

Análise de Viabilidade Econômica e Financeira de Projetos Sustentáveis no Setor Energético: Estudo de Caso para Implantação de Biodigestores no Semiárido Baiano

RESUMO

O Estado ao realizar investimentos defronta-se com o desafio de decidir como aplicá-los. Para o setor energético da Bahia, a implantação de biodigestores no semiárido representa possibilidade de geração de energia através do aproveitamento de dejetos. Assim, este estudo discorre sobre a análise das características locais e da viabilidade econômica e financeira para a implantação de biodigestores no semiárido baiano. Nesta metodologia foram comparados os resultados das conversões de dejetos caprinos em biogás e biofertilizante, com produtos convencionais (gás de cozinha, eletricidade e fertilizantes), assim como a viabilidade para comercialização de créditos de carbono. Utilizou-se da relação custo-benefício, do valor presente líquido, da taxa interna de retorno e do *payback*, nas diversas situações de substituição dos produtos transformados e na comercialização do crédito de carbono. Os resultados demonstraram viabilidade em praticamente todas as médias de rebanho estudadas (de 50 a 400 cabeças caprinas), quando o trabalho de manejo do biodigestor é executado pela comunidade. No entanto, quando incorporado o custo do trabalho, a atividade se torna viável somente a partir de 150 cabeças. Para a comercialização dos créditos de carbono, a viabilidade aparece a partir de 300 e 400 cabeças, para taxas de financiamento estudadas de 1% e 5%, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE

Biogás. Caprinos. Energia. Viabilidade econômica e financeira.

Sheyla Caetano Haack

- Economista pela Universidade Católica do Salvador (UCSAL);
- Mestre em Economia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA)
- Especialista em Gestão da Qualidade, Meio-Ambiente, Segurança Ocupacional e Responsabilidade Social
- Especialista em Gestão de Projetos Tecnológicos
- Pesquisadora do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Regional da Bahia (SENAI-DR-BA) – Unidade SENAI CIMATEC

Gilca Garcia de Oliveira

- Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras (UFLA);
- Doutora em Economia Rural pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)
- Professora dos Mestrados de Economia e Geografia da Universidade Federal da Bahia (UFBA)
- Vice-Coordenadora do Grupo de Pesquisa Projeto GeografAR

1 – INTRODUÇÃO

Durante várias décadas a matriz energética brasileira apresentou modesta mudança em sua estrutura. Contudo, nos últimos anos, intensivos planejamentos e diversas ações estratégicas possibilitaram incrementos na oferta energética. Além disso, espera-se para os próximos anos, crescimento da demanda total de energia do país superior a 5% ao ano. Para Tolmasquim (2012), o suprimento de energia é a chave para o desenvolvimento de uma nação. Não teria sido possível manter o crescimento econômico brasileiro nos últimos anos se não fossem realizados os investimentos em infraestrutura, como construções de usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas, gasodutos, além disso, as medidas de conservação de energia, ampliação dos sistemas de transmissão elétrica, entre outros empreendimentos.

A matriz energética brasileira é uma das matrizes que apresenta maior percentual de energia renovável em sua composição, especialmente devido às usinas hidrelétricas. O Programa Nacional de Desestatização e os programas de ampliação ao acesso à energia elétrica iniciados em 1995 permitiram a ampliação da matriz energética com o uso de novas fontes de energias renováveis, tais como a energia eólica, solar e a biomassa. No entanto, essa participação ainda é reduzida, sendo sua ampliação bastante desejável.

Para o semiárido baiano, as fontes alternativas de energia possibilitam inúmeras oportunidades à população, principalmente naquelas comunidades isoladas com difícil acesso das redes de distribuição tradicionais. Carvalho, Santos e Ferreira (2011) enfatizam que o acesso à energia elétrica não pode ser visto apenas como aspecto técnico e econômico, uma vez que a solução desse problema possibilita mudanças na qualidade de vida, devido ao acesso a diversos itens essenciais como educação, saúde, abastecimento de água, iluminação, comunicação, entretenimento e outros.

Dessa forma, a biodigestão torna-se uma alternativa de fonte de energia sustentável para o semiárido baiano, com o aproveitamento adequado de resíduos gerados pelo rebanho caprino, comum na região, para a transformação em energia (biogás) e biofertilizante. A transformação destes resíduos, através do uso

da tecnologia de biodigestão, contribui para a sustentabilidade, pois aumenta a oferta energética, possibilitando assim, que unidades domiciliares ou industriais, com difícil acesso de redes convencionais, possam usufruir da energia gerada, através do uso do biogás, como fonte de calor (cozimento de alimentos) e de geração de eletricidade. Além dos ganhos com o efluente gerado no processo para fertilização do solo e possibilidades de comercialização de créditos de carbono.

A possibilidade de sequestro de carbono nessa atividade torna o mercado de crédito de carbono promissor, uma vez que os 194 países reunidos na 18ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP-18), ocorrida em 2012 em Doha, no Catar, aprovaram a prorrogação do período de validade do Protocolo de Kyoto, até 2020. O texto aprovado também faz referência à compra dos direitos de emissão acumulados para os países mais poluentes do mundo que não conseguem diminuir a emissão de tais gases na atmosfera terrestre, sendo eles principalmente o CO₂ (Dióxido de Carbono) e o CH₄ (Metano).

Portanto, este estudo busca identificar a viabilidade técnica e econômica do uso de biodigestores no semiárido do Estado da Bahia a partir dos resíduos da caprinocultura, para a geração de energia, fertilizantes e vendas de créditos de carbono, como um meio de contribuir com a reprodução social e a qualidade de vida dos pequenos produtores e das comunidades rurais.

Embora sejam evidentes os ganhos proporcionados, é importante verificar a eficácia desse processo. Alguns fatores são definidores, dentre eles, o tamanho do rebanho e a disponibilidade de água. Além dos aspectos técnicos, econômicos, financeiros e ambientais.

Assim, com vista a comparar os valores dos produtos transformados no biodigestor (biogás e biofertilizante) com a energia elétrica, o gás de cozinha e o fertilizante convencional, foram convertidos os dados técnicos quantitativos e qualitativos dos resíduos gerados pelo rebanho da caprinocultura em valores monetários. Em seguida, realizou-se um estudo de viabilidade econômica e financeira do processo de

produção. Através deste estudo pôde-se verificar a viabilidade dessa implantação.

2 – SEMIÁRIDO BAIANO, CENÁRIO POSSÍVEL PARA A IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES

Para a identificação da possibilidade de implantação de biodigestores por meio da caprinocultura no semiárido baiano, inicialmente foram elencados alguns municípios para o estudo, com base na criação de caprinos, por tamanho do rebanho. Posteriormente, foram levantadas informações sobre as principais ações estratégicas promovidas pelo Estado para a caprinocultura. (SECRETARIA DA CIÊNCIA..., 2008).

Foram selecionados 34 municípios situados em sua maioria na região Nordeste, Baixo Médio São Francisco e Piemonte da Diamantina, como destacados a seguir: RG 06 – Nordeste: Cansanção, Canudos, Euclides da Cunha, Jeremoabo, Monte Santo, Paulo Afonso; RG 07 – Paraguaçu: Feira de Santana e Pintadas; RG 08 – Sudoeste: Anagé, Vitória da Conquista e Jequié; RG 09 – Baixo Médio São Francisco: Campo Alegre de Lourdes, Casa Nova, Curaçá, Juazeiro, Pilão Arcado, Remanso, Sento Sé e Sobradinho; RG 10 – Piemonte da Diamantina: Andorinha, Antônio Gonçalves, Campo Formoso, Filadélfia, Jaguarari, Senhor do Bonfim, Ponto Novo, Uauá e Valente; RG 11 – Irecê: Jussara; RG 12 – Chapada Diamantina: Oliveira dos Brejinhos; RG 13 – Serra Geral: Guanambi; RG 14 – Médio São Francisco: Barra e Bom Jesus da Lapa e RG 15 – Oeste: Barreiras. (SUPERINTENDÊNCIA..., 2008).

Os 34 municípios selecionados representam uma população superior a 2,5 milhões de habitantes, com PIB de aproximadamente R\$ 15 bilhões e renda *per capita* cerca de R\$ 5.000,00. Ainda revela que 29% da área total (127.046 km²) é zona rural, composta por mais de 98.000 estabelecimentos rurais, dos quais 30% possuem rebanhos caprinos, totalizando aproximadamente 1,8 milhão de animais, ou seja, 57% do rebanho do Estado da Bahia. (SECRETARIA DA AGRICULTURA..., 2009b). Dentre os municípios, destacam-se Juazeiro, Casa Nova, Uauá, Curaçá, Remanso, Campo Alegre de Lourdes, Monte Santo, Pilão Arcado e Campo Formoso, representando

aproximadamente 70% do rebanho total (SECRETARIA DA AGRICULTURA..., 2007). Analisando a Figura 1, que aponta a relação de caprinos por unidade de estabelecimento, evidencia-se a predominância de criadores com pequenas propriedades de até 100 hectares e média de 50 a 500 animais por estabelecimento. Quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano¹ (IDH), todos os municípios apresentam valores na faixa entre 0,53 a 0,74, considerados de médio desenvolvimento humano.

Ressalta-se a importância em apontar a necessidade de potencializar alguns aspectos socioambientais ainda críticos no semiárido, tais como o acesso à energia elétrica e ao gás de cozinha que de certa forma, influenciam na melhoria da qualidade de vida da população.

O principal ponto crítico da implantação de biodigestores no semiárido tem relação com a necessidade de água para o processo de transformação. Na Figura 2 é possível verificar, esquematicamente, o processo de produção de um biodigestor e sua interação com as diversas fontes hídricas.

Foi realizada uma pesquisa cartográfica identificando as Bacias Hidrográficas² que abrangem os municípios selecionados para verificar a potencialidade de implantação de biodigestores de acordo com a perspectiva hídrica (SECRETARIA DA AGRICULTURA..., 2009b). Entre os principais rios foram identificados: São Francisco, Vaza Barris, Várzea do Pilão, Itapicuru, Pardo, Contas, Macalé, Mucururé, Vermelho, Paraguaçu, Pintubaçu, Ondas, Grande, Paramirim, Verde, Jacaré, dos Porcos, Carnaíba de Dentro, Salitre e Subaé. Entre as barragens e açudes destacaram-se: Sobradinho, Itaparica, Pedra do Cavalo e das Pedras. E os açudes, de Valente e de Cocorobó. Assim, 20 rios, quatro barragens e dois açudes, abrangem os 34 municípios, sendo que 30% dos municípios estão cobertos pelo Rio São Francisco e pela Barragem de Sobradinho; 18% pelo Rio

1 O IDH foi criado para medir o nível de desenvolvimento humano dos países a partir de indicadores de educação, longevidade e renda. Os países com IDH até 0,499 são considerados de baixo nível de desenvolvimento humano.

2 A lei nº 9.433 de janeiro de 1997 instituiu a bacia hidrográfica como unidade territorial para atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, os Comitês de Bacias Hidrográficas e a definição dos instrumentos para a gestão dos recursos hídricos.

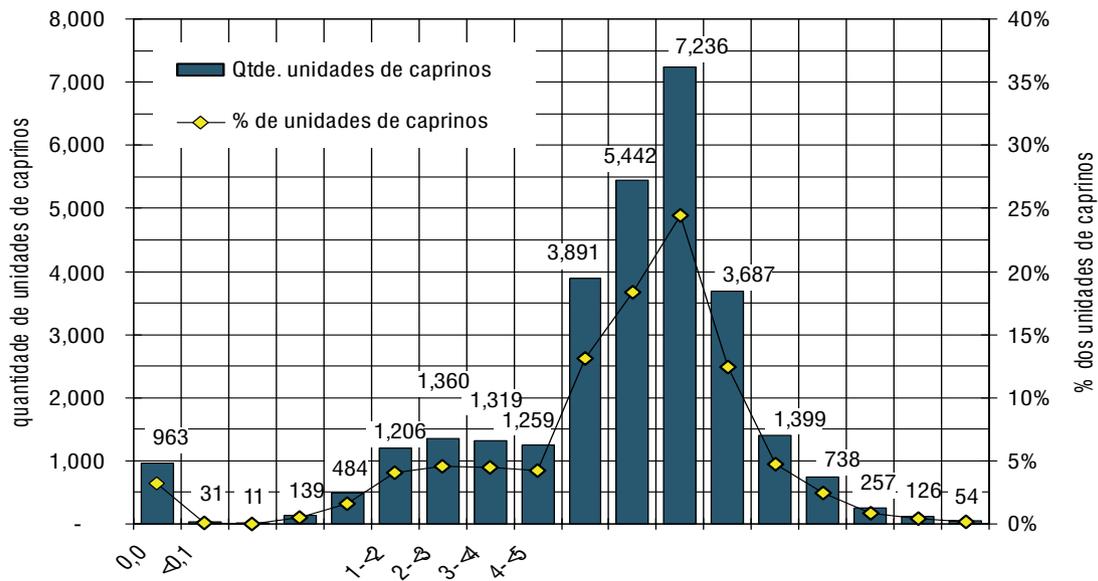


Figura 1 – Unidades de Caprinos por Áreas de Estabelecimentos Rurais

Fonte: Haack (2009).

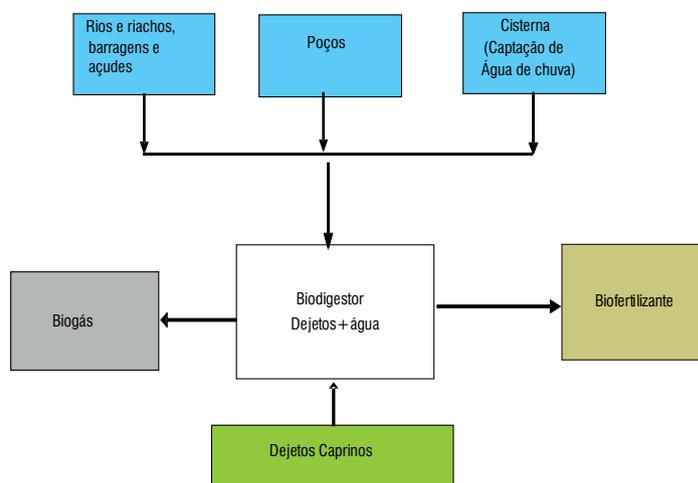


Figura 2 – Esquema de Ligação das Fontes Hídricas

Fonte: Haack (2009).

Itapicuru e 26% pelos rios de Contas, Grande, Paramirim e Paraguaçu.

Em termos de dados pluviométricos, 24% dos municípios apresentam os menores índices entre 400-500mm, são eles: Campo Formoso, Cansanção, Canudos, Casa Nova, Juazeiro, Sento Sé e Uauá, 64% apresentam uma média entre 600-700mm e os 12% entre 800 a 2.000mm, dos quais se destacam município de Barreiras por apresentar um índice superior a 1.100mm (SUPERINTENDÊNCIA..., 2008). Os cálculos

de volume de água realizados através do índice pluviométrico³ demonstram que esse volume atenderia todas as unidades rurais de rebanho. Entretanto, a evaporação na região Nordeste é bastante elevada, principalmente porque os raios solares incidem perpendicularmente ao solo. (MELO FILHO; SOUZA,

3 O Cálculo do volume diário de água de chuva na área rural foi estimado através do índice pluviométrico mínimo dividido por 365 dias e multiplicado pelo total da área rural por município (valores em km²). Sendo que 1mm de coluna de água em 1km², corresponde a 1000m³ de água.

2006) apontam que a evaporação na região é de 2.000 mm, teoricamente a água de chuva dessa região evaporaria, causando um balanço hídrico negativo.

As outorgas emitidas sobre os municípios estudados equivalem a 1% das outorgas emitidas pelo Estado. Das 648 outorgas, 60% são para irrigação, 34% para indústria, 17% para uso humano e apenas 5% para uso animal. Das águas outorgadas, 53% são oriundas de mananciais subterrâneos e as demais, de mananciais superficiais, das quais 84% foram outorgadas para irrigação (INSTITUTO DE GESTÃO..., 2009). Dos municípios listados, 50% deles foram outorgados para irrigação, o que permite validar, por conta dos critérios estabelecidos de outorgas, o nível adequado de qualidade da água para uso na irrigação, em pelo menos metade dos municípios pesquisados. Os dados gerais dos sistemas de abastecimento de água, através das quantidades de poços perfurados, cisternas e dos sistemas simplificados e convencionais de abastecimentos mostram que é possível identificar, do total de poços, cisternas e sistemas de abastecimento existentes nos municípios, (aproximadamente 33.000 unidades), que apenas 34% atendem aos estabelecimentos rurais (CARITAS, 2009). Por outro lado, alguns municípios, apresentam índices de estabelecimento rurais com cisternas e poços superiores a 45%, dentre eles: Jaguarari, Andorinha, Sento Sé, Anagé, Canudos, Campo Alegre de Lourdes, Remanso, Curaçá, Casa Nova, Senhor do Bonfim, Sobradinho, Juazeiro, Ponto Novo e Bom Jesus da Lapa. Nos municípios de Jeremoabo, Cansanção, Monte Santo, Euclides da Cunha, Barreiras, Jequié, Feira de Santana e Barra, esse índice é abaixo de 20%. Essas opções tecnológicas significam novas fontes alternativas de acesso à água, e, por conseguinte, possibilidades de viabilidade para a implantação de biodigestores.

Outro ponto de análise é que para o uso do biofertilizante, como substituto do fertilizante convencional, para o qual se faz necessário um mínimo de qualidade e uso adequado da água no solo. Assim, a partir dos dados do mapa hidro subterrâneo da região Nordeste do Brasil (IBGE, 2003), foi realizada avaliação quanto à qualidade da água. Ressalta-se a importância dessas informações, pois permite a visualização de potabilidade da água⁴, certamente importante para o

consumo, mas que pode viabilizar também o uso do biofertilizante.

É possível destacar que, dentre os municípios estudado, 17 deles possuem potabilidade de água classificada como boa e apta para a irrigação, sem restrições ou com salinidade média. Dentre eles: Jeremoabo, Sento Sé, Anagé Canudos, Campo Alegre de Lourdes, Remanso, Euclides da Cunha, Sobradinho, Juazeiro, Jussara, Antônio Gonçalves, Filadélfia, Ponto Novo, Paulo Afonso, Vitória da Conquista, Feira de Santana e Barra. Apesar de constar em mapa cartográfico como inadequados para irrigação, os municípios de Monte Santo, Senhor do Bonfim, Jequié, Guanambi e Feira de Santana, já têm outorgas emitidas para o uso na irrigação, provavelmente, por conterem sistemas de abastecimento e saneamento de água e esgoto. Assim, nota-se que, em 65% dos municípios estudados, a água foi identificada com boa potabilidade e adequação ao uso no solo. Os dados referentes ao uso e a qualidade da água também foram comparados com as análises realizadas pelo Instituto de Gestão das Águas na Bahia (INGÁ), em junho de 2009, com base nos parâmetros físico-químicos, nutrientes e biológicos realizados por Região de Planejamento de Gestão das Águas (RPGA). Nesta comparação, nota-se que os resultados divergem em apenas três municípios: Canudos, Ponto Novo e Feira de Santana. Ainda é importante apontar que durante o monitoramento do INGÁ, identificaram-se pontos de irrigação nos municípios de Canudos, Cansanção, Campo Formoso, Curaçá, Juazeiro e Jequié. Ressalta-se que a fim de servir como elemento de racionalização do seu uso, e de equilíbrio entre a disponibilidade e demanda por esse recurso, considerou-se a água um bem de valor econômico. Assim sendo, foi incorporado como parte dos custos operacionais o valor relativo da água consumida para uso no biodigestor.

3 – BIODIGESTORES

3.1 – Funcionamento de um Biodigestor

O modelo proposto do uso do biodigestor na caprinocultura no semiárido baiano apresenta um fluxo que, de um lado têm-se os ganhos pelo consumo

4 Segundo UFBA (2007), a depender do objetivo, a qualidade da água pode

ser apresentada por diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos.

dos bens processados na caprinocultura, e, do outro, ganhos no aproveitamento desses resíduos. Assim, há um fluxo contínuo e sustentável no aproveitamento de resíduos da caprinocultura com o uso do biodigestor (Figura 3).

Observa-se que a integração da caprinocultura propicia benefícios ambientais, de aproveitamento dos resíduos (dejetos), de redução de emissão de carbono e de eliminação do uso da madeira como lenha. Assim como efeitos econômicos com a geração de biogás e biofertilizantes, e sociais ao permitir o acesso de comunidades à energia elétrica.

3.2 – Metodologia

3.2.1 – Indicadores técnicos de funcionamento do biodigestor

Observando-se a potencialidade econômica desse setor (caprinocultura), foi realizado um estudo de viabilidade econômica e financeira do uso dos biodigestores localizados no semiárido do Estado da Bahia, por meio de dados já validados em estudos realizados anteriormente em plantas em escala piloto e industrial. O objetivo foi identificar o potencial sobre o aproveitamento dos dejetos caprinos nos principais municípios do semiárido baiano, para a geração de energia, fertilizantes e vendas de créditos de carbono, como um meio de contribuir para a geração de

renda e de bem-estar para os pequenos produtores e comunidades rurais.

Tomaram-se como base os indicadores técnicos dos estudos realizados por Quadros et al. (2009a) em um modelo de biodigestor canadense construído em laminados de PVC de 13 m³, instalado na estação experimental da EBDA, município de Jaguarari (BA), para a realização de testes e ensaios laboratoriais com dejetos caprinos. Tratando-se do aproveitamento dos dejetos caprinos, foram coletadas informações de caracterização quantitativas e qualitativas cujo objetivo visou levantar os índices de conversão desse material em energia, biofertilizante e créditos de carbono.

Utilizou-se ainda levantamento técnico do processo de biodigestão com o uso de dejetos caprinos obtidos por Quadros et al. (2009b). Estes autores consideraram um volume de 0,5 kg de dejetos/dia-cabeça, para animais presos à noite, pois cada quilograma de dejetos caprino gera 0,061 m³ de biogás e que um botijão de 13 kg de GLP corresponde a 33 m³ de biogás. Utilizou-se como parâmetro para o consumo de uma família composta por quatro pessoas, que usa biogás para cocção, durante duas horas e meia por dia, em um fogão que consome 0,44 m³ de biogás/hora, que queimaria um total de 33 m³ de biogás/mês, ou seja, o equivalente a um botijão de GLP por mês. (METALÚRGICA JACKWALL Ltda,

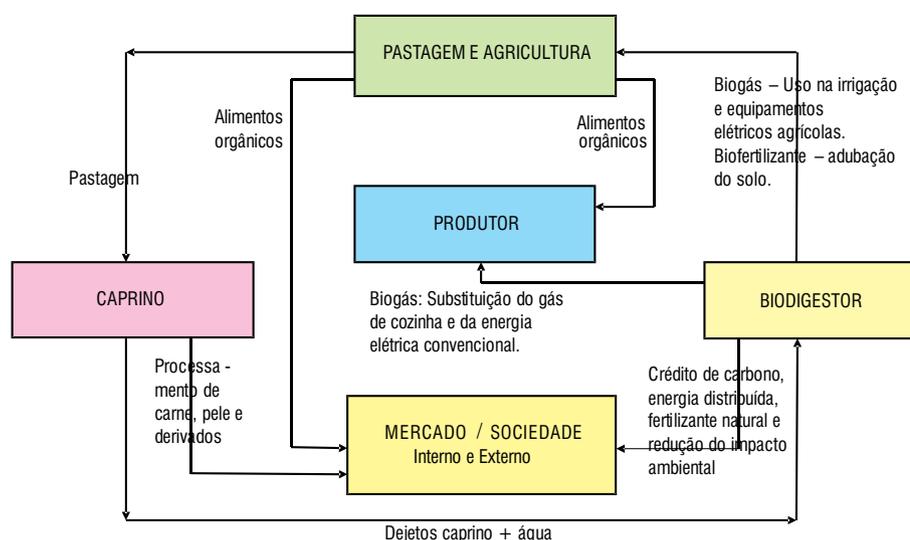


Figura 3 – Modelo Proposto do Uso do Biodigestor na Caprinocultura no Semiárido Baiano

Fonte: Haack (2009).

1983 apud COLDEBELLA, 2006). Ainda o estudo considerou o dado citado por Magalhães et al. (2004) em que o valor de conversão e eletricidade é de 5,5 kWh/m³ de biogás.

As informações referentes ao consumo de eletricidade tratam que 80% dos municípios possuem menos de 20% de unidades rurais com acesso a energia elétrica. Destacam-se os piores índices nos municípios de Campo Alegre de Lourdes, Canudos, Filadélfia, Jussara, Pilão Arcado, Remanso e Sento Sé, com menos de 5% de unidades atendidas. Tratando-se da energia elétrica fornecida, as unidades rurais de 26 municípios consomem menos de 20% do total. Apenas municípios de Anagé, Barreiras, Bom Jesus da Lapa, Casa Nova, Curaçá, Ponto Novo, Sento Sé e Sobradinho possuem consumo superior a 30% (COMPANHIA ELÉTRICA, 2009). Considerando o consumo de eletricidade por unidade rural e a eletricidade gerada pelo biogás, segundo a média de caprinos por unidade rural dos municípios estudados, nota-se que o uso do biogás como fonte alternativa de energia elétrica, atenderia em mais de 70% dessas unidades. As exceções ficariam para os municípios de Casa Nova, Curaçá, Remanso, Sento Sé, Paulo Afonso, Sobradinho, Bom Jesus da Lapa, Feira de Santana, Ponto Novo e Barreiras, nos quais o biodigestor serviria como fonte complementar para geração de eletricidade. Quadros et al. (2009b) apontam a geração de energia elétrica via biodigestor como uma boa opção para as comunidades rurais.

Tratando-se do modelo de biodigestor canadense ou da marinha (biodigestor de manta de PVC flexível), o método mais prático para o dimensionamento baseia-se no volume de geração de biogás, ou seja, o produto entre a carga diária de dejetos produzidos e o tempo de retenção (WINROCK, 2008). A Tabela 1 apresenta a quantidade de caprinos associada aos respectivos volumes de geração do biogás e ao total de recursos investidos. Baseado nesses valores é possível analisar a viabilidade dos investimentos a serem realizados.

O custo do motor gerador por quantidade de cabeça foi estimado, segundo a capacidade do motor gerador necessária para a energia gerada por dejetos produzidos. Considerou-se o tempo de operação do motor de 3.650 horas/ano em todas as situações.

De acordo com os valores de concentração dos macronutrientes apresentados por Quadros et al. (2009b) na realização dos cálculos de conversão do biofertilizante, tem-se que 150 caprinos que geram 375 l/dia de biofertilizante e que o cálculo de conversão do biogás em crédito de carbono (redução de CO₂ equivalente), baseado nos parâmetros abordados por Quadros et al. (2009a) apontaram que 150 animais produzem anualmente aproximadamente 1.669,9 m³ de biogás, gerando 87 toneladas de dióxido de carbono equivalente anualmente, ou seja, 87 créditos de carbono.

Tabela 1 – Custo de Implantação de Biodigestores

Rebanho	VB volume biodigestor	Área total do Biodigestor	Custo de implan-tação do biodigestor	Custo de implan-tação do biodigestor + gerador
Cabeças	m3 (1)	m2 (1)	R\$	R\$
50	5,60	59	4.279,00	4.779,00
100	11,30	83	5.985,00	7.285,00
150	16,90	108	7.889,00	10.389,00
200	22,50	132	9.861,00	13.861,00
250	28,10	157	11.666,00	17.366,00
300	33,80	181	13.470,00	20.970,00
350	39,40	206	15.275,00	25.275,00
400	45,00	230	17.079,00	29.579,00

Fonte: Elaboração própria dos autores.

Nota: (1) valores estimados para 2013, a partir da tabela de dados da Winrock - Manual de Biodigestor, 2008.

3.2.2 – Indicadores técnicos para o cálculo de viabilidade econômica e financeira

Nos cálculos realizados neste trabalho, tomaram-se como parâmetros os estudos realizados por Haack (2009), os custos de capital (custo total de implantação do biodigestor), a taxa de juros de financiamento⁵ (5% a.a.), o tempo de vida útil do equipamento (10 anos), os custos de operação e manutenção (4% do investimento), os gastos com água, e os custos com a mão de obra. Para a mão de obra, considerou-se que 70% são empregados em atividades fixas e 30% em atividades que vão aumentando proporcionalmente ao tamanho do rebanho. O custo de capital anual levou em consideração uma depreciação linear ao longo do período. Além disso, foi aplicada sobre o fluxo de caixa, uma taxa de correção monetária média de 4,5% a.a., decorrente da desvalorização pela inflação. Para a realização das análises (B/C, VPL, TIR e payback), tomaram-se como base dez situações decorrentes do uso dos produtos gerados pelo biodigestor como bens substitutos, dentre eles: situação I – substituição do GLP (gás de cozinha para cocção); situação II – substituição da eletricidade convencional; situação III – substituição do GLP e da eletricidade convencional; situação IV – substituição do GLP e fertilizante convencional; situação V – substituição da eletricidade e fertilizante convencionais; situação VI – substituição do fertilizante; situação VII – substituição do GLP, eletricidade e fertilizante convencionais; situação VIII – Substituição do GLP, eletricidade, fertilizante e crédito de carbono; situação IX – substituição do GLP, fertilizante e crédito de carbono; situação X – substituição da eletricidade, fertilizante e crédito de carbono. Para os investimentos de implantação considerou-se: Investimento de Implantação 1 – Aquisição de Biodigestor, aplicado apenas na situação I; Investimento de Implantação 2 – Aquisição de Biodigestor e Moto-Gerador, aplicados nas situações II e III; Investimento de Implantação 3 – Aquisição de Biodigestor e Moto-bomba, aplicados nas situações IV, VI, e IX; Investimento de Implantação 4 – Aquisição de Biodigestor, Moto-Gerador e Moto-bomba, aplicados nas situações V, VII, VIII e X.

⁵ Média aplicada pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) de 5% a.a., no período de 10 anos.

Os investimentos de implantação do biodigestor foram estimados através do Manual da Winrock (2008), sendo atualizados aos preços atuais. Os preços do moto-gerador e moto-bomba foram obtidos no mercado local. Para as situações que envolvem crédito de carbono (situação VIII, situação IX e situação X) foram acrescentados os custos de implantação do projeto MDL no valor de R\$160.000,00. Atribuiu-se também os preços dos bens substitutos como o botijão de gás de cozinha, energia elétrica convencional e fertilizante, assim como, da tarifa de água e mão de obra assalariada, valores médios de mercado. Para os cálculos financeiros, foram consideradas as taxas de financiamento, de acordo com os valores praticados para a agricultura familiar.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos 34 municípios estudados, 18 foram identificados com potencialidade para a implantação de biodigestores, dentre eles: Jeremoabo, Paulo Afonso, Anagé, Vitória da Conquista, Juazeiro, Sento Sé, Remanso, Campo Alegre de Lourdes, Curaçá, Pilão Arcado, Antônio Gonçalves, Senhor do Bonfim, Filadélfia, Jussara, Oliveira dos Brejinhos, Barra, Bom Jesus da Lapa e Sobradinho. Destacam-se os municípios de Juazeiro, Curaçá, Barra, Sento Sé, Remanso, Campo Alegre de Lourdes e Pilão Arcado, por possuírem um rebanho superior a 40% entre os municípios estudados e, por contarem com a disponibilidade das águas do Rio São Francisco (Figura 4).

A análise da capacidade de substituição do gás de cozinha (GPL) para cocção de alimentos encontra-se na Tabela 2, onde se observa ganho desta geração em substituição ao uso do gás de cozinha convencional por tamanho de rebanho. Para o consumo considerado de um botijão de gás/mês para uma família composta por 4 a 5 pessoas, verifica-se viabilidade a partir de 50 cabeças.

Os dados da geração da energia elétrica via biodigestor mostram viabilidade na substituição, a partir de 50 animais, considerando um consumo médio familiar de 255 kWh/mês, que é suficiente para o uso em aparelhos e na iluminação, substituindo, principalmente o uso de querosene para acender lâmpadas, carvão, lenha e as baterias para rádios.

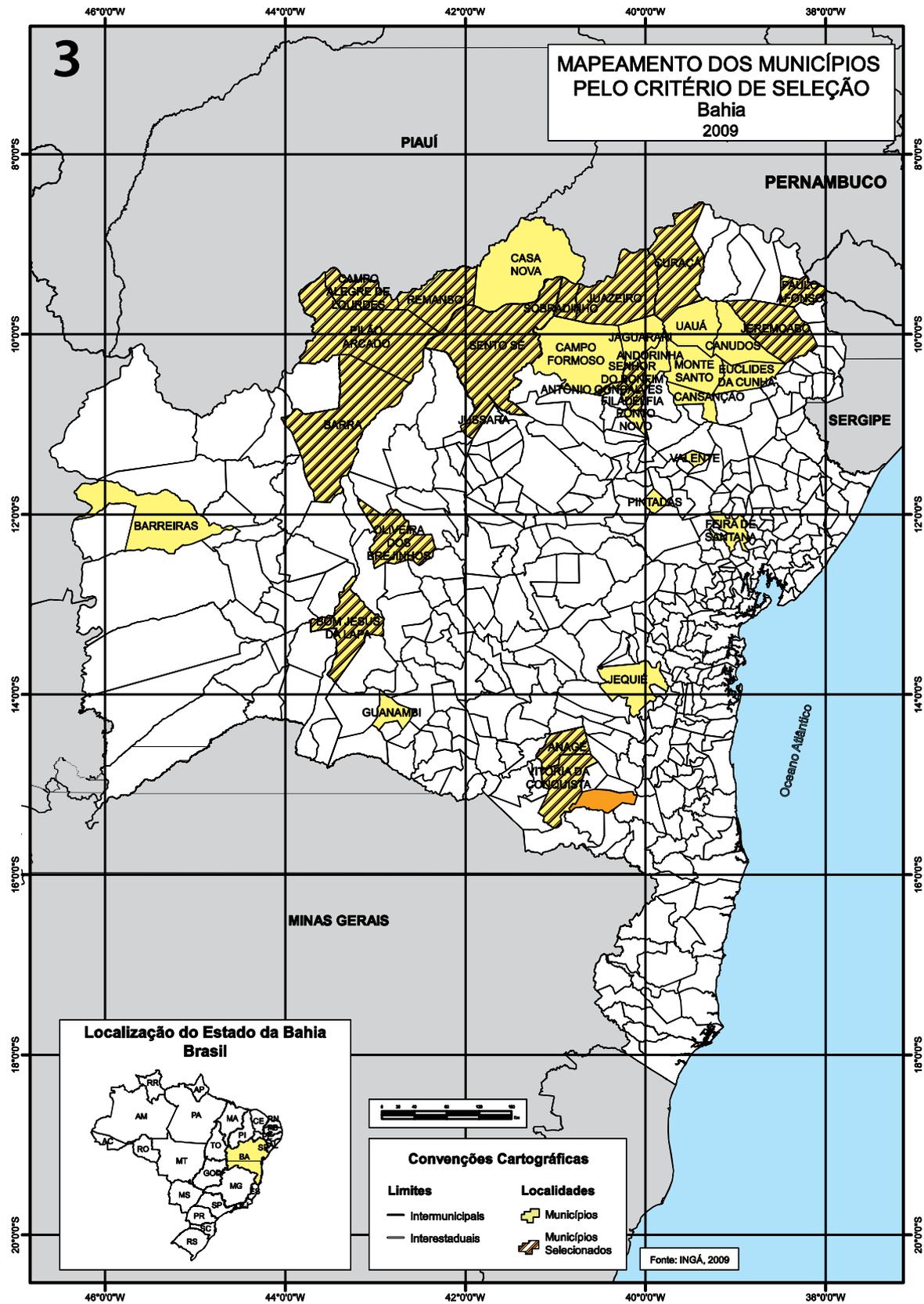


Figura 4 – Municípios com Potencialidade para a Implantação de Biodigestores no Semiárido Baiano

Fonte: Haack (2009).

Tabela 2 – Ganho do Biogás em Substituição ao GLP, Ano

Quantidade de caprinos	Biogás gerado	Botijão de GLP substituídos	Ganho na substituição do GLP
Cabeças	m ³ biogás/ano	Unidade/ano	R\$/ano
50	557	16,9	675,00
100	1.113	33,7	1.349,00
150	1.670	50,6	2.024,00
200	2.227	67,5	2.699,00
250	2.783	84,3	3.374,00
300	3.340	101,2	4.048,00
350	3.896	118,1	4.723,00
400	4.453	134,9	5.398,00

Fonte: Elaboração própria dos autores.

Tabela 3 – Ganho do Biogás em Substituição do GLP e Energia Gerada

Caprinos	Biogás produzido	Consumo de biogás como GLP (1)	Saldo de biogás para uso em eletricidade	Eletricidade gerada com o saldo de biogás	Ganhos com o uso de biogás		
					GLP	Eletricidade	Total
cabeças	m ³ /ano	m ³ /ano	m ³ /ano	kWh/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano
50	557	401,5	155	853	480,00	341,22	821,22
100	1.113	401,5	712	3.915	480,00	2.113,90	2.593,90
150	1.670	401,5	1.268	6.976	480,00	3.767,15	4.247,15
200	2.227	401,5	1.825	10.038	480,00	5.420,25	5.900,25
250	2.783	401,5	2.382	13.099	480,00	7.073,44	7.553,44
300	3.340	401,5	2.938	16.160	480,00	8.726,60	9.206,60
350	3.896	401,5	3.495	19.222	480,00	10.379,79	10.859,79
400	4.453	401,5	4.052	22.283	480,00	12.032,96	12.512,96

Fonte: Elaboração própria dos autores.

Nota: (1) Considera-se em todos os casos o consumo de 1 botijão/mês-família.

A Tabela 3 apresenta os ganhos da substituição combinada do gás de cozinha (GLP) e da energia elétrica por unidades com 50 a 400 cabeças de caprinos. Nota-se que uma unidade com 50 cabeças atende totalmente o consumo de GLP e parcialmente a demanda de energia elétrica. A partir de 100 cabeças a demanda de energia é atendida por completo.

No Programa “Luz para Todos”, até o ano de 2012, foram investidos, nestes 34 municípios, cerca de R\$560 milhões para atendimento de 942.130 pontos de energia elétrica (COMPANHIA ELÉTRICA..., 2012), ou seja, um investimento médio por unidade energizadas de aproximadamente R\$ 5.950,55. Considerando-se

que o investimento para a implantação do biodigestor e moto-gerador é de aproximadamente R\$ 4.779,00 por unidade (para 50 cabeças de animais), pode-se inferir que a implantação de biodigestores representa custo de cerca de 20% abaixo do investimento aplicado para o sistema convencional.

Ressalta-se que para os municípios de Casa Nova, Curaçá, Bom Jesus da Lapa, Ponto Novo e Barreiras em que o consumo médio de energia é superior a essa média, vale a realização do investimento de implantação de biodigestor, como fonte complementar de geração de energia, conforme anteriormente mencionado.

A análise de viabilidade do uso de biofertilizante como substituto do fertilizante convencional foi realizada através da quantificação dos efluentes gerados pelo biodigestor e da sua capacidade na utilização em áreas de pastagens e de cultivo de culturas. A substituição do nitrogênio (ureia), fósforo (superfosfato simples) e potássio (cloreto de potássio) pelo biofertilizante gera um ganho ao produtor que pode ser observado na Tabela 4, calculado de acordo com os teores de NPK do biofertilizante gerados nos biodigestores.

Observam-se ganhos significativos, o que permite validar o seu uso como substituto do fertilizante convencional. Além de garantir autonomia do produtor quanto ao uso dos fatores de produção externos a sua unidade produtiva.

Quanto ao custo do biogás, os resultados mostraram a influência do fator de escala. Ainda, a incorporação dos ganhos gerados pelo biofertilizante propicia uma redução significativa desses custos, com mão de obra inclusa ou não, e, conseqüentemente, uma redução nos custos da energia elétrica gerada, o que permite validar a importância desse efluente para viabilizar o biogás como fonte de energia elétrica. A Tabela 5 apresenta os custos da geração de biogás e da conversão em custos de energia elétrica, incluídos, os ganhos gerados com o biofertilizante.

Os custos do biogás e da eletricidade gerada, sem incorporação da mão de obra, apresentaram valores desprezíveis para qualquer tamanho de rebanho. Isso significa que os ganhos gerados pelo biofertilizante absorvem os custos gerados pela implantação e operacionalização do biodigestor. Já os custos do biogás, com mão de obra incorporada, apresentaram valores que vão de R\$ 3,94 para 50 animais, até R\$1,13 para 400 animais. Já os custos da eletricidade gerada apresentaram valores que se iniciam em R\$ 0,72, para 50 animais, e chegam a R\$0,21, para 400 animais. Percebe-se ainda que o custo dessa energia elétrica encontra-se abaixo do preço da tarifa convencional (R\$0,54) a partir de unidades com 100 animais. Apesar dos rebanhos menores que 100 animais apresentarem custos superiores, não significa que a geração de energia elétrica a partir do biogás seja inviável, pois nesse caso, outros fatores devem ser levados em consideração, a exemplo, da redução do impacto ambiental, das melhorias das condições de higiene para os animais e as pessoas, das facilidades de acesso ao gás para cocção. Além da redução de gastos com investimento de instalação da rede convencional de energia elétrica.

Outra possibilidade de receita oriunda do uso do biodigestor é a comercialização de créditos de carbono. Cada tonelada de dióxido de carbono pode ser

Tabela 4 – Ganho de Substituição do Fertilizante Convencional pelo Biofertilizante

Caprinos	Qtd carga dejeito	Produção de biofertilizante	Produção de fertilizantes equivalentes (kg/ano)			Total de ganho
			N	P	K	
cabeca	kg /ano	l chorume/ano	N	P	K	R\$/ano
50	9.125	36.500	63	17,7	203	512,00
100	18.250	73.000	127	35,4	406	1.023,00
150	27.375	109.500	190	53,1	609	1.535,00
200	36.500	146.000	254	70,8	812	2.046,00
250	45.625	182.500	317	88,5	1.015	2.559,00
300	54.750	219.000	380	106,0	1.217	3.068,00
350	63.875	255.500	444	124,0	1.420	3.580,00
400	73.000	292.000	507	142,0	1.623	4.092,00

Fonte: Elaboração própria dos autores.

Notas: Considerou-se o preço do fertilizante convencional de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio os valores cotados em fev/2012 de R\$0,92, R\$0,96 e R\$2,15 /kg, respectivamente.

Tabela 5 – Custos da Produção de Biogás e Energia Elétrica Considerando os Ganhos em Biofertilizante

Caprinos	Biogás gerado	Energia elétrica gerada c/ o biogás	Custo Total		Ganhos com biofertilizante	Custo de geração do biogás		Custo de geração de eletricidade	
			semM.Obra	comM.Obra		semM.Obra	comM.Obra	semM.Obra	comM.Obra
Cabeças	m3/ano	kWh/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/m3	R\$/m3	R\$/kWh	R\$/kWh
50	557	3.065	639,00	2.707,00	512,00	0,23	3,94	0,04	0,72
100	1.113	6.120	917,00	3.606,00	1.023,00	-0,09	2,32	-0,02	0,42
150	1.670	9.188	1.224,00	4.533,00	1.535,00	-0,19	1,80	-0,03	0,33
200	2.227	12.249	1.540,00	5.469,00	2.046,00	-0,23	1,54	-0,04	0,28
250	2.783	15.304	1.832,00	6.383,00	2.559,00	-0,26	1,37	-0,05	0,25
300	3.340	18.371	2.125,00	7.295,00	3.068,00	-0,28	1,27	-0,05	0,23
350	3.896	21.427	2.417,00	8.208,00	3.580,00	-0,30	1,19	-0,05	0,22
400	4.453	24.488	2.709,00	9.121,00	4.092,00	-0,31	1,13	-0,06	0,21

Fonte: Elaboração própria dos autores.

comercializada ao valor de 12,98 euros. Na conversão, utiliza-se como base a produção de metano. Para cada tonelada de dióxido de carbono são necessárias 64,9 m³ de metano. Convertendo em toneladas de dióxido de carbono, no caso de 150 animais, tem-se 87 toneladas. Se forem comercializadas a 12,98 euros cada, totalizam-se 1.129,00 euros totais. Considerando cotação de R\$ 2,49 por euro, têm-se R\$ 2.784,00 de ganho anual. A Tabela 6 mostra os resultados dessa conversão.

Salienta-se que, apesar dos ganhos gerados é importante verificar sua viabilidade quando incorporado os investimentos necessários para a

adesão ao mercado de crédito de carbono, que são significativamente altos. Para projetos de pequena escala, ligados ao setor agropecuário, os custos estão próximos a R\$ 160.000,00, extremamente elevados para uma unidade rural familiar. Neste caso, uma política de promoção do uso de energia limpa teria também como estratégia, viabilizar a adesão destas unidades ao mercado de crédito de carbono.

Para a realização dos cálculos dos benefícios, tomou-se como base o somatório dos ganhos gerados pelo biodigestor na substituição do gás de cozinha, da eletricidade convencional, e do fertilizante, além de crédito de carbono, considerando as dez

Tabela 6 – Ganho em Crédito de Carbono

Quantidade de Caprino	Biogás Gerado	Produção de Metano	Redução de CO ₂ eq	Preço do Crédito de Carbono	Ganho com Crédito de Carbono
Unid.	m ³ /ano	Kg/ano	t/ano	1t/CO ₂ eq	R\$/ano
50	556,6	313,2	29	32	928,00
100	1.113,25	626,3	58	32	1.856,00
150	1.669,90	939,5	87	32	2.784,00
200	2.226,50	1.252,60	116	32	3.712,00
250	2.783,13	1.565,79	145	32	4.640,00
300	3.339,75	1.878,94	174	32	5.568,00
350	3.896,38	2.192,10	203	32	6.496,00
400	4.453,00	2.505,26	232	32	7.424,00

Fonte: Elaboração própria dos autores.

situações decorrentes do uso dos produtos gerados pelo biodigestor como bens substitutos, situação I – substituição do GLP (gás de cozinha para cocção); situação II – substituição da eletricidade convencional; situação III – substituição do GLP e da eletricidade convencional; situação IV – substituição do GLP e fertilizante convencional; situação V – substituição da eletricidade e fertilizante convencionais; situação VI – substituição do fertilizante; situação VII – substituição do GLP, eletricidade e fertilizante convencionais; situação VIII – Substituição do GLP, eletricidade, fertilizante e crédito de carbono; situação IX – substituição do GLP, fertilizante e crédito de carbono; situação X – substituição da eletricidade, fertilizante e crédito de carbono. Sabe-se que, quando não é incorporada a mão de obra, para todos os tamanhos de rebanhos analisados, os benefícios são sempre maiores que os custos (relação benefício/custo maior que 1), exceto na condição que inclui créditos de carbono em que o benefício apenas aparece a partir de 300 unidades de rebanho.

A situação V, onde todo o biogás é usado para gerar eletricidade e há aproveitamento do biofertilizante, apresenta-se com a maior relação de benefício/custo. O mesmo acontece com a situação VII (substituição do gás de cozinha, eletricidade e fertilizante), a partir de 100 unidades de rebanho. Com a incorporação da mão de obra, a viabilidade da implantação de um biodigestor fica comprometida em muitas das situações, como apresenta a Tabela 8. Aquelas que incluem a venda de créditos de carbono, com a incorporação dos custos reais de adesão ao mercado de carbonotornaram-se desfavoráveis. As situações V e VII, que sempre mostram os melhores resultados, apenas a partir de rebanhos com 100 cabeças apresentam um balanço de benefício versus custo, levemente positivos.

Dessa forma, entende-se que o biofertilizante, como substituto dos fertilizantes convencionais, mostrou-se determinante para a viabilidade da implantação de um biodigestor. Tratando-se sobre o crédito de carbono, se não fossem incorporados os custos de adesão a esse mercado, os benefícios seriam vistos praticamente em todos os casos. Isso permite constatar tais ganhos nos casos de políticas voltadas para a promoção da geração de energia limpa, em que os custos de adesão ao mercado de carbono seriam absorvidos em prol da

minimização dos impactos ambientais e melhoria da qualidade de vida da população rural (Tabela 7).

Para a determinação dos valores de VPL, TIR e *payback*, foram elaborados os fluxos de caixa operacionais⁶ que mostram o saldo entre os benefícios e os custos, por sua vez, representados pelos custos de implantação, operacionais (mão de obra e água) e de O & M (operação e manutenção). Apesar de a depreciação constar nos cálculos, ela não foi incluída nos custos totais, por não implicar em desembolso, não afetando, portanto, o saldo do fluxo operacional. A partir dos saldos de fluxo operacional foram calculados o VPL, a TIR e o *payback*. Os resultados foram tabulados, em função de: tamanho do rebanho (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400), dos ganhos e dos investimentos de implantação.

Desconsiderando-se os custos de mão de obra de implantação do biodigestor, os valores encontrados evidenciam viabilidade praticamente em todas as situações entre I a VII, ou seja, situação I – substituição do GLP (gás de cozinha para cocção); situação II – substituição da eletricidade convencional; situação III – substituição do GLP e da eletricidade convencional; situação IV – substituição do GLP e fertilizante convencional; situação V – substituição da eletricidade e fertilizante convencionais; situação VI – substituição do fertilizante; situação VII – substituição do GLP, eletricidade e fertilizante convencionais. A inviabilidade é vista apenas na condição do uso do biodigestor apenas para a substituição do fertilizante (para 50 cabeças) e da substituição do GLP e fertilizante (para 50 e 100 cabeças). Além disso, as situações em que incluem crédito de carbono, como houve incorporação dos custos de adesão, também não apresentam viáveis.

A totalidade dos resultados sobre todos os tamanhos de rebanho se apresenta para os VPLs positivos, TIRs superiores à taxa de atratividade do mercado (5% a.a). As TIRs variaram entre 6% a.a. e 50% a.a. O destaque está na condição da implantação do biodigestor para o uso do GLP e do biofertilizante,

⁶ Neste trabalho considera-se o fluxo caixa operacional igual do fluxo de caixa livre. Juros e amortizações de dívidas, não são considerados na projeção de ganhos.

Tabela 7 – Análise de Benefício x Custo (Com Mão de Obra)

Benefício Biodigestor Relação Benefício X Custo	Benefício Biodigestor									
	50 CAPRINOS	100 CAPRINOS	150 CAPRINOS	200 CAPRINOS	250 CAPRINOS	300 CAPRINOS	350 CAPRINOS	400 CAPRINOS		
SITUAÇÃO I	1,06	1,47	1,65	1,75	1,84	1,91	1,92	1,99		
SITUAÇÃO II	1,92	3,60	4,05	4,30	4,51	4,67	4,71	4,88		
SITUAÇÃO III	1,29	2,83	3,47	3,83	4,12	4,33	4,42	4,62		
SITUAÇÃO IV	1,86	2,59	2,91	3,08	3,24	3,35	3,38	3,50		
SITUAÇÃO V	2,72	4,72	5,31	5,62	5,91	6,11	6,17	6,39		
SITUAÇÃO VI	0,80	1,12	1,25	1,33	1,40	1,44	1,46	1,51		
SITUAÇÃO VII	2,09	3,94	4,72	5,16	5,52	5,78	5,88	6,13		
SITUAÇÃO VIII	0,14	0,32	0,50	0,66	0,83	0,98	1,13	1,28		
SITUAÇÃO IX	0,13	0,25	0,37	0,48	0,59	0,70	0,80	0,90		
SITUAÇÃO X	0,16	0,37	0,54	0,71	0,87	1,02	1,17	1,32		

Fonte: Elaboração própria dos autores.

Tabela 8 – Análise de Benefício x Custo (Sem Mão de Obra)

Benefício Biodigestor Relação Benefício X Custo	Benefício Biodigestor									
	50 CAPRINOS	100 CAPRINOS	150 CAPRINOS	200 CAPRINOS	250 CAPRINOS	300 CAPRINOS	350 CAPRINOS	400 CAPRINOS		
SITUAÇÃO I	0,25	0,37	0,45	0,49	0,53	0,55	0,58	0,59		
SITUAÇÃO II	0,45	0,92	1,09	1,21	1,30	1,36	1,41	1,45		
SITUAÇÃO III	0,30	0,72	0,94	1,08	1,18	1,26	1,32	1,37		
SITUAÇÃO IV	0,44	0,66	0,79	0,87	0,93	0,98	1,01	1,04		
SITUAÇÃO V	0,64	1,20	1,43	1,58	1,70	1,78	1,85	1,90		
SITUAÇÃO VI	0,19	0,28	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45		
SITUAÇÃO VII	0,49	1,00	1,28	1,45	1,58	1,68	1,76	1,82		
SITUAÇÃO VIII	0,12	0,28	0,42	0,54	0,66	0,77	0,86	0,96		
SITUAÇÃO IX	0,11	0,22	0,31	0,39	0,47	0,54	0,61	0,67		
SITUAÇÃO X	0,14	0,32	0,45	0,58	0,69	0,80	0,89	0,98		

Fonte: Elaboração própria dos autores.

com valores entre 30% a.a. e 50% a.a. Os valores do VPL positivo variaram entre R\$ 3.619,00 (no uso do biodigestor para substituição apenas do GLP para 100 cabeças),

a R\$ 104.250,00 (no uso do biodigestor para substituição da eletricidade e fertilizante na condição de 400 cabeças). Ressalta-se que os maiores valores do VPL estão a partir de 100 a 400 cabeças, na **situação V**, substituição da eletricidade convencional e fertilizante, e na **situação VII**, substituição do GLP, eletricidade e fertilizante. Ambas as situações (V e VII), o *payback* variaram entre 3 a 4 anos. Considerando a implantação de biodigestor para uma unidade familiar de 50 cabeças de caprino, o maior período de retorno (*payback*), pode aproximar-se ao período de vida útil do biodigestor de dez anos para o uso do biodigestor na substituição do GLP, eletricidade e fertilizante, e o menor período de quatro anos, ao uso do biodigestor apenas para substituição da eletricidade. No caso de 100 cabeças, o maior período de retorno do investimento é de aproximadamente sete anos para a condição do uso do biodigestor na substituição apenas do GLP. De 150 até 400 cabeças, o maior *payback*, entre seis a oito anos, fica para o uso do biodigestor na substituição de apenas do fertilizante. No caso do menor tempo de retorno, o destaque vai para a condição do uso do biodigestor na substituição do GLP e eletricidade que é de aproximadamente de dois anos a partir de 100 cabeças. Para as condições que incluem o uso do crédito de carbono, considerando a mesma situação anterior, apenas a condição do uso combinado de GPL, eletricidade e fertilizante, a partir de 400 cabeças, se apresenta como viável (Tabela 9).

Tratando-se dos cálculos realizados sobre o fluxo de caixa operacional com mão de obra incorporada, como apresenta a Tabela 10, nota-se em sua maioria a inviabilidade de implantação (VPL negativo). Apenas a partir de 150 caprinos, na opção de uso do biogás em substituição à eletricidade e no uso combinado para a substituição da eletricidade e fertilizante é que se tornam viáveis. Já a condição de substituição do GLP e da eletricidade torna-se viável somente a partir de 250 cabeças. Para o uso do GLP, eletricidade e biofertilizante a viabilidade inicia-se a partir de 200 caprinos. Os resultados sobre as taxas positivas de

TIR variaram entre 7% a 20%. Os valores positivos de VPL variaram entre R\$ 939,00 (para 150 cabeças) a R\$ 44.477,00 (para 400 cabeças). O *payback* calculado ficou entre cinco a dez anos. Observa-se nesse caso, que os maiores VPLs positivos estão na condição do uso do biodigestor para eletricidade e a produção de biofertilizante (situação V). Em seguida, o uso do biodigestor para uso do GLP, eletricidade e biofertilizante (situação VII).

Agora, considerando um aumento na taxa de financiamento que passa para 7,5%, os resultados se assemelham a análise anterior. Na condição de não incorporação da mão de obra, observa-se viabilidade para a maioria das situações, sendo para 50 unidades de rebanho, apenas foram viáveis as situações II - substituição da eletricidade convencional; III - substituição do GLP e da eletricidade convencional e IV - substituição do GLP e fertilizante convencional. Os resultados em sua maioria foram VPLs positivos e TIRs superiores à taxa de atratividade do mercado (7,5% a.a.). As TIRs variaram entre 8% a.a. e 50% a.a. O destaque está na situação do uso combinado do GLP e biofertilizante, com valores entre 30% a.a. e 50% a.a. Os valores do VPLs variaram entre R\$ 3.548,00 (uso do biodigestor na substituição da eletricidade para 50 cabeças) a R\$ 86.214,00 (uso do biodigestor na substituição da eletricidade e fertilizante para 400 cabeças). Ressalta-se que os maiores valores do VPL estão entre 100 a 400 cabeças, na situação V - substituição da eletricidade convencional e fertilizante, assim como a situação VII - substituição do GLP, eletricidade e fertilizante. Os *paybacks* variaram entre 3 a 4 anos. O menor período de retorno (*payback*) para o rebanho de 50 unidades foi de quatro anos, ao uso do biodigestor para substituição da eletricidade convencional. No caso de 100 cabeças, o maior período de retorno do investimento foi de aproximadamente sete anos, para o uso na substituição apenas do GLP. De 150 até 400 cabeças, o maior *payback* de seis anos fica para o uso do biodigestor na substituição de apenas do fertilizante. No caso do menor tempo de retorno, o destaque vai para a condição do uso do biodigestor na substituição do GLP e eletricidade que é de aproximadamente de dois anos para 100 cabeças. Na condição de mão de obra incorporada, os resultados ainda continuam

parecidos, ou seja, observou-se em sua maioria inviabilidade de implantação (VPL negativo). Apenas a partir de 150 caprinos, na opção de uso do biogás em substituição da eletricidade e do fertilizante é que a viabilidade aparece. Já a condição de substituição do GLP e da eletricidade torna-se viável somente a partir de 250 cabeças. Para o uso do GLP, eletricidade e biofertilizante a viabilidade inicia-se a partir de 200 caprinos. Os resultados sobre as taxas positivas de TIR variaram entre 11% a 20%. Os valores positivos de VPL variaram entre R\$ 3.117,00 (para 150 cabeças) a R\$ 33.528,00 (para 400 cabeças). O payback calculado ficou entre cinco a sete anos. Observa-se nesse caso, que os maiores VPLs positivos estão na condição do uso do biodigestor para eletricidade e a produção de biofertilizante. Em seguida o uso do biodigestor para uso do GLP, eletricidade e biofertilizante.

No caso de uma redução sobre a taxa de financiamento para 1% têm-se também viabilidade na maioria (para a condição de mão de obra inclusa), sendo nas situações que incorpora os investimentos em créditos de carbono, a partir de 300 unidades de rebanho. Os resultados foram VPLs positivos, TIRs superiores à taxa de atratividade do mercado. As TIRs variaram entre 1% a.a. a 50% a.a. Os valores do VPL positivo variaram entre R\$ 2.261,00 (no uso do biodigestor para substituição do GLP, eletricidade, biofertilizante e crédito de carbono), a R\$ 141.359,00 (no uso do biodigestor para substituição da eletricidade e fertilizante na condição de 400 cabeças). Os paybacks variaram entre 2 a 10 anos. O maior período de retorno está para o uso do biodigestor na substituição do GLP, eletricidade, biofertilizante e crédito de carbono (300 unidades de rebanho), já menor período para substituição de GLP e eletricidade (100 unidades de rebanho). Para a condição de mão de obra inclusa, a viabilidade é observada a partir de 150 caprinos, nas opções de uso do biogás em substituição à eletricidade, no uso combinado para a substituição da eletricidade e fertilizante e na substituição da GLP eletricidade e fertilizante. Já a condição de substituição do GLP e da eletricidade torna-se viável somente a partir de 200 cabeças. Os resultados sobre as taxas positivas de TIR variaram entre 3% a 20%. Os valores positivos de VPL variaram entre R\$ 2.570,00 (para 200 cabeças) a R\$ 67.000,00 (para 400 cabeças).

Observa-se nesse caso, que os maiores VPLs positivos ainda estão na condição do uso do biodigestor para eletricidade e a produção de biofertilizante (situação V), em seguida o uso do biodigestor para uso do GLP, eletricidade e biofertilizante (situação VII).

5 – CONCLUSÃO

Os estudos revelaram que mais da metade dos municípios estudados possuem potencial para implantação dos biodigestores, e em sua maioria, estão localizados próximos ao Rio São Francisco. A média de rebanho caprino por estabelecimentos rurais que variam entre 50 a 500 cabeças por unidade rural, e os estudos de viabilidade técnica e econômica, mostraram viabilidade de implantação principalmente dos casos onde não há incorporação de mão de obra, característica presente na agricultura camponesa criadora de caprinos no semiárido baiano. Contudo, é importante a sua inclusão, pois ela existe e deve ser remunerada. Ainda é válido apontar que comparado aos resultados encontrados na relação benefício e custo (B/C) e na viabilidade financeira, nota-se que, dentre os valores mais significativos, estão a condição de eletricidade-biofertilizante e GLP-eletricidade-biofertilizante, tanto quando há incorporação ou não da mão de obra. Isso significa que ganhos gerados pelo biofertilizante absorvem os custos gerados pela implantação e operacionalização do biodigestor. Por outro lado, visualizou-se inviabilidade de implantação praticamente em todos os tamanhos de rebanho nas situações em que se incluem os ganhos com o crédito de carbono com incorporação de mão de obra, uma vez que foram considerados valores monetários relacionados à adesão ao mercado de carbono. No caso de desconsiderá-los, tais resultados tornar-se-iam viáveis na maioria. Quando não há a inclusão da mão de obra, apenas para 400 unidades de rebanho na situação VIII, uso combinado GLP, eletricidade, fertilizante e crédito de carbono, e da situação X, uso combinado de eletricidade, fertilizante e crédito de carbono, são viáveis. Nesse caso, conclui-se que para a implantação de biodigestores em pequenas unidades rurais do semiárido baiano, com vistas à comercialização dos créditos de carbono, a participação pública é de suma importância, uma vez que tais custos de adesão a esse mercado deverão

Tabela 9 – Viabilidade Financeira – VPL, TIR e Payback Sem Incorporação da Mão de Obra

Rebanho de caprino (cabeça)	SITUAÇÃO I Substituição do GLP			SITUAÇÃO II Substituição de eletricidade			SITUAÇÃO III Substituição de GLP e eletricidade			SITUAÇÃO IV Substituição de GLP e fertilizante		
	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback
	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos
50	45,00	05	9,10	4.669,00	21	4,00	910,00	08	8,63	11.957,00	30	3,30
100	3.619,00	15	6,92	20.565,00	44	2,43	13.923,00	33	1,62	20.032,00	36	1,93
150	6.926,00	19	5,73	31.790,00	47	2,58	25.150,00	39	2,13	28.013,00	40	2,22
200	10.138,00	21	4,13	42.626,00	47	2,59	35.983,00	41	2,27	36.233,00	44	2,42
250	13.579,00	23	4,44	53.486,00	47	2,59	46.285,00	42	2,34	44.422,00	46	2,56
300	17.018,00	25	4,64	64.252,00	47	2,58	57.608,00	43	2,38	52.266,00	48	2,65
350	20.089,00	25	4,74	73.941,00	45	2,50	67.300,00	42	2,32	60.853,00	50	2,73
400	23.903,00	26	4,89	84.378,00	44	2,45	77.734,00	42	2,29			

Rebanho de caprino (cabeça)	SITUAÇÃO V Substituição de eletricidade e fertilizante			SITUAÇÃO VI Substituição do fertilizante			SITUAÇÃO VII Substituição do GLP, eletricidade e fertilizante			SITUAÇÃO VIII Substituição do GLP, eletricidade, fertilizante e crédito de carbono			SITUAÇÃO IX Substituição GLP, fertilizante e crédito de carbono			SITUAÇÃO X Substituição de eletricidade, fertilizante e crédito de carbono			
	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	
	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	
50	3.958,00	12	7,83				200,00	05	10,2										
100	29.918,00	29	3,19				16.276,00	23	4,35										
150	37.008,00	33	3,6	1.164,00	07	8,16	30.369,00	28	3,15										
200	50.641,00	34	3,75	2.854,00	10	7,09	43.998,00	31	3,44										
250	64.475,00	36	3,86	4.784,00	12	7,76	57.833,00	33	3,62										
300	78.185,00	36	3,92	6.685,00	13	6,18	71.542,00	34	3,73										
350	90.842,00	36	3,9	8.238,00	14	6,39	84.201,00	34	3,74										
400	104.250,00	36	3,9	10.535,00	15	6,71	9.7605	34	3,76	6.814,00	06	9,32				13.458,00	06	9,62	

Fonte: Elaboração própria dos autores.

Tabela 10 – Viabilidade Financeira – VPL, TIR e Payback com Incorporação da Mão de Obra

Rebanho de caprino (cabeça)	SITUAÇÃO I Substituição do GLP			SITUAÇÃO II Substituição de eletricidade			SITUAÇÃO III Substituição de GLP e eletricidade			SITUAÇÃO IV Substituição de GLP e fertilizante		
	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback
	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos
50												
100												
150				939,00	07	9,85						
200				5.991,00	13	6,07						
250				11.067,00	16	6,95	4.425,00	10	7,07			
300				16.048,00	18	5,39	9.404,00	13	6,15			
350				19.952,00	18	5,47	13.311,00	14	6,50			
400				24.605,00	19	5,60	17.961,00	15	6,83	1.080,00	06	9,57

Rebanho de caprino (cabeça)	SITUAÇÃO V Substituição de eletricidade e fertilizante			SITUAÇÃO VI Substituição do fertilizante			SITUAÇÃO VII Substituição do GLP, eletricidade e fertilizante			SITUAÇÃO VIII Substituição do GLP, eletricidade, fertilizante e crédito de carbono			SITUAÇÃO IX Substituição GLP, fertilizante e crédito de carbono			SITUAÇÃO X Substituição de eletricidade, fertilizante e crédito de carbono			
	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	VPL	TIR	Payback	
	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	R\$	%	Anos	
50																			
100																			
150	6.157,00	11	7,45																
200	14.005,00	15	6,65				7.362,00	10	7,32										
250	22.055,00	17	5,28				15.413,00	14	6,47										
300	29.981,00	19	5,63				23.338,00	16	5,01										
350	36.854,00	19	5,75				30.213,00	17	5,26										
400	44.477,00	20	5,88				37.832,00	18	6,47										

Fonte: Elaboração própria dos autores.

ser absorvidos em prol das ações estratégicas de redução aos impactos ambientais, geração de energia e melhoria da qualidade de vida. Outro item a ressaltar é a verificação da oferta hídrica nos municípios que subsidiaram a identificação de problemas relacionados à carência desse recurso e, sendo, por conseguinte, um grave obstáculo na definição do local de instalação. Assim sendo, o estudo aponta a necessidade em observar a realidade apresentada, pois o uso do biodigestor somente funcionará de forma adequada se for possível garantir a qualidade e a disponibilidade da água. Para tanto, faz-se necessário preservar os recursos e ao mesmo tempo incorporar tecnologias adequadas para captação e manejo. Além disso, inserção do Estado em garantir políticas de investimentos para a implantação dessas alternativas tecnológicas. Por fim, outros benefícios econômicos ainda foram analisados, tais como o acesso à energia elétrica, a substituição do gás de cozinha, redução dos impactos ambientais, com substituição da lenha e das pilhas, e, por fim, a melhoria da qualidade de vida. Também é válido observar que para as comunidades, tais benefícios estão relacionados à oportunidade de uso de energia em localidades onde a eletricidade e o gás de cozinha convencional ainda são de difícil acesso, assim como a produção de biofertilizante que proporcionam o uso de fertilizante natural e a diminuição dos agentes patogênicos no pasto que contaminam o solo.

AGRADECIMENTOS

Manifestamos nossos sinceros agradecimentos a todo o corpo editorial desta revista. À orientador(a) pelo incentivo e apoio para a realização deste trabalho e também por toda a orientação acadêmica. Ao doutorando e marido Manuel Alpire Chavez pelos conhecimentos compartilhados no decorrer deste trabalho. A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do nosso trabalho. Agradecemos aos pareceristas que apreciaram e sugeriram melhoria dessa redação. Ressalvo que os eximo de quaisquer inconsistências ainda remanescentes no trabalho.

ABSTRACT

The government when is planning new investments has to face as decide the better conditions to apply them. For the energy sector of Bahia, the installations of the reactors of biogas in the region semiarid represents possibility of generation of energy with use waste. So, this paper examined the local characteristics and economic and financial viability of biogas implanting in the semi-arid region. The methodology compared the results of conversions of the modified caprine residues in biogas and biofertilizer, with the conventional products, such as, cooking gas, electricity and fertilizers, and the viability for the sale carbon credit. The analyses involved cost-benefit ratio, net present value, internal rate of return and payback in the different situations of the substitution of the Liquefied petroleum gas (LPG), electricity, fertilizer and sale of carbon credits. Based on the results obtained demonstrated viability in the medium livestock studied (50 to 400 caprines) to smallholder farmer when there aren't workforce costs. When there are workforce costs, just only starting from 150 caprines becomes viable. For the trade of the carbon credits, the viability is noticed between 300-400 caprines, at the rate of financing studied of 1% and 5%.

KEYWORDS

Biogas. Caprine. Energy. Economic and financial viability.

REFERÊNCIAS

CARITAS. **Levantamento de números de cisternas demandadas e existentes no semiárido baiano.** Salvador, 2009. (Dados fornecido por José Carlos).

CARVALHO, K. M. B.; SANTOS, G. B.; FERREIRA, P. **Energia solar fotovoltaica: uma opção para eletrificação rural no semiárido nordestino.** 2011. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia)-UNIFACS, 2011.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás de bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Centro de Ciências Exatas

e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Paraná, 2006. p. 1-17; p. 22-51.

COMPANHIA ELÉTRICA DO ESTADO DA BAHIA – COELBA. **Informativo sobre investimentos e unidades energizadas pelo Programa Luz para Todos**. Disponível em: <<http://www.coelba.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2009.

_____. **Informativo sobre investimentos e unidades energizadas pelo Programa Luz para Todos**. Disponível em: <<http://www.coelba.com.br>>. Acesso em: 22 fev. 2013a.

_____. **Levantamento de informações gerais, preços e tarifas de água**. Disponível em: <<http://www.coelba.com.br>>. Acesso em: 18 fev. 2013b.

HAACK, S.C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido baiano**. 2009. Dissertação (Mestrado em Economia)- Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Ciências Econômica, Salvador, 2009.

IBGE. **Mapa cartográfico hidroquímico**. Rio de Janeiro, 2003.

INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA BAHIA – INGÁ. **Programa de monitoramento da qualidade das águas do estado da Bahia**: rede de amostragem, resultados e considerações finais. Segunda campanha trimestral. Salvador, 2009.

MAGALHÃES, E. A.; SOUZA, S. N. M.; AFONSO, A. D. L.; RICIERI, R. P. **Confecção e avaliação de um sistema de remoção do CO2 contido no biogás**. Acta Scientiarum. 2004.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo no semiárido baiano: desafios para sustentabilidade. **Bahia Agríc.**, v.7, n.3, p. 50-60, nov. 2006.

QUADROS, D.G. et al. Análise econômica de biodigestores de PVC flexível para aproveitamento de dejetos da caprino – ovinocultura na agricultura familiar. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. 2009. Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF. 2009a. 1 CD-ROM.

_____. Produção de biogás e caracterização do biofertilizante usando dejetos de caprinos e ovinos

em biodigestor de PVC flexível. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. 2009. Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF. 2009b. 1 CD-ROM.

SECRETARIA DA AGRICULTURA DO ESTADO DA BAHIA. **Efetivo de rebanho caprino por município do estado da Bahia**. Salvador, 2007.

_____. **Levantamento de informações de oferta hídrica**: dados coletados em campo. Salvador, 2009a.

_____. **Relatório perfil municipal**: dados coletados em campo. Salvador, 2009b.

SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DA BAHIA. **Programa de fortalecimento da atividade empresarial**: plano de desenvolvimento de APL de caprinocultura da Bahia. Salvador, 2008. p. 2-6.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. **Levantamento de informações gerais, sócio e econômicas dos municípios estudados do semiárido baiano**. Salvador, 2008. Disponível em: <<http://www.sei.ba.gov.br>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

TOLMASQUIM. Mauricio Tiomno. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. Estudos Avançados, São Paulo, v.26, n.74, 2012.

_____. **Levantamento de informações gerais, sócio e econômicas dos municípios estudados do semiárido baiano**: mapa pluviométrico do estado da Bahia. 2003. Disponível em: <<http://www.sei.ba.gov.br>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

_____. **Levantamento de informações gerais, preços e tarifas de água**. Disponível em: <http://www.embasa.ba.gov.br/atendimento_informacoes/tarifas>. Acesso em: 18 fev. 2013.

WINROCK. **Manual de biodigestão**. WINROCK/ UNEB/EBDA. 2008. Disponível em: <<http://www.winrock.org.br.html>>. Acesso: 29 nov. 2009.

Recebido para publicação em 28/02/2013
Aceito em 15/06/2013