134-41.

BUARQUE, C. Avaliação econômica de projetos. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 266p.

CARIOCA, J.O. et alii. "Biomassa: um programa para o Nordeste" In: SEMINÁRIO SOBRE ENERGIA DE BIOMASSAS NO NORDESTE, 1. 1978, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 1978, p.42-78.

CARIOCA, J.O., ARORA, H.L. Biomassa, fundamentos e aplicações tecnológicas. Fortaleza: UFC/BNB, 1984. 644p.

CARVALHO, A. de S. et alii. Gasogênio de alvenaria. Brasília: EMBRATER, 1987. 43p.

CHESF/BRASCEP ENGENHARIA. Energia eólica. Rio de Janeiro, 1987. V. 1-4. X

_____. Energia solar. Rio de Janeiro, 1987. V. 2.

_____. Biomassa florestal (madeira). Rio de Janeiro, 1987. V. 1.

COELCE/DDENE. Potencialidades energéticas do Estado do Ceará - primeira abordagem. Fortaleza, 1987. 86p.

_____. Balanço energético do Estado do Ceará - 1980/1987. Fortaleza, 1989. 133p.

COELCE/ DPLEM /DEN. Articulações sócio-econômicas do Estado do Ceará. Fortaleza, 1981 (em fase de publicação).

COSTA, R.V. "A ordenação econômica num mundo com recursos naturais finitos". Revista Econômica do Nordeste. Fortaleza, V. 12, n. 3, p.559-581, jul./set. 1981.

É PRECISO Chover Muito no Nordeste! São Paulo Energia, V. 4, n. 37, set./out. 1987.

FERGUNSSON, C.E. Microeconomia. 9. ed., Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1986. 642p.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. Manual para construção e operação de biodigestores, Belo Horizonte, 1981, 37p. (série de publicações técnicas).

GIRROTO, A.F., STULP, V.J. "O biodigestor como alternativa

energética para a pequena propriedade rural". R. Econ. Sociol. Rural, Brasília, V. 27, n. 1, p.21-37. jan./mar. 1988.

GITTINGER, J.P. Analisis economico de proyectos Agricolas. 2. ed., Madrid; Tecnos, 1984. 532p.

GOLDEMBERG, J. et alii. Energia para o desenvolvimento. São Paulo: T.A. Queiroz, 1988. 101p.

HIRSHLEIFER, J. Investiment, interest and capital. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1970. 320p.

HOFFMANN, R. et alii. Administração da empresa agricola. 5. ed., rev., São Paulo: Pioneira, 1983. 452p.

LEMOS, J. de J.S., FERNANDES, A.J. Tratamento metodológico da avaliação econômica de projetos agrícolas. Fortaleza: UFC/DEA, 1984, 22p. (Série Dinâmica, nº 18).

MELLO, N.T.C. et alii. Estudo econômico do emprego da irrigação com energia fóssil versus energia elétrica. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 1986. 30p. X

NORONHA, J.F. Projetos agropecuários - administração financeira, orçamentação e avaliação econômica. São Paulo: Fundação de Estudos Agrários Luis de Queiroz, 1981. 274p.

PALZ, W. Energia solar e fontes alternativas. São Paulo: Hemus, 1981.

SADHU, D.P. "Perspectiva de aplicação da energia eólica em casos específicos do Brasil" In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE FONTES NOVAS E RENOVÁVEIS DE ENERGIA, 1. 1988, Brasília, Anais... Brasília, 1988, V. 1, p.370-375. X

SALES FILHO, F. de A. Companhia energética, uma alternativa para o desenvolvimento estadual. Fortaleza: COELCE/

DDENE, 1986.

SEIXAS, J., MARCHETTI, D. Produção e consumo da energia na agricultura. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1982. 15p.

_____. Algumas sugestões para o aproveitamento de energia renovável na propriedade agrícola. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1982. 31p.

SILVA, N.A. da. Manual de biodigestores - modelo chinês. Brasília: EMBRATER, 1981, 66p.

SILVA, L.M.R., BISERRA, J.V. "Viabilidade financeira da utilização de resíduos para produção de energia e biofertilização em pequenas propriedades das zonas semi-áridas". R. Econ. Sociol. Rural, Brasília, v. 26, n. 2. p.213-22, abr./jun. 1988.

VOGT, F. (editor). Energy conservation and use of renewable energies in the bio-industries. Oxford: Pergamon Press, 1981. 574p.

APÊNDICES

ESTUDOS DE COMPORTAMENTO E VIDA DE ABEJAS
DOS SISTEMAS SOCIAIS ANTRÓPOPODOS

APÊNDICE A

DESPESAS DE INVESTIMENTO E VIDA ÚTIL DOS
BENS DE CAPITAL REFERENTES ÀS TECNOLOGIAS

TABELA 1A - Despesas de investimentos e vida útil dos bens de capital referentes aos biodigestores.

Discriminação	Valor (Cr\$ 1,00)	Vida útil (anos)
Implantação do biodigestor de 1 m ³	36.110	10
Implantação do biodigestor de 4 m ³	63.963	10
Implantação do biodigestor de 6 m ³	76.995	10
Implantação do biodigestor de 10 m ³	102.851	10
Implantação do biodigestor de 15 m ³	130.718	10
Implantação do biodigestor de 25 m ³	166.958	10
Aquisição do carro-de-mão	2.900	2 - 3
Reinvestimento (no 5º ano)	10 % sobre o valor de implantação -	

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.

2. Cr\$/US\$: 95,165 (média - outubro/90)

3. Vida útil do carro-de-mão: 3 anos para os biodigestores de 1, 4 e 6 m³; 2 anos para os demais biodigestores.

TABELA 2A - Despesas de investimento e vida útil dos bens de capital referentes aos gasogênicos de alvenaria.

Discriminação	Valor (Cr\$ 1,00)	Vida útil (anos)
Implantação do gasogênio padrão	39.696	10
Implantação do mini gasogênio	12.240	10
Reinvestimento (no 5º ano)	10 % sobre o valor de implantação	-

FONTE: Resultados da pesquisa.

- NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.
2. Cr\$/US\$: 95,165 (média - outubro/90).

TABELA 3A - Despesas de investimento e vida útil dos bens de capital referentes ao sistema aerogerador.

Discriminação	Unidade	Quantidade	Valor (Cr\$ 1,00)	Vida útil (anos)
Aerogerador Dicomex-200 W	um	01	229.921	15
Acumulador eletro-químico (150 Ah/12 V)	um	01	17.800	4
Poste de concreto (11 m)	um	01	11.900	50
Acessórios (disjuntor, condutores, etc)	vb	-	4.500	10
Reinvestimento (a cada 5 anos)	-	-	11.496	-

FONTE: Resultados da pesquisa.

- NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.
 2. Cr\$/US\$: 95,165 (média - outubro/90).
 3. Valor do aerogerador inclui despesas de frete São Paulo - Fortaleza e seguro.
 4. Valor do reinvestimento = 5 % sobre o valor do aerogerador.

TABELA 4A - Despesas de investimento referentes aos sistemas fotovoltaicos.

Discriminação	Valor (Cr\$ 1,00)
Implantação do sistema I	105.015
Implantação do sistema II	259.957
Implantação do sistema III	494.551
Reinvestimento (no 10º ano)	1 % sobre o valor de implantação do sistema

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTAS: 1. Cr\$-base: 15/10/90.

2. Cr\$/US\$: 95,165 (média - outubro/90).

TABELA 5A - Vida útil dos componentes dos sistemas fotovoltaicos.

Discriminação	Vida útil
Painel fotovoltaico com suporte	20 anos
Acumulador eletro-químico chumbo-ácido	4 anos
Regulador de tensão	10 anos
Acessórios (disjuntor, condutores, terminais, etc.)	10 anos

FONTE: Heliodinâmica S.A., DEN/DPLEM/COELCE.

APÊNDICE B
MÃO-DE-OBRA OPERACIONAL

TABELA 1B - Mão-de-obra anual necessária para operação dos equipamentos.

Discriminação	Mão-de-obra operacional	
	Quantidade	Valor
	(diária)	(Cr\$ 1,00)
1. Biodigestores		
- Biodigestor de 1 m ³	12	3.000
- Biodigestor de 4 m ³	23	5.750
- Biodigestor de 6 m ³	46	11.500
- Biodigestor de 10 m ³	68	17.000
- Biodigestor de 15 m ³	91	22.750
- Biodigestor de 25 m ³	160	40.000
2. Gasogênios de alvenaria		
- Gasogênio padrão	91	22.750
- Mini gasogênio	23	5.750
3. Aerogerador		
	6	1.500
4. Sistemas fotovoltaicos		
- Sistema I	2	500
- Sistema II	3	750
- Sistema III	4	1.000

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Cr\$-base: 15/10/90.

APÊNDICE C
CUSTO ANUAL DE CONSERVAÇÃO

TABELA 1C - Custo anual de conservação dos equipamentos.

	Itens de conservação			
	Serviços gerais (Cr\$ 1,00)	Limpeza (Cr\$ 1,00)	Pintura (Cr\$ 1,00)	Total (Cr\$ 1,00)
1. Biodigestores				
- Biodigestor de 1 m ³	722	125	500	1.347
- Biodigestor de 4 m ³	1.279	250	750	2.279
- Biodigestor de 6 m ³	1.540	375	1.000	2.915
- Biodigestor de 10 m ³	2.057	500	1.250	3.807
- Biodigestor de 15 m ³	2.614	625	1.500	4.739
- Biodigestor de 25 m ³	3.339	875	2.000	6.214
2. Gasogênios de alvenaria				
- Gasogênio padrão	794	-	-	794
- Mini gasogênio	245	-	-	245
3. Aerogerador	2.299	-	-	2.299
4. Sistemas fotovoltaicos				
- Sistema I	105	-	-	105
- Sistema II	260	-	-	260
- Sistema III	495	-	-	495

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTAS: 1. O custo com serviços gerais foi estimado como 2 % do valor dos biodigestores e dos gasogênios, 1 % do valor do aerogerador e 0,1 % do valor dos sistemas fotovoltaicos.

2. O custo de limpeza corresponde ao gasto com mão-de-obra para este fim, com base no valor da diária de Cr\$ 250,00.

3. Cr\$-base: 15/10/90.

APÊNDICE D
PRODUÇÃO ENERGÉTICA ANUAL

TABELA 1D - Produção energética anual dos equipamentos, conforme os tipos de energia.

Discriminação	Biogás (m ³)	Gás pobre (m ³)	Óleo diesel equivalente (1)	Gasolina equivalente (1)	GLP equivalente (kg)	Energia elétrica* (kWh)
1. Biodigestores						
- Biodigestor de 1 m ³	350	-	192,5	-	157,5	500,5
- Biodigestor de 4 m ³	1.400	-	770,0	-	630,0	2.002,0
- Biodigestor de 6 m ³	2.100	-	1.155,0	-	945,0	3.003,0
- Biodigestor de 10 m ³	3.500	-	1.925,0	-	1.575,0	5.005,0
- Biodigestor de 15 m ³	5.250	-	2.887,5	-	2.362,5	7.507,5
- Biodigestor de 25 m ³	8.750	-	4.812,5	-	3.937,5	12.512,5
2. Gasogênios de alvenaria						
- Gasogênio padrão	-	149.007,6	19.371,0	21.457,1	-	-
- Mini gasogênio	-	5.256,0	683,3	683,3	-	-
3. Aerogerador						
4. Sistemas fotovoltaicos						
- Sistema I	-	-	-	-	-	49,93
- Sistema II	-	-	-	-	-	149,80
- Sistema III	-	-	-	-	-	299,59

FONTE: Resultados da pesquisa.

NOTA: Ver APÊNDICE E para a equivalência energética.

(*) para o biodigestor corresponde à energia elétrica equivalente.

APÊNDICE E
COEFICIENTES TÉCNICOS E FÓRMULAS DE CÁLCULO

1. Número de horas de funcionamento médio de 240 horas por dia.
2. Volume de gás natural equivalente a 1000 m³ de gás natural a 10° m³ por hora e 1000 m³ gás natural equivalente a 1000 m³ gás natural.
3. Redução da potência de 1000 horas a 1000 horas por dia.

I - COEFICIENTES TÉCNICOS

1. Equivalência entre as formas de energia.

- a) 1 m³ de biogás com poder calorífico médio igual a 5.500 Kcal/m³ equivale energeticamente a:
 - 0,45 kg de gás liquefeito de petróleo-GLP;
 - 0,55 litro de óleo diesel;
 - 1,43 quilowatt-hora de energia elétrica.
- b) 1 m³ de gás combustível com poder calorífico médio de 1.200 Kcal equivale energeticamente a:
 - 0,144 litro de gasolina;
 - 0,130 litro de óleo diesel.

2. Número de dias no ano de funcionamento dos equipamentos.

a) Biodigestores:

- 1º ano: 320 dias para o biodigestor de 4 m³; 310 dias para o biodigestor de 10 m³ e 300 dias para o biodigestor de 15 m³;
- 2º ao 10º ano: 350 dias, para todos os tamanhos.

b) Gasogênios:

- 1º ano: 345 para o gasogênio padrão e 355 dias para o mini gasogênio;
- 5º ano: 360 dias para o gasogênio padrão, 362 dias para o mini gasogênio;
- 2º ao 4º ano e 6º ao 10º ano: 365 dias para ambos os gasogênios.

c) Aerogerador e painel fotovoltaico: 365 dias.

3. Número de horas de funcionamento dos gasogênios: 6 horas por dia.

4. Volume de gás pobre produzido com 1 kg de carvão vegetal: 4 Nm³ (no gasogênio padrão); 3 Nm³ (no mini gasogênio).

potência do motor quando acionado por gasogênio

6. Características dos motores acionados por gasogênios:

- para o gasogênio padrão foi considerado um motor a gasolina com 65 CV de potência (32,5 CV de potência a gasogênio) a 1.800 rotações por minuto e 4,2 litros de cilindrada;
- para o mini gasogênio considerou-se um motor a gasolina de 3,5 CV a 1.800 rotações por minuto.

II - FÓRMULAS DE CÁLCULO

1. Relativas aos biodigestores.

a) Produção anual de biogás

A produção anual de biogás (PAB) em m^3 é dada por:

$PAB = \text{tamanho do biodigestor} \times \text{número de dias de funcionamento no ano.}$

b) Receita anual:

- a receita anual, quando o biogás é convertido em GLP (R_{GLP}) é dada por:

$$R_{GLP} = PAB (m^3) \times 0,45 \text{ kg GLP/m}^3 \text{ biogás} \times \text{Cr\$ 27,73/kg GLP}$$

- a receita anual, quando o biogás é convertido em óleo diesel (R_{diesel}) é dada por:

$$R_{diesel} = PAB (m^3) \times 0,55 \text{ litro diesel/m}^3 \text{ biogás} \times \text{Cr\$ 27,40/litro diesel.}$$

2. Relativas aos gasogênios

a) Volume de gás pobre (m^3) produzido por hora pelo gasogênio padrão (que equivale ao volume de gás consumido pelo motor):

$$V (m^3/h) = 0,009 \times \text{nº rotações por minuto} \times \text{cilindrada do motor (litros)}$$

Para o motor considerado:

$$V (m^3/h) = 0,009 \times 1.800 \times 4,2 = 68,04 \text{ m}^3/\text{h}$$

b) Consumo de carvão vegetal (quilogramas por hora) pelo gasogênio padrão:

$$CC_{kg/h} = V (m^3/h) / 4 = 68,04/4 = 17,01 \text{ kg/h.}$$

c) Consumo de carvão vegetal pelo mini gasogênio (para acionamento do motor de 3,5 CV): 0,8 kg por hora.

d) Volume de gás pobre (m^3/h) produzido pelo mini gasogênio:

$$V'_{(m^3/h)} = 0,8 \text{ kg/h} \times 3 \text{ m}^3/\text{kg} = 2,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

e) Receita anual

A receita anual, considerando-se o gás pobre convertido em gasolina, é dada por:

$R = \text{Volume de gás produzido por ano (m}^3\text{)} \times 0,144 \text{ litro gasolina/m}^3 \text{ gás} \times \text{Cr\$ 57,70/litro gasolina.}$

d) Despesa anual com carvão vegetal

$D = \text{consumo anual de carvão vegetal (kg)} \times \text{Cr\$ 16,91 por kg de carvão.}$

APÊNDICE F
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS
FOTOVOLTÁICOS CONSIDERADOS

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS CONSIDERADOS

1 - Sistema I

- quantidade de painéis fotovoltaicos utilizados: 1;
- energia produzida pelo sistema: $11,4 \text{ Ah/dia} = 136,8 \text{ W/dia}$
 $= 49,93 \text{ kWh/ano}$;
- acumulador eletro-químico utilizado: tipo chumbo-ácido de 36 Ah de capacidade de 12 volts - corrente contínua;
- autonomia do sistema: aproximadamente 1,5 dias;
- equipamentos que podem ser usados e número de horas de utilização:
 - . 3 lâmpadas fluorescentes - 2 h/noite (consumo=6 Ah/dia)
 - . bomba d'água - 500 litros/dia, altura manométrica de 13 metros (consumo = 5 Ah/dia);
- consumo total do sistema: 11 Ah/dia.

2 - Sistema II

- quantidade de painéis fotovoltaicos utilizados: 3;
- energia produzida pelo sistema: $34,2 \text{ Ah/dia} = 410,4 \text{ W/dia}$
 $= 149,80 \text{ kWh/ano}$;
- acumulador eletro-químico utilizado: tipo chumbo-ácido de 90 Ah de capacidade e 12 V CC;
- autonomia do sistema: aproximadamente 1,5 dias;
- equipamentos que podem ser usados e número de horas de utilização:
 - . 4 lâmpadas fluorescentes - 4h/noite (consumo=16Ah/dia);
 - . bomba d'água - 1.000 litros/dia, altura manométrica de 13 metros (consumo: 10 Ah/dia);
 - . 1 televisor P & B - 4 horas/dia (consumo=5 Ah/dia);
- consumo total do sistema: 31 Ah/dia.

3 - Sistema III

- quantidade de painéis fotovoltaicos utilizados: 6;

- energia produzida pelo sistema: $68,4 \text{ Ah/dia} = 820,8 \text{ W/dia} = 299,59 \text{ kWh/ano}$;
- acumulador eletro-químico utilizado: tipo chumbo-ácido com 180 Ah de capacidade e 12 V CC;
- autonomia do sistema: aproximadamente 1,5 dias;
- equipamentos que podem ser usados e número de horas de utilização:
 - . 4 lâmpadas fluorescentes - 3 h/noite (consumo=12 Ah/dia);
 - . bomba d'água - 1.000 litros/dia, altura manométrica de 13 metros (consumo: 10 Ah/dia);
 - . 1 televisor P & B - 3 h/dia (consumo=3,8 Ah/dia);
 - . 1 refrigerador com capacidade de 150 litros (consumo): 40 Ah/dia);
- consumo total do sistema: 65,8 Ah/dia.

APÊNDICE G
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO
SISTEMA MONOFÁSICO COM RETORNO POR TERRA-MRT

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA MONOFÁSICO COM RETORNO POR TERRA - MRT

1 - Aspectos Gerais*

O sistema MRT é uma forma simplificada de distribuição de energia elétrica para o meio rural que pode atender 95 % das propriedades, colocando à disposição do pequeno produtor energia suficiente para o desenvolvimento de suas atividades. Suas maiores vantagens são o seu baixo custo (cerca de 55 % inferior ao sistema trifásico) e a rapidez na execução da obra. O baixo custo é obtido pela própria simplicidade do sistema, o qual utiliza um poste de concreto de menor esforço, um único fio, um isolador singelo e uma só bucha no transformador.

O atendimento através do sistema MRT é limitado à distância de 9 km da linha de distribuição existente. A potência total instalada no ramal é de 50 KVA, no máximo, sendo de 15 KVA a carga máxima instalada em cada propriedade. A potência de cada motor elétrico não pode ultrapassar 7,5 CV. Todos os equipamentos elétricos utilizados na propriedade devem ser monofásicos, uma vez que este é um sistema monofásico de distribuição de energia.

2 - Custos

Na TABELA 1G apresenta-se o custo de investimento relativo à instalação de 1 quilômetro de linha elétrica pelo sistema MRT, incluiu-se ainda o custo com um transformador de 5 KVA e o custo de investimento com 1 quilômetro de rede de baixa tensão.

*Conforme informações obtidas junto à DEN/DPLEM/COELCE.

TABELA 2G - Custo total médio (CTMe) da energia elétrica distribuída pelo sistema MRT, considerando-se diversas combinações de comprimento da linha e consumo energético da propriedade.

Combinações		CTMe (Cr\$/KWh)	Combinações		CTMe (Cr\$/KWh)
Comprimento linha MRT (km)	Consumo energético (KWh/ano)		Comprimento linha MRT (km)	Consumo energético (KWh/ano)	
0,5	200	197,83	2,0	200	394,39
0,5	500	81,62	2,0	500	160,25
0,5	1.000	42,89	2,0	1.000	82,20
0,5	1.500	29,97	2,0	1.500	56,18
0,5	2.000	23,52	2,0	2.000	43,17
0,5	4.000	13,83	2,0	4.000	23,66
1,0	200	263,35	3,0	200	525,43
1,0	500	107,83	3,0	500	212,66
1,0	1.000	55,99	3,0	1.000	108,41
1,0	1.500	38,71	3,0	1.500	73,65
1,0	2.000	30,07	3,0	2.000	56,28
1,0	4.000	17,11	3,0	4.000	30,21
1,5	200	328,87	6,0	200	918,55
1,5	500	134,04	6,0	500	369,91
1,5	1.000	69,09	6,0	1.000	187,03
1,5	1.500	47,45	6,0	1.500	126,07
1,5	2.000	36,62	6,0	2.000	95,59
1,5	4.000	20,39	6,0	4.000	49,87

FONTE: Resultados da pesquisa.

- NOTAS: 1. O comprimento da linha de baixa tensão foi considerado fixo e igual a 0,2 km.
2. Cr\$-base: 15/10/90.
3. Juros anuais
- Linha MRT = Cr\$ 14.560,00 por quilômetro.
 - Transformador = Cr\$ 5.280,00.
 - Rede de baixa tensão = Cr\$ 8.960,00.
4. Depreciação anual
- Linha MRT = Cr\$ 11.648,00 por quilômetro.
 - Transformador: Cr\$ 4.224,00.
 - Rede de baixa tensão = Cr\$ 7.168,00.

