

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO SUPRIMENTO DE ELETRICIDADE COM GASOGÊNIO NA COMUNIDADE APÓSTOLO PAULO/MANACAPURU – AM

Aurélio Calheiros de Melo Junior, Fernando Cesar Rodrigues Souza e
Rubem Cesar Rodrigues Souza
Núcleo de Eficiência Energética (NEFEN) – Universidade do Amazonas
Avenida Gal. Rodrigo Otávio Jordão, 3000 Aleixo – Campus Universitário, Manaus-AM,
CEP 69077-000, Brasil.
E-mail: aucameju@yahoo.com rcsouza@internext.com.br

1. Resumo

O atendimento energético de comunidades ribeirinhas isoladas na região amazônica é um dos problemas apresentados para se garantir a universalização dos serviços de eletricidade. Neste trabalho faz-se considerações sobre a implantação de um sistema piloto para demonstração da viabilidade técnico-econômica e sócio-ambiental utilizando fontes alternativas de energia, aproveitando potenciais energéticos locais para suprimento de energia elétrica para as populações isoladas, possibilitando o desenvolvimento sustentável. As informações utilizadas para as análises apresentadas nesse trabalho foram geradas quando da implementação do projeto de extensão Ribeirinhas contratado pelo Centro de Pesquisa da Eletrobrás - CEPEL.

É feita a avaliação da viabilidade técnica-econômica da geração de eletricidade implantando-se um sistema com um gasogênio à carvão vegetal. A partir do levantamento do perfil sócio-econômico e energético da comunidade Apóstolo Paulo, município de Manacapuru, no estado do Amazonas, fez-se uma estimativa da demanda a ser atendida com a utilização do gasogênio e calculou-se o custo da geração de eletricidade, bem como os custos evitados com energéticos para os comunitários, ao se eletrificar a comunidade. O custo médio por residência foi calculado, uma vez que admitiu-se que a geração seria de responsabilidade da concessionária.

É verificada a compatibilidade do custo/residência com o poder aquisitivo da comunidade, para avaliar a manutenibilidade do sistema. Como estratégia para redução do custo de geração, avaliou-se a implantação de um banco de lenha e produção de carvão local na própria comunidade, comparando esta com a geração a Diesel, mais difundida nas comunidades da região.

2. Introdução

Devido suas características regionais, o suprimento de energia elétrica na região amazônica apresenta peculiaridades em relação às demais regiões do país, sendo um sistema isolado e com grande número de usinas térmicas, ainda com muitas localidades não supridas, dificultando atingir a meta do governo federal de universalização dos serviços de eletricidade.

Entre as causas que contribuem para esta situação está o difícil acesso a algumas destas comunidades, inviabilizando a expansão das redes aéreas convencionais. Este fato contribui, também, para o aumento das tarifas praticadas pelas companhias energéticas da região, pois o custo para transporte de combustível até as termelétricas, localizadas nos próprios centros de carga, é elevado. Entretanto, isto incentiva na busca de soluções mais viáveis para o suprimento destas comunidades, fazendo aproveitamento dos recursos naturais disponíveis nos locais, principalmente das fontes renováveis de energia, minimizando os impactos ambientais e sociais.

O presente trabalho faz uma análise da viabilidade de implantação de geração de energia elétrica em comunidades ribeirinhas isoladas na região amazônica, através da comparação dos custos relativos a implantação de um sistema com um gasogênio a carvão vegetal e um sistema com grupo gerador a Diesel, bastante difundido na região, verificando a possibilidade dos comunitários poderem pagar o custo pelo serviço de geração de eletricidade decorrente do sistema implantado.

3. Caracterização da comunidade Apóstolo Paulo

Comunidade situada à margem direita do Rio Solimões, distante cerca de 15 minutos (via fluvial) da sede do município de Manacapuru, com 31 residências cadastradas na comunidade. Na vila principal há cerca de 22 famílias residindo, das quais levantou-se o perfil sócio-econômico e energético. Há um pequeno gerador com motor Diesel de 7,5 CV que alimenta a igreja, a casa do pastor e 1 (uma) casa junto à igreja. Existe uma pequena rede elétrica (50 metros) interligando estas instalações. Existe 1 (uma) escola de ensino fundamental (1ª à 4ª séries). Não há posto de saúde na comunidade. Há uma igreja católica, que funciona também como centro comunitário religioso.

Uma grande parcela de moradores (72,7 %) têm renda mensal na faixa de ½ até 1 salário mínimo, outros (18,2 %) possuem renda mensal de 1 até 2 salários mínimos, enquanto 9,1 % não souberam estimar seus ganhos mensais.

O custo médio com energia, considerando-se todos os usos, dentro e fora do domicílio, é de R\$ 86,50 (oitenta e seis reais e cinquenta centavos). O custo médio com energéticos que podem ser substituídos pela eletricidade, caso essa seja gerada por 24 horas, é de R\$ 21,00 (vinte e um reais), correspondendo a 23,5 % da renda média familiar, que é de R\$ 88,80 (oitenta e oito reais e oitenta centavos). Vale salientar que além desse custo, os moradores contribuem para a compra de Diesel utilizado para eletrificação da comunidade com funcionamento diária de aproximadamente 4 (quatro) horas. Considerando-se essa contribuição, o custo médio com energia que pode ser suprida na forma de eletricidade é de R\$ 30,90 (trinta reais e noventa centavos).

Tabela 1 Energéticos usados e seus respectivos custos na comunidade Apóstolo Paulo

Casa	GLP		Lenha		Carvão		Bateria		Pilha		Vela		Gasolina		Querosene		Diesel		Total por residência
	Quant (botija)	Custo (R\$)	Quant (m³)	Custo (R\$)	Quant (m³)	Custo (R\$)	Quant (unid)	Custo (R\$)	Quant (unid)	Custo (R\$)	Quant (maço)	Custo (R\$)	Quant (l)	Custo (R\$)	Quant (l)	Custo (R\$)	Quant (l)	Custo (R\$)	
1	1	12,50	0	0	0	0	2	4,00	12	9,60	4	4,00	0	0	0	0	0	0	30,10
2	1	12,50	0	0	0	0	4	20,00	36	28,80	16	16,00	60	94,20	0	0	0	0	171,50
3	1	12,50	Não sabe	0	0	0	4	16,00	10	6,00	2	2,00	30	47,10	0	0	2	2,50	86,10
4	1	12,50	Não sabe	0	0	0	2	8,00	0	0	5	5,00	1	1,57	1	1,20	1	1,20	29,47
5	1	12,40	0	0	0	0	3	3,00	6	4,50	12	9,60	80	124,80	0	0	0	0	154,30
6	1	12,50	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1,60	0	0	0	0	0	0	14,10
7	0,33	4,33	Não sabe	0	0	0	0	0	9	9,00	1	1,00	20	34,00	0	0	16	16,60	64,93
8	0,5	6,50	Não sabe	0	0	0	0	0	6	6,00	3	3,00	30	54,00	0	0	3	4,50	74,00
9	1	13,50	0	0	0	0	0	0	41	24,25	0	0	5	7,80	0	0	60	37,80	83,35
10	1	12,40	Não sabe	0	0	0	0	0	6	3,00	2	1,50	50	81,00	0	0	0	0	97,90
11	0,5	6,25	Não sabe	0	0	0	4	16,00	11	6,00	4	2,80	120	187,20	0	0	8	5,92	224,17
12	1	12,50	0	0	0	0	4	4,00	24	16,80	0	0	30	51,00	0	0	1	0,70	85,00
13	1	11,40	0	0	0	0	0	0	16	11,20	4	3,60	32	54,40	0	0	0	0	80,60
14	0,5	6,25	0	0	0	0	0	0	3	1,80	0	0	40	68,00	0	0	0	0	76,05
15	1	13,40	1	0	0	0	4	16,00	38	18,00	8	5,60	80	132,00	0	0	3	2,19	187,19
16	1	12,50	0	0	0	0	10	40,00	9	3,15	0	0	40	62,00	0	0	3	3,00	120,65
17	0,33	3,66	0	0	0	0	0	0	17	11,90	4	3,20	0	0	0	0	0	0	18,76
18	1	13,40	Não sabe	0	0	0	4	8,00	9	7,86	1	0,80	1	1,70	0	0	0	0	31,76
19	1	12,50	0,03	0	0	0	0	0	0	0	2	2,00	20	26,00	0	0	0	0	40,50
20	1	12,40	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2,10	40	66,00	0	0	0	0	80,50
21	1	13,00	Não sabe	0	0	0	1	4,00	1	0,30	1	0,80	0	0	0	0	40	40,00	58,10
22	1	12,50	0	0	0	0	3	3,00	20	12,00	4	3,20	40	64,00	0	0	0	0	94,70
Total	19,16	241,39	1,3	0	0	0	45	142,00	274	180,16	78	67,80	719	1.156,77	1	1,20	137	114,41	1.903,73

Fonte: Souza et al. (2000).

A tabela 1 apresenta os diferentes energéticos utilizados pela comunidade, bem como os custos destes, segundo informações dos moradores. Os eletrodomésticos presentes na comunidade são: televisão, geladeira, rádio elétrico, ventilador, liquidificador e um freezer.

4. Demanda a ser atendida

Para determinar a demanda de eletricidade a ser atendida tomou-se como referência o estoque de equipamentos elétricos existentes nas residências, bem como a carga elétrica verificada em escolas, postos de saúde, sistema de captação d'água, igrejas, centro comunitário e iluminação pública, considerando-se a possibilidade de aumento de renda da população, individual ou para o conjunto da comunidade, através do início de alguma atividade comercial ou de uso da eletricidade em alguma atividade agrícola, ou ainda para o coletivo da comunidade através da implantação de um sistema para beneficiamento da produção ou conservação de algum produto, aumentando, conseqüentemente, a carga a ser atendida.

Na tabela 2 apresenta-se a demanda identificada quando da visita a campo e na tabela 3 tem-se a carga a ser atendida no início da eletrificação da comunidade, levando-se em consideração a troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes, para proporcionar uma diminuição da potência instalada e conseqüentemente do consumo.

A demanda projetada para a comunidade foi de 15 kW, para garantir o suprimento relativo ao crescimento da população e/ou dos hábitos de consumo, uma vez tendo energia disponível para todos. O tempo de suprimento admitido para o sistema a ser implantado foi de 24 horas diárias.

Tabela 2 Demanda atual da comunidade Apóstolo Paulo.

Residência			
Carga	Potência unitária (W)	Quantidade	Carga total (W)
Rádio elétrico	50	14	700
TV	200	18	3600
Geladeira	200	1	200
Ventilador	150	3	450
Liquídificador	200	1	200
Freezer	500	1	500
Lâmpadas	60	108	6480
Vídeo cassete	20	1	20
Máquina de lavar	80	1	80
Total			12.230
Escola			
Carga	Potência unitária (W)	Quantidade	Carga Total(W)
Lâmpadas	60	5	300
Igrejas			
Carga	Potência unitária (W)	Quantidade	Carga Total(W)
Lâmpadas	60	8	480
Carga Total (W)			13.010

Fonte: Souza et al. (2000).

Tabela 3. Demanda considerando a substituição de lâmpadas incandescentes.

Residência			
Carga	Potência unitária (W)	Quantidade	Carga total (W)
Rádio elétrico	50	14	700
TV	200	18	3600
Geladeira	200	1	200
Ventilador	150	3	450
Liquídificador	200	1	200
Freezer	500	1	500
Lâmpadas	20	108	2160
Vídeo cassete	20	1	20
Máquina de lavar	80	1	80
Total			7890
Escola			
Carga	Potência unitária (W)	Quantidade	Carga Total (W)
Lâmpadas	32	5	160
Iluminação pública			
Carga	Potência unitária (W)	Quantidade	Carga total (W)
Lâmpada	32	8	256
Igrejas			
Carga	Potência unitária (W)	Quantidade	Carga Total (W)
Lâmpadas	32	8	256
Carga Total (W)			8562

Fonte: Souza et al. (2000).

5. Descrição da alternativa proposta para a comunidade

A primeira alternativa proposta consiste na utilização de um gasogênio cujo combustível é carvão vegetal. É um equipamento que tem por finalidade utilizar o gás proveniente da queima de carvão vegetal para o acionamento de um motor. Este gás é utilizado em outros processos, como gerar força motriz, quando acoplado a uma bomba, ou energia elétrica quando acoplado a um gerador elétrico. Com o gasogênio utilizando o carvão vegetal a gaseificação mostra-se bastante facilitada, pois os produtos voláteis da madeira já foram eliminados no processo de produção do carvão.

A produção do carvão vegetal para a alimentação do gasogênio é a mesma para qualquer outra finalidade, pode ser feito de modo artesanal apesar de acarretar perdas elevadas, sob forma de poeira. A grande preocupação da comunidade quanto a produção de carvão para alimentar o gasogênio é o desmatamento, que pode provocar sérios danos ambientais, além de aumentar cada vez mais a distância para recolhimento da madeira que será usada para produzir o carvão, como também indisposição das famílias em produzi-lo.

6. Análise de viabilidade econômica.

A metodologia para proceder à análise proposta foi a seguinte:

- Levantamento dos custos para geração de energia com o gasogênio; (rede elétrica, casa de máquinas, depósito de carvão), considerando a opção de custo zero para o combustível (doador pela prefeitura do município) e com custo de produção caso produzido na comunidade.
- Cálculo do custo de geração de eletricidade com o gasogênio, nos dois casos citados acima, e com o Diesel.

- Cálculo do consumo de energia mensal por residência, a partir do perfil sócio-econômico e energético feito.
- Cálculo do custo com energia elétrica mensal por residência.
- Levantamento dos custos evitados com energéticas ao eletrificar a comunidade.
- Verificação da compatibilidade do custo com energia calculado com o poder aquisitivo dos consumidores.
- Análise dos resultados, tentando indicar possíveis formas de adequação das propostas analisadas para garantir o fornecimento para a comunidade.

A expressão para se determinar o custo da energia gerada utilizada foi a seguinte:

$$C_{\text{energia}} = \frac{I * (\text{FRC}) + F_{\text{O\&M}}}{8760 * P * F_{\text{cap}}}$$

onde:

C_{energia} - custo da energia gerada, em R\$/MWh

P – potência instalada do sistema pretendido, 15 kW

I – investimento total na planta, R\$

FRC – fator de recuperação de capital, função do lucro e do período de pagamento, onde:

$\text{FRC} = [(1 + i)^n \times i] / [(1 + i)^n - 1]$, sendo “n” a vida útil e “i” a taxa mínima de atratividade;

$F_{\text{O\&M}}$ – fração do investimento que corresponde aos custos anuais de operação e manutenção, excluindo os combustíveis;

F_{CAP} – fator de capacidade, fração do tempo em que a planta opera a plena carga (fator de carga);

Para o cálculo de FRC, utilizou-se uma taxa $i = 10 \%$, enquanto para o valor de “n” considerou-se dois horizontes para cada sistema, quais sejam: 15 e 20 anos.

Alternativa 1: Geração com gasogênio, sem custo do carvão

De acordo com os dados coletados e calculados, tem-se:

Investimento com equipamento e instalação, em R\$ (compreende os custos do equipamento, da casa de máquinas e depósito para armazenar o carvão e da rede elétrica):

$$I = \text{R\$ } 58.243,66.$$

Custo com operação e manutenção, em R\$: $F_{O\&M} = \text{R\$ } 16.088,40$

$$F_{CAP} = 0,50.$$

Para $n = 15$ anos, $FRC = 0,131473$
 $C_{GG} = 361,36 \text{ R\$/MWh}$

Para $n = 20$ anos, $FRC = 0,117459$
 $C_{GG} = 349,04 \text{ R\$/MWh}$

Alternativa 2: Geração com gasogênio, com custos de produção local de carvão

Nesta alternativa, acrescenta-se ao investimento do caso anterior os custos da produção de carvão na própria comunidade, não mudando os custos com operação e manutenção, apenas I e $F_{O\&M}$.

Custo de produção anual de carvão própria, em R\$, do banco de lenha (considerando a necessidade de 87,6 t/ano para suprir o consumo do gasogênio, e que este montante seria garantido por uma área de plantio de árvores para produzir carvão em 3 hectares): $C_{PV} = 1.682,45$.

Custo de construção dos fornos, em R\$: 1.000,00

Investimento total, em R\$: 60.926,11

$$F_{O\&M} = 30.376,80$$

Para $n = 15$ anos, $FRC = 0,131473$
 $C_{GC2} = 584,21 \text{ R\$/MWh}$

Para $n = 20$ anos, $FRC = 0,117459$
 $C_{GC2} = 571,32 \text{ R\$/MWh}$

Alternativa 3: Geração com Diesel

Investimento com equipamento e instalação: 1.567,80 R\$/kW

Para uma carga estimada de 15 kW: R\$ 23.517,00

Custo da rede: R\$ 23.600,00.

Custo anual com combustível: $0,8 * 0,4 * 8760 * 15 =$ R\$ 42.048,00.

Então, $F_{O\&M} = 11.325,60$, considerando-se somente os salários com seus encargos e custo de manutenção.

Para $n = 15$ anos: $FRC = 0,131473$
 $C_{GD} = 755,51$ R\$/MWh

Para $n = 20$ anos: $FRC = 0,117459$
 $C_{GD} = 747,21$ R\$/MWh

Consumo residencial

Para o cálculo do consumo de energia mensal por residência tomou-se o valor total da carga apresentado nas tabelas 2 e 3. Considerando que em cada residência há rádio elétrico, televisão, ventilador e lâmpadas, a carga total na comunidade relativa a estes equipamentos é de 11.230 W e de 510 W por residência, adotando-se um valor médio. Em todos os cálculos realizados levou-se em conta um valor médio para a comunidade, por falta de informação individual sobre alguns hábitos de consumo.

Para calcular o consumo mensal de energia por residência, considerou-se que, em média, os equipamentos ficariam ligados de acordo com a tabela 5, mostrando os valores já calculados do consumo médio total desejado. Admitiu-se, ainda, 5 lâmpadas incandescentes por residência.

Tabela 5 – Consumo residencial, com lâmpadas incandescentes.

Equipamento	Duração de uso (horas/dia)	Consumo unitário (W)	Consumo mensal (Wh/mês)
Rádio elétrico	6	50	9000
TV	4	200	24000
Ventilador	4	150	18000
Lâmpada	4	60	27000
Total (kWh/mês)			78,0

Fez-se o mesmo cálculo considerando a utilização de lâmpadas fluorescentes, mostrando uma redução de consumo de 23,2 %, como mostra a tabela 6.

Tabela 6 – Consumo residencial, com lâmpadas fluorescentes.

Equipamento	Duração de uso (horas/dia)	Consumo unitário (W)	Consumo mensal (kWh/mês)
Rádio elétrico	6	50	9
TV	4	200	24
Ventilador	4	150	18
Lâmpada	4	20	12
Total			63,0

Custo com energia por residência

Com base nos valores calculados, e tendo os valores dos custos de geração calculados anteriormente, pode-se calcular o custo com energia elétrica a ser pago por consumidor/residência. Como o sistema considerado é isolado e não há classes de consumo diferenciadas, pode-se obter este valor a ser pago diretamente com o custo de geração e o consumo mensal por residência.

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 . Custo com energia em função do custo de geração.

ALTERNATIVA		Custo com energia (R\$/mês)	
		n = 15 anos	n = 20 anos
1. Gasogênio com carvão doado	Utilizando lâmpadas incandescentes	28,18	27,22
	Utilizando lâmpadas fluorescentes	22,76	21,98
2. Gasogênio com carvão produzido pela comunidade	Utilizando lâmpadas incandescentes	45,57	44,56
	Utilizando lâmpadas fluorescentes	36,80	35,99
3. Grupo gerador à Diesel	Utilizando lâmpadas incandescentes	58,93	58,28
	Utilizando lâmpadas fluorescentes	47,59	47,07

Discussão

Para os valores calculados, pode-se fazer as seguintes considerações:

- Comparando o custo de geração com o gasogênio, com e sem a produção local de carvão, percebe-se que o sistema proposto utilizando este equipamento é competitivo com a geração a Diesel.
- Apesar do exposto acima, os custos de energia elétrica a serem pagos mensalmente estão acima do custo médio levantado junto aos comunitários.
- Vale salientar que nos cálculos feitos considerou-se apenas o consumo por residência, sem contribuição da iluminação pública a ser também implantada, junto com a rede elétrica. A parcela referente a este uso aumentaria o custo da energia a ser paga.
- De acordo com a renda média da comunidade, entre $\frac{1}{2}$ e 1 salário mínimo para 72,73% da população do local, o custo com energia não poderia ser pago. No entanto deve-se considerar que o suprimento passaria a ser de 24 horas e não mais de 4 horas.

7. Considerações finais

A forma mais adequada de disponibilidade de energia elétrica para comunidades isoladas na região amazônica ainda continua sendo um desafio tanto para as concessionárias quanto para os centros de pesquisa que tentam achar caminhos para resolver este problema.

Pelo estudo feito, percebe-se que há alternativas viáveis para garantir este suprimento, com possibilidades inclusive de auto-sustentabilidade energética destas comunidades isoladas, como no caso da alternativa do uso do gasogênio com produção local de carvão vegetal.

Para aprimorar mais o estudo feito, seria necessária uma melhor descrição dos hábitos de consumo de energéticos na comunidade, fornecendo subsídios para se chegar a valores de custos tanto de energéticos a serem substituídos pela energia elétrica como para o cálculo do custo da energia a ser paga pelos comunitários.

8. Referência bibliográfica

Souza, R.C.R, Duzat, R.M.M; França, B.S.; Santos, E.C.S.; Júnior, A C.M.; Abnader, C.; Silva, E.O; Andrade, J.A “Segundo Relatório do Projeto Ribeirinhas”. Núcleo de Eficiência Energética - NEFEN, Faculdade de Tecnologia, Universidade do Amazonas, Manaus, Outubro, 2000.