

Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – 1998, RJ.
AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE
IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS TERMÉLETRICAS A
LENHA NA AMAZÔNIA

Rubem C.R. Souza, Paulo de B. Correia

Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo contribuir com os estudos para a diversificação do parque gerador de energia elétrica dos sistemas descentralizados na Amazônia, de modo a torná-los mais adequados as potencialidades regionais e as especificidades ambientais. Para tal, realizou-se um estudo comparativo entre centrais termelétricas a Diesel e a lenha, para usinas com diferentes potências, utilizando-se métodos de análise econômica e de otimização. A análise foi centrada em equipamentos com potências típicas das unidades a Diesel responsáveis pelo suprimento de energia elétrica dos mercados descentralizados na Amazônia brasileira.

SUMMARY

The objective of this work is to contribute with the studies to diversify the electricity generation plants used in the decentralized (or isolated) energy systems in Amazon so as to adjust them to the regional potentialities and environmental peculiarities. For this, a comparative study between power plants of different sizes, fueled by diesel (diesel engines) and wood (stem engines) was made using both economic analysis and optimization. The size of the power plants chosen are representative of the typical Diesel units presently supplying electricity for this isolated systems in Amazon today.

INTRODUÇÃO

Os modelos de desenvolvimento regional implementados na Amazônia, tem demonstrado ineficácia em promover um desenvolvimento geograficamente uniforme, socialmente equitativo e ambientalmente adequado. Dentre os diversos fatores que contribuem para esse resultado, pode-se destacar o fato destes modelos terem sido concebidos e implementados a margem das potencialidades regionais e/ou voltados para o atendimento de interesses que não os da população amazônica. De maneira semelhante, observamos na

Amazônia os sistemas energéticos em geral, e em particular o sistema elétrico, estruturado de forma a não contribuir com a melhoria da qualidade de vida nos mercados por ele supridos. Inclusive os mercados maiores, representados pelas capitais dos estados da região, são atendidas de maneira precária por termelétricas que apresentam baixa eficiência, por estarem com suas vidas econômicas ultrapassadas; apresentando elevados custos de operação, devido ao custo com o insumo energético, pelas grandes distâncias e precariedade do sistema de transporte, em grande parte fluvial; além de fazerem uso de combustível não renovável, em particular o Diesel e o óleo combustível. Portanto, é necessário que esforços sejam feitos no sentido de modificar o perfil do parque gerador dos sistemas descentralizados na Amazônia, reduzindo seus custos, minimizando seus impactos sociais e fazendo com que este cumpra seu papel de vetor de desenvolvimento regional e contribua para a melhoria da qualidade de vida.

Considerando o grande potencial de biomassa existente na região Norte, e com o intuito de contribuir para a discussão da possibilidade de implantação de sistemas de geração de energia elétrica que utilizem fontes renováveis, além de apontar soluções para diversificar o sistema existente, de modo a torná-lo mais adequados as potencialidades e necessidades amazônica; apresentamos nesse trabalho, o estudo do potencial de instalação de unidades termelétricas a vapor e de gaseificadores que utilizam a lenha como insumo para geração de energia elétrica.

ANÁLISE COMPARATIVA DE UNIDADES A DIESEL E A LENHA

O primeiro parâmetro de comparação entre as tecnologias analisadas neste trabalho, é o custo médio. O custo médio por estar associado aos custos totais para um determinado nível de produção, desempenha papel importante na análise financeira, pois representa uma parcela dos custos que deverão ser compensados, através do capital a ser investido em cada instante de tempo. Sendo assim, estes foram utilizados nesse trabalho para confrontar as alternativas de geração de energia elétrica em unidades a Diesel e unidades que utilizam lenha. A tabela 1, apresenta o consumo de lenha, custo de geração,

custo de capital e tecnologia recomendada para diferentes níveis de potência instalada de centrais termelétricas a lenha, que foram utilizados nessa análise.

Vale salientar que a faixa de potência escolhida para esse estudo, contempla a grande maioria dos sistemas descentralizados instalados na Amazônia.

Tabela 1. Tecnologia recomendada, consumo de lenha e custos de referência para diferentes capacidades de centrais termelétricas a lenha.

Potência Instalada (kW)	Tecnologia Recomendada	Consumo anual de lenha (ton)	Custos De Referência	
			(US\$/kW)	(US\$/MWh)
48	Gasogênio	1.104	1.442	56,4
120	Gasogênio	2.760	743	39,0
240	Gasogênio	3.679	502	29,7
700	turbina a vapor	13.735	1.456	58,4
1.000	turbina a vapor	16.863	2.588	78,2
1.600	turbina a vapor	25.019	2.004	63,3
3.000	turbina a vapor	45.622	1.568	52,0
5.000	turbina a vapor	71.483	1.383	46,4

Para os cálculos adotou-se os seguintes parâmetros:

- Custo Fixo

Termelétrica a Diesel: \$ 30 / kW

Termelétrica a Lenha:

$$CF_L = CMFE * AFE * \beta + CFT * P \quad (1)$$

onde:

CF_L : Custo fixo da termelétrica a lenha [\$]
 CMFE :Custo de manutenção da floresta energética [3,71\$/GJ]

CFT : Custo fixo da termelétrica [70/kW]

P : Potência da usina [kW] (Tab. 1)

$$\beta = \frac{(1+i)^N * i}{(1+i)^N - 1} \text{ para } i = 12\% \text{ e } N = 18 \text{ anos.} \quad (2)$$

AFE : Área da floresta energética dada por:

$$AFE = \frac{CAL * N}{0,7 * 40} \text{ [ha]} \quad (3)$$

onde:

CAL: Consumo anual de lenha em tonelada (Tab.1)

N : número total de anos de exploração da floresta

0,7 : Fator de uso da terra

40 : Produtividade em tonelada por hectare

- Custo Variável:

Termelétrica a Diesel: Custo do Diesel (\$0,375/l) mais transporte (\$ 0,025/l) e um consumo específico de 0,40 l/kWh.

Termelétrica a Lenha: Custo da lenha mais manutenção da floresta energética (\$0,0312/kg) e consumo específico de 3 kg/kWh.

Os dados de custo fixo e custo variável das unidades a Diesel foram fornecidos pela Companhia Energética do Estado do Amazonas - CEAM. Os valores de energia em Giga Joule por hectare (20 GJ/ha), custo de manutenção da floresta, número de anos de exploração da floresta, produtividade da floresta; foram obtidos de Carpentieri, et alli [1].

Os custos médios foram obtidos considerando as unidades trabalhando com um fator de carga de 0,4, durante 8760 horas no ano. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 2.

Tabela 2. Custos fixos, variáveis e médios para centrais termelétricas a Diesel e a lenha para diferentes potências.

Potência (kW)	DIESEL			LENHA		
	Custo Fixo (mil US\$)	Custo Variável (US\$)	Custo Médio (US\$/kWh)	Custo Fixo (mil US\$)	Custo Variável (US\$)	Custo Médio (US\$/kWh)
48	1,44	0,16	0,17	3,49	0,09	0,11
120	3,60	0,16	0,17	8,47	0,09	0,11
240	7,20	0,16	0,17	16,85	0,09	0,11
700	21,00	0,16	0,17	49,13	0,09	0,11
1000	30,00	0,16	0,17	70,24	0,09	0,11
1600	48,00	0,16	0,17	112,18	0,09	0,11
3000	90,00	0,16	0,17	210,14	0,09	0,11
5000	150,00	0,16	0,17	350,13	0,09	0,11

Os resultados dos custos médios apresentados na tabela 2 nos leva a vislumbrar o

potencial de competitividade financeira das termelétricas a lenha comparativamente as termelétricas a Diesel.

Deve-se salientar que foi utilizado como custo da lenha o maior valor da média encontrada para o Nordeste brasileiro, segundo Carpentieri [1].

Percebe-se claramente que os custos médios dependem quase que exclusivamente dos custos variáveis os quais são mais elevados nas unidades Diesel do que nas unidades a lenha.

Em seguida apresenta-se os resultados do estudo de viabilidade econômica da alternativa de investimento em termelétricas a lenha com relação a termelétricas a Diesel.

Os parâmetros utilizados nesse estudo são os seguintes:

- Custo de Capital

Termelétrica a Diesel: Custo de Instalação (650 \$/kW)

Termelétrica a Lenha:

$$CC_L = CI * P + PT * AFE \quad (4)$$

onde:

CC_L : Custo de capital da termelétrica a lenha

CI : Custo de instalação [\$/kW] (Tab. 1)

PT : Preço da terra (\$ 200 por hectare)

- Custo de O&M

Termelétrica a Diesel:

$$COM_D = \frac{CG_D * P * 8760 * FC}{1000} \quad (5)$$

onde:

COM_D : custo de operação e manutenção

CG_D : custo de geração (\$ 109/MWh)

8760 : número de horas de operação no ano

FC : fator de carga (0,40)

Termelétrica a Lenha:

$$COM_L = CUPL * CAL \quad (6)$$

onde:

COM_L : Custo de operação e manutenção da termelétrica a lenha

$CUPL$: Custo unitário de produção da lenha, considerando a manutenção da floresta energética (\$ 0,0312/kg)

- Benefício Anual

Como benefício anual considerou-se o custo evitado na operação e manutenção do Diesel, dado pela seguinte relação:

$$BA = COM_D - COM_L \quad (7)$$

- Investimento Inicial

O investimento inicial considerado foi a diferença entre os custos de capital da usina a lenha e a Diesel, ou seja:

$$I_{inicial} = CC_L - CC_D \quad (8)$$

onde:

$I_{inicial}$: Investimento Inicial

CC_L : Custo de capital da usina a lenha

CC_D : Custo de capital da usina a Diesel

Adotou-se ainda que as vidas das unidades são iguais, e correspondentes a 18 anos, mesmo tempo de exploração da floresta energética.

A análise de viabilidade econômica foi realizada pelo método do valor presente líquido- VPL para uma taxa de remuneração de capital de 15% ao ano. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 3.

O estudo realizado a princípio, indica a inviabilidade econômica de implementação de termelétricas a lenha.

Tabela 3. Resultado da análise de comparação de investimento na termelétrica a lenha com a termelétrica a Diesel.

POTÊN- CIA (kW)	DIESEL		LENHA		BENEFÍ- CIO ANUAL Mil (US\$)	VPL*
	Custo de capital mil (US\$)	Custo de O&M Anual mil (US\$)	Custo de capital mil (US\$)	Custo de O&M Anual Mil (US\$)		
48	31,20	18,33	211,16	34,44	-16,11	-278,69
120	78,00	45,83	444,02	86,11	-40,30	-612,85
240	156,00	91,66	593,50	114,78	-23,12	-579,17
700	455,00	267,35	2.785,13	428,53	-161,18	-3.317,81
1.000	650,00	381,94	4.756,10	526,12	-144,19	-4.989,69
1.600	1.040,00	611,10	6.423,13	780,59	-169,49	-6.421,79
3.000	1.950,00	1.145,81	10.569,68	1.423,41	-277,60	-10.320,80
5.000	3.250,00	1.909,68	16.105,67	2.230,27	-320,60	-14.820,23

* O VPL negativo indica que não há atratividade econômica no investimento em termelétricas a lenha em comparação a unidades a Diesel.

COMPARAÇÃO DOS CUSTOS MÍNIMOS DE GERAÇÃO

Tomou-se para fins de análise, a situação atual do parque gerador do município de Manacapuru no estado do Amazonas, o qual é constituído por unidades a Diesel com as seguintes

potências: duas máquinas de 2.320 kW, uma de 1.250 kW, uma de 630 kW e uma de 1100 kW. O mercado apresenta taxas elevadas de crescimento, havendo necessidade de expansão do parque gerador.

Estabeleceu-se então, três situações hipotéticas para atendimento da demanda, definindo em cada uma delas o ponto de trabalho de cada máquina, para que o

custo anual de geração fosse mínimo. As situações foram criadas de tal sorte a possibilitar a comparação dos custos com a instalação de unidades a lenha.

Foram estabelecidas funções de consumo específico para as termelétricas existentes e aquelas a serem instaladas, utilizando para tal o software Jandel Scientific TableCurve versão 3.1. No quadro 1, tem-se as funções de consumo específico para cada máquina a Diesel e a lenha considerada nesse estudo.

Quadro 1. Funções de Consumo Específico

Máquina	Função de Consumo Específico
2320 kW *	$0,64-0,043\text{LN}(X)+524,4/X^2$
1250 kW*	$0,22+0,023\text{LN}(X)+23879,17/X^2$
630 kW*	$0,26+0,022\text{LN}(X)+6034,06/X^2$
1100 kW*	$0,23+0,018\text{LN}(X)+17271/X^2$
1000 kW**	$1,24+0,093\text{LN}(X)+71367,77/X^2$
1600 kW**	$1,104+0,0876\text{LN}(X)+171112,73/X^2$
3000 kW**	$1,193+0,064\text{LN}(X)+552497/X^2$

* unidades a Diesel ** unidades a lenha

Para calcular o mínimo custo anual e o ponto de operação de cada máquina, utilizou-se o Solver da planilha eletrônica Excel versão 7.0.

As situações estabelecidas foram as seguintes:

1ª. SITUAÇÃO: Ampliação do parque gerador sendo feita com unidades a lenha, uma unidade de 1000 kW, uma de 1600 kW e duas de 3000 kW.

FUNÇÃO OBJETIVO:

Quadro 2. Valor do Mínimo Custo de Operação Considerando Unidades a Diesel e a Lenha

Potência [kW]	DEMANDA [kW]					
	5.000	7.500	10.000	12.000	15.000	17.000
2350*	500	681	1296	1903	2320	2320
2350*	500	681	1295	1904	2320	2320
1250*	500	793	936	1017	1212	1250
1250*	500	793	936	1018	1212	1250
630*	500	475	547	585	630	630
1100*	500	723	859	937	1100	1100
1000**	500	517	627	694	884	1000
1600**	500	705	863	964	1263	1598
3000**	500	1066	1321	1489	2030	2765
3000**	500	1066	1319	1489	2029	2765
Custo Mínimo Anual [mil US\$]	24.089,24	31.539,71	40.401,14	47.552,60	58.438,37	66.008,78

* Unidades a Diesel. ** Unidades a lenha

2ª. SITUAÇÃO: Ampliação do parque gerador com unidades a Diesel, fazendo-se a expansão com duas máquinas de 2.350 kW e duas de 1.250 kW.

$$C_g = \text{PDT} * \sum_{i=1}^6 F_{Di} * E + \text{PL} * \sum_{j=1}^4 F_{Lj} * E \quad (9)$$

onde:

C_g = Custo total de geração

PDT = Preço do litro do Diesel incluindo transporte [0,375 + 0,025 = US\$ 0,40/l]

PL = Preço do kilo da lenha considerando o cultivo de floresta energética [US\$ 0,0312/kg]

F_{Di} = Função do consumo específico para cada uma das unidades a Diesel;

F_{Lj} = Função do consumo específico para cada uma das unidades a lenha.

E = Energia gerada no ano [kWh]

$$E = \left(\sum_{i=1}^6 P_i + \sum_{j=1}^4 P_j \right) * 8760 * \text{FC} \quad (10)$$

onde:

P_i = potência das unidades a Diesel

P_j = potência das unidades a lenha

8760 = número de horas de funcionamento no ano

FC = fator de carga (0,40).

RESTRICÇÕES:

1. O somatório das potências de cada uma das unidades devem atender a demanda de mercado. Foram estabelecidas os seguintes valores de demanda: 5000 kW, 7500 kW, 10000 kW, 12000 kW, 15000 kW e 17000 kW;
 2. A potência das unidades geradores não podem ser negativas;
 3. A potência das unidades geradores não podem ser superiores a sua capacidade nominal;
 4. A potência das unidades geradores devem ser inteira.
- Os resultados estão no quadro 2.

FUNÇÃO OBJETIVO:

$$C_g = PDT * \sum_{i=1}^{10} F_{Di} * E \quad (11)$$

As restrições se mantiveram as mesmas da situação anterior no que se refere ao Diesel. Os resultados estão no quadro 3.

RESTRIÇÕES:

Quadro 3. Valor do Mínimo Custo de Operação Considerando Somente Unidades a Diesel

Potência [kW]	DEMANDA [kW]					
	5.000	7.500	10.000	12.000	15.000	17.000
2350	500	762	1176	1304	1904	2304
2350	500	762	1176	1304	1904	2304
1250	500	819	914	1250	1250	1250
1250	500	819	915	1250	1250	1250
630	500	488	537	630	630	630
1100	500	747	838	1100	1100	1100
2350	500	762	1176	1304	1904	2304
2350	500	762	1177	1304	1904	2304
1250	500	760	1176	1304	1904	2304
1250	500	819	915	1250	1250	1250
Custo Mínimo Anual [mil US\$]	28.603,22	40.041,55	51.759,87	61.297,97	74.894,27	83.897,84

3ª. SITUAÇÃO: Suprimento total do mercado utilizando somente unidades a lenha.

FUNÇÃO OBJETIVO:

$$C_g = PL * \sum_{j=1}^8 FL_j * E \quad (12)$$

RESTRIÇÕES:

As restrições se mantiveram as mesmas da primeira situação no que se refere as termelétricas a lenha.

Os resultados estão no quadro 4.

Quadro 4. Valor do Mínimo Custo de Operação Considerando Somente Unidades a Lenha

Potência [kW]	DEMANDA [kW]					
	5.000	7.500	10.000	12.000	15.000	17.000
3000	625	1161	1564	1895	2300	2800
3000	625	1162	1564	1894	2300	2800
1600	625	765	1007	1192	1600	1600
1600	625	765	1006	1193	1600	1600
1000	625	559	724	842	1000	1000
1600	625	764	1007	1192	1600	1600
3000	625	1162	1564	1896	2300	2800
3000	625	1162	1564	1896	2300	2800
Custo Mínimo Anual [mil US\$]	11.160,44	13.289,28	16.598,30	19.443,74	23.903,70	26.931,91

Observa-se que os custos de geração anual com termelétrica a lenha são aproximadamente 33% menores que os custos com termelétricas a Diesel.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta subsídios importantes para discutir a introdução de termelétricas a lenha no contexto Amazônico.

Primeiramente os custos médios apresentados pelas unidades a lenha, a favorece em termos de

desembolso financeiro, além disso os custos anuais de geração são menores nas termelétricas a lenha. No entanto, o estudo de viabilidade econômica nos indica a falta de competitividade das tecnologias que fazem uso da lenha com relação ao Diesel. Porém, é necessário analisar esses resultados de maneira mais detida.

Certamente os resultados da análise econômica sofreriam profundas alterações caso os investimentos em unidades a lenha passassem a ser objeto de uma política de incentivo, a exemplo do que está ocorrendo atualmente com os sistemas termosolar, fotovoltaico e eólico, para os quais há uma proposta de lei para disponibilizar recursos da Reserva Global de Garantia - RGR, além de recursos provenientes da alienação de empresas de energia elétrica sob controle acionário direto ou indireto da União, ou de ativos patrimoniais da mesma; através do Programa de Incentivos a Energias Renováveis – PIER, estando sendo previsto 30% do valor total desses recursos para projetos de energias fotovoltaicas e eólica em sistemas isolados de pequeno porte. Sabe-se no entanto, que essas tecnologias precisam de grandes investimentos iniciais, assim como os sistemas a lenha, além do que, o potencial para sistemas eólicos na Amazônia, onde se encontram a maioria dos sistemas isolados de pequeno porte no Brasil, é bastante inferior ao potencial de biomassa.

O atual processo de reestruturação do setor elétrico nacional, com possíveis privatizações, monta um cenário propício para as termelétricas a lenha. Para perceber esse cenário, basta tomar como exemplo as propostas governamentais que estão sendo apresentadas para viabilizar a privatização no estado do Amazonas, onde destaca-se a proposta de subsídio em 100% do transporte do Diesel, e venda por um valor igual a 20% do custo na bomba. Além disso, está sendo proposto a criação de um fundo com recursos da arrecadação de ICM do Estado para financiamento de novas usinas. Essa estratégia se por um lado, tira do estado o ônus com a manutenção e operação do sistema, por outro deixa para a população brasileira o ônus pelo subsídio da compra e transporte do Diesel. Tal situação não ocorreria se tais investimentos fossem feitos em termelétricas a lenha, pois bastaria o incentivo para a compra da terra e dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

[1] CARPENTIERI, A E.; LARSON, E.D.; WOODS, J.; “FUTURE BIOMASS-BASED ELECTRICITY SUPPLY IN NORTHEAST BRAZIL”, BIOMASS AND BIONENERGY, 4 (3), 1993, pp. 149-173.

[2] NOGUEIRA, L.A H.; WALTER, A C.S.; “GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOMASSA NO BRASIL: EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS”