

Tratamento dos efluentes de usinas de biogás^{1,2}

Marcelo Miele³
Marcio Luis Busi da Silva⁴
Rodrigo da Silveira Nicoloso⁵
Juliano Corulli Corrêa⁶
Martha Mayumi Higarashi⁷
Airton Kunz⁸
Ari Jarbas Sandi⁹

Resumo – A geração de energias a partir do combustível biometano gerado pelo processo de biodigestão anaeróbia dos efluentes animais tem recebido especial atenção no Brasil como uma promissora fonte alternativa e sustentável de energia. Entretanto, persistem limitações técnicas e econômicas no processo, principalmente quanto à correta reciclagem dos efluentes. Este estudo prospectivo faz uma análise de viabilidade técnica e econômica de cinco alternativas disponíveis no mercado nacional para o correto tratamento e destinação dos efluentes gerados numa usina de biogás a ser instalada na região Sul. Os resultados obtidos a partir da estimativa do desempenho técnico e uso de insumos e fatores de produção e consequente valor presente líquido (VPL) para as tecnologias foram contabilizados de forma a estimar os respectivos impactos econômicos na usina central de biogás. As informações geradas podem servir de apoio ao setor de energia e à cadeia produtiva da suinocultura, bem como à formulação de políticas públicas para energias renováveis a partir do biogás.

Palavras-chave: agronegócio, biometano, custos, prospecção, viabilidade econômica.

Effluent wastewater treatment from biogas plants

Abstract – Biomethane production from the anaerobic digestion of animal wastes has regained popularity in Brazil and therefore is receiving especial attention lately. Biomethane is an alternative source of renewable energy that can contribute to local agribusiness economy whereas decreasing our dependency on petroleum. Therefore, large scale biogas plants have been considered to increase methane productivity to volumes that can make it commercially competitive. Despite the fact that biogas plants technologies are well established, little effort has been placed on how to treat the final wastewater adequately in order to maintain the sustainability of the process without

¹ Original recebido em 3/6/2014 e aprovado em 19/8/2014.

² Os autores agradecem ao Dr. Karsten Block a contribuição na caracterização dos efluentes e as informações sobre desempenho de alternativas tecnológicas analisadas e ao Dr. Riolando Cozzo a contribuição na caracterização da fábrica de fertilizantes fluidos.

³ Economista, D. Sc. em Agronegócio, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. E-mail: marcelo.miele@embrapa.br

⁴ Biólogo, Ph. D. em Engenharia Ambiental, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. E-mail: marcio.busi@embrapa.br

⁵ Engenheiro-agrônomo, D. Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. E-mail: rodrigo.nicoloso@embrapa.br

⁶ Engenheiro-agrônomo, D. Sc. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. E-mail: juliano.correa@embrapa.br

⁷ Química, D. Sc. em Química, pesquisadora da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. E-mail: martha.higarashi@embrapa.br

⁸ Químico Industrial, D. Sc. em Química, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. E-mail: airton.kunz@embrapa.br

⁹ Economista, B. Sc. em Gestão Financeira Empresarial, analista da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. E-mail: jarbas.sandi@embrapa.br

jeopardizing its economic feasibility. The aim of this case-study was to determine the economic impacts of five most conventional wastewater treatment approaches available at local market on a specific pilot-scale biogas plant designed to operate in Southern Brazil. The benefits and technical limitations of each wastewater treatment approach were taken into consideration during analyses. The economic analyses were estimated based on net present value (NPV). Overall, the information gathered in this case-study can serve as guidance to decision makers during the development of newer biogas plants. Moreover, the results can assist public policies towards the development of sustainable agribusiness that is capable of producing biomethane as promising and profitable source of renewable energy.

Keywords: agribusiness, biomethane, costs, prospecting, economic feasibility.

Introdução

A geração de energia a partir da produção de biogás com dejetos animais tem crescido no mundo e no Brasil (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2011; PLANO..., 2012), com grande potencial para gerar renda adicional e reduzir custos agropecuários e agroindustriais. Também é crescente o interesse de governos, instituições tecnológicas, empresas do setor de energia (eletricidade e gás), fornecedores de máquinas e equipamentos e serviços de consultoria técnica especializada. O biogás também surge como potencial solução para reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE) no agronegócio. Portanto, os projetos nessa área se alinham à agenda governamental brasileira para a mitigação dos efeitos da atividade agropecuária nas mudanças climáticas e se coloca como alternativa a iniciativas voltadas ao desenvolvimento rural sustentável, atraindo também o interesse de instituições com atuação local, caso das prefeituras municipais e das agências de assistência técnica e de extensão rural.

Embora o uso do biogás como fonte alternativa de energia não seja recente, ainda persistem limitações técnicas e econômicas no processo, sobretudo no que se refere à correta destinação do efluente final. Ainda que sejam convencionalmente considerados fonte sustentável de fertilizantes, os efluentes podem comprometer a qualidade de recursos hídricos em regiões com elevada concentração de rebanhos e pouca disponibilidade de área agrícola – caso de muitas regiões produtoras no Sul do País. Nos

últimos anos, surgiram muitas iniciativas viáveis para produção e uso do biogás de dejetos animais. Uma dessas iniciativas prevê a implantação de uma usina central de biogás no Sul e contou com a participação de uma empresa pública do setor de energia, de uma agência estrangeira de cooperação técnica internacional e da prefeitura municipal local.

Este estudo prospectivo analisou a viabilidade técnica e econômica de cinco rotas de tratamento e destinação final dos efluentes produzidos por uma usina de biogás projetada para a região Sul, disponíveis no mercado. Sua realização ocorreu no âmbito de contrato de Cooperação Técnica entre a Embrapa Suínos e Aves e a Agência de Cooperação Internacional da Alemanha (GIZ). O projeto original prevê a instalação de uma usina central de geração de energias elétrica e térmica com potência de 500 kW a 1 MW com o biogás de dejetos de rebanhos suíno, bovino e de frango de corte de 78 estabelecimentos agropecuários (BLOCK, 2011; CARVALHO, 2011). A Figura 1 mostra o desenho esquemático da proposta, que prevê como estratégia para a gestão dos efluentes (A e B) o seu transporte para aplicação como biofertilizante e a compostagem e secagem dos lodos, cabendo à prefeitura municipal arcar com os custos de transporte (dos dejetos para a usina e dos efluentes para as áreas agrícolas).

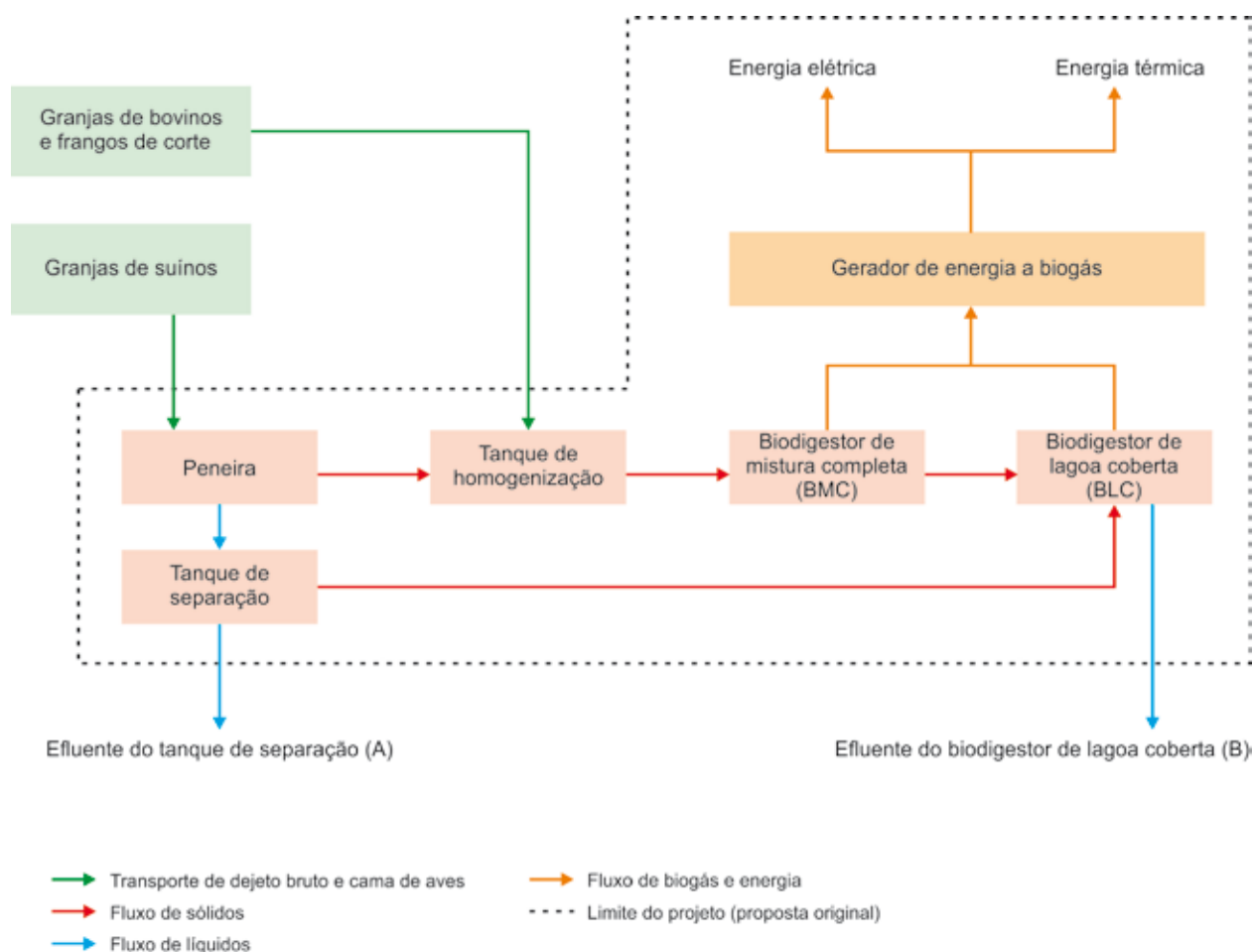


Figura 1. Desenho esquemático do projeto de implantação da usina de biogás.

Fonte: Block (2011) e Carvalho (2011).

Abrangência do estudo e tecnologias consideradas

O estudo não propôs analisar a viabilidade global do projeto, mas apenas o impacto das cinco rotas de tratamento dos efluentes no valor econômico gerado pela usina. As tecnologias de tratamento são estas:

- 1) Transporte dos efluentes para aplicação no solo como biofertilizante líquido.
- 2) Separação do lodo com decanter, transporte do efluente líquido para aplicação no solo como biofertilizante e secagem do lodo com o uso de sacos de rafia

para venda do subproduto (adubo orgânico sólido).

- 3) Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura (Sistrates) com descarte dos efluentes tratados nos corpos hídricos (ou reuso) e secagem do lodo do módulo de fósforo e uso de sacos de rafia para venda do subproduto na forma de fosfato de cálcio.
- 4) Separação do lodo com filtro de areia, seguido do tratamento do líquido por osmose reversa e posterior descarte em corpos hídricos (ou reuso), transporte dos efluentes líquidos não tratados para aplicação no solo como biofertilizante

e secagem do lodo do filtro de areia com uso de sacos de rafia para venda do subproduto – adubo orgânico sólido, por exemplo.

- 5) Uso dos efluentes em substituição à água fornecida pela rede pública ou de poço artesiano no processo de fabricação de fertilizantes fluidos e posterior venda do produto no mercado de fertilizantes. Essa não é propriamente uma alternativa, mas um novo negócio.

Um fluxograma das alternativas tecnológicas é apresentado na Figura 2. O uso dos efluentes líquidos (A e B na Figura 1) para compostagem foi descartado por causa da ausência de carbono como substrato para o processo biológico (HIGARASHI, 2012). A secagem do efluente com o calor dos geradores da usina também foi descartado porque esse processo não apresenta viabilidade técnica (BLOCK, 2012a).

Metodologia

A metodologia utilizada tem caráter prospectivo e permitiu estimar o desempenho técnico e o uso de insumos e fatores de produção (capital e trabalho) para calcular o valor presente líquido (VPL) das cinco alternativas tecnológicas analisadas. Seguindo o conceito de fluxo de caixa incremental, o VPL das alternativas tecnológicas deve ser contabilizado no valor gerado pela usina de biogás (GALESNE et al., 1999)¹⁰. Também foi desenvolvida uma avaliação qualitativa para cada alternativa, abordando os benefícios, vantagens, desvantagens e riscos potenciais. O estudo de caso finaliza com considerações voltadas à política pública e aos desafios para a inovação em projetos dessa natureza.

Para estimar o volume anual de entrada (input) de dejetos, matéria seca e nutrientes, utilizaram-se as seguintes informações: a) levantamento inicial do rebanho dos 78 produtores previstos para participar do projeto (BLOCK, 2011); b) valor médio de matéria seca dos deje-

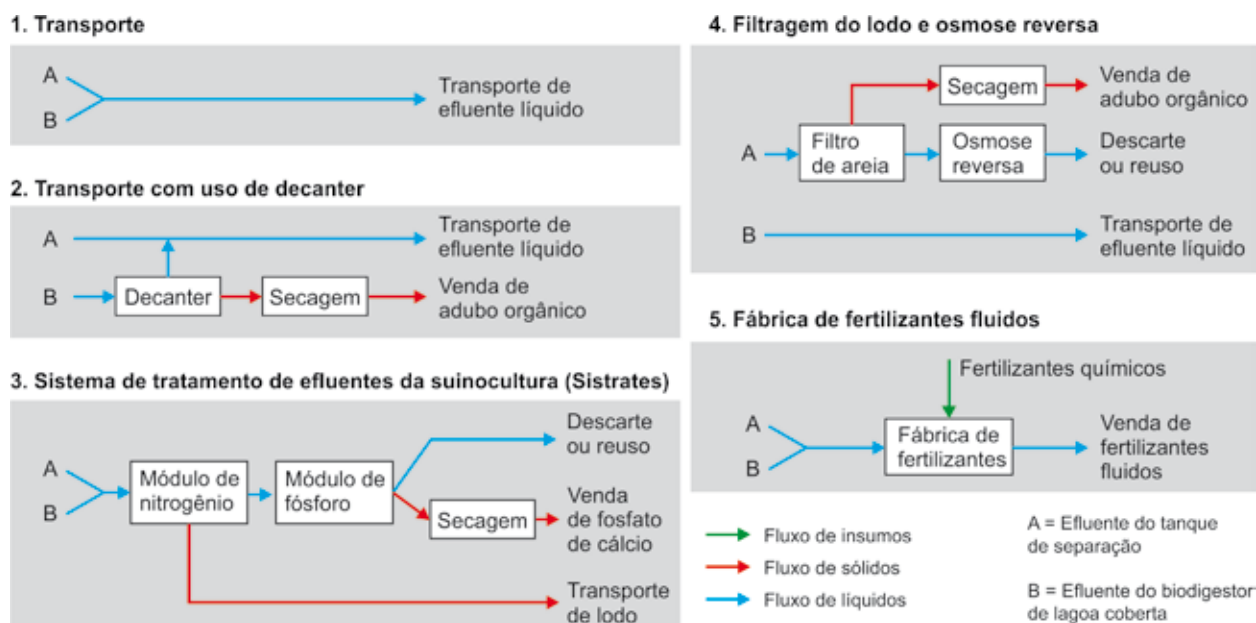


Figura 2. Alternativas tecnológicas para o tratamento e disposição final dos efluentes de uma usina central de biogás na região Sul.

¹⁰ Taxa de desconto de 10% ao ano ou 0,797% ao mês, vida útil do projeto de 120 meses e valor residual dos investimentos de 10%.

tos líquidos de suínos igual a 3,46%, obtido do levantamento de 23 amostras (RAMME, 2011); e c) consulta a levantamentos prévios realizados pela Embrapa Suínos e Aves (OLIVEIRA et al., 1993) e pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (MANUAL..., 2004) para estabelecer a concentração de nutrientes nitrogenados (N), fosfatados (P_2O_5) e potássio (K_2O).

O volume e as características dos efluentes foram estimados com base nos coeficientes de desempenho técnico projetados para a usina (BLOCK, 2011). As características dos efluentes, lodos e subprodutos das alternativas tecnológicas foram estimados por meio de informações

técnicas obtidas no desenvolvimento de sistemas de tratamento de efluentes suínocolas, como o Sistrates¹¹ (KUNZ et al., 2009; MIELE et al., 2011) e a osmose reversa (BLOCK, 2012b). Para a fábrica de fertilizantes líquidos utilizaram-se dados técnicos de campo (COZZO, 2012). A Tabela 1 apresenta as características dos efluentes, utilizadas para determinar o uso de insumos e fatores de produção por volume de efluente a ser tratado e estimar o investimento inicial necessário à implantação de cada alternativa.

O valor fertilizante foi calculado a partir da concentração de nutrientes nos efluentes, lodos e subprodutos, e do preço de mercado dos fertilizantes. Considerou-se que a ureia contém

Tabela 1. Características dos efluentes, lodos e subprodutos da usina central de biogás e das alternativas tecnológicas analisadas.

Efluentes, lodos e subprodutos	Volume diário	Matéria seca (%)	N (kg/m ³)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)	K ₂ O (kg/m ³)
Usina de biogás					
Efluente do tanque de separação (A)	239 m ³	0,81	2,74	1,53	1,92
Efluente do biodigestor de lagoa coberta (B)	147 m ³	7,11	6,17	5,70	3,30
Alternativa de tratamento nº 1 – Transporte					
Efluente líquido	386 m ³	3,21	4,05	3,12	2,45
Alternativa de tratamento nº 2 – Transporte e decanter					
Efluente líquido	341 m ³	1,46	4,10	3,50	1,70
Adubo orgânico (lodo seco do decanter)	17 t	60,00	7,63	30,02	5,96
Alternativa de tratamento nº 3 – Sistrates					
Descarte ou reuso de água (padrão de lançamento)	294 m ³	0,81	0,01	0,01	0,84
Lodo do módulo de remoção de N	19 m ³	3,21	0,14	0,58	0,12
Fosfato de cálcio (após secagem)	12 t	60,00	0,00	34,88	0,00
Alternativa de tratamento nº 4 – Filtragem e osmose reversa					
Efluente líquido	204 m ³	1,70	7,98	3,18	7,61
Descarte ou reuso de água limpa	172 m ³	0,00	0,00	0,00	0,00
Adubo orgânico (lodo seco do filtro de areia)	2 t	60,00	97,57	113,34	14,28
Alternativa de tratamento nº 5 – Fábrica de fertilizantes					
Fertilizante fluido (0-10-10)	597 t	Nd	0,00	100,00	100,00

Fonte: elaborada com dados de Block (2011, 2012a, 2012b), Cozzo (2012), Kunz et al. (2009), Manual... (2004), Miele et al. (2011), Oliveira et al. (1993) e Ramme (2011).

¹¹ A patente do Sistrates foi depositada em fevereiro de 2011 no INPI, como PI (Pedido de Invenção), protocolo nº 012110000133.

44% de N; o superfosfato triplo contém 42% de P_2O_5 ; e o cloreto de potássio (KCl) contém 60% de K_2O . Ressalta-se que esse valor é um preço-sombra dado aos efluentes, lodos e subprodutos, pois eles não têm preço de mercado (exceto o fertilizante fluido). Assim, são valores ilustrativos que permitem comparar efluentes e subprodutos em uma mesma base (valor em NPK) e não constituem necessariamente receita, preço de venda nem custo de produção. O benefício econômico proporcionado pelos efluentes é igual ao valor fertilizante quando eles são aplicados em áreas próprias. Quando aplicados em áreas de terceiros, apresentam valor igual ao preço de venda, que pode sofrer deságios de até 100%.

O estudo considerou como linha de base para comparação das alternativas tecnológicas o custo de transporte dos efluentes da usina central até as lavouras da região para aplicação no solo como biofertilizante (Figura 2, alternativa 1), deduzido o benefício econômico gerado por esses efluentes. Esse custo é determinado pelo equipamento utilizado, pelo preço dos insumos (diesel, pneus e manutenção, mão de obra e valor do caminhão) e principalmente pela distância média percorrida. Para estimar a distância média, foi desenvolvido um modelo baseado na oferta e demanda de nutrientes na região de implantação da usina e nos 127 municípios distantes até 150 km, além da disposição dos agricultores da região em aceitar os efluentes da usina. As fontes de dados e informações utilizadas foram: a) dados da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) (IBGE, 2012b) para dimensionar o rebanho suíno; b) estimativa da oferta de dejetos e de nutrientes (NPK) pelos rebanhos suínos a partir da concentração média de 3,46% de matéria seca, excreção diária média de 8,6 L/cabeça/dia e concentração de nutrientes média de 3,13 kg/m³ para N, 2,68 kg/m³ para P_2O_5 e 1,63 kg/m³ para K_2O (MANUAL..., 2004; OLIVEIRA et al., 1993; RAMME, 2011)¹²; c) dados da Pesquisa Agrícola

Municipal (PAM) (IBGE, 2012a) para dimensionar a área plantada (ha) das principais culturas; d) estimativa da demanda de nutrientes (NPK) com base nas recomendações de adubação para manutenção e correção dos teores de nutrientes no solo em função da capacidade de extração de NPK pelas culturas agrícolas cultivadas na região, considerando o elemento crítico fósforo (NICOLOSO; CORRÊA, 2012); e e) a disposição dos agricultores da região em aceitar os efluentes da usina e a consequente porcentagem da área disponibilizada. Como são variáveis desconhecidas, fez-se uma simulação com diversos níveis de aceitação (de 100% até 10% da área plantada). A estimativa do custo unitário do transporte dos efluentes (R\$/km e R\$/m³) baseou-se em Miele et al. (2011) e Sandi et al. (2011, 2012), sendo considerados apenas 165 dias úteis sem chuva por ano (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2012) – a aplicação dos efluentes não pode ser feita em dias chuvosos. A Tabela 2 apresenta os preços de mercado utilizados neste estudo.

Linha de base para comparar as alternativas: transporte dos efluentes

A alternativa nº 1, transporte dos efluentes da usina de biogás para aplicação no solo como biofertilizante das lavouras, é a de menor complexidade tecnológica e de maior flexibilidade (MAYERLE, 2011)¹³ e representa a principal estratégia de manejo dos dejetos suínos no Brasil, sendo também a estratégia de manejo dos efluentes proposta pelo projeto (CARVALHO, 2011). Portanto, essa opção foi considerada a principal linha de base para comparação com as demais alternativas.

Os benefícios dessa alternativa são o uso dos nutrientes contidos nos dejetos e efluentes (NPK) e seu importante papel como agente condicionador de solos (carbono e outros nutrientes), reduzindo as despesas dos agricultores

¹² Como os dados da PPM não discriminam o sistema de criação e o tipo de rebanho suíno, optou-se por utilizar a excreção diária e a concentração média de nutrientes de rebanho.

¹³ Arranjo logístico com produção centralizada de biogás e de energia elétrica e descentralização na coleta de dejetos e na distribuição dos efluentes (MAYERLE, 2011).

Tabela 2. Preços de mercado utilizados neste estudo.

Item	Unidade	Preço ⁽¹⁾
Adubo orgânico do decanter ⁽²⁾	R\$/t	16,27
Adubo orgânico do filtro de areia rápido ⁽²⁾	R\$/t	170,91
Energia elétrica comprada	R\$/kWh	0,264
Energia elétrica vendida	R\$/kWh	0,140
Fertilizante fluido (00-10-10)	R\$/t	519,82
Fertilizante sólido (00-25-25)	R\$/t	1.214,54
Fosfato de cálcio do Sistrates ⁽²⁾	R\$/t	28,84
Frete dos insumos para a fábrica de fertilizantes fluidos	R\$/t	35,47
Frete fertilizante fluido (100 km somente ida)	R\$/t	58,000
Frete subprodutos vendidos (35 km somente ida) ⁽³⁾	R\$/t	15,85
Hidróxido de cálcio	R\$/kg	0,50
KCl	R\$/t	1.262,22
MAP	R\$/t	1.491,00
Óleo diesel	R\$/L	2,12
Polímeros	R\$/kg	25,00
Sacos de rafia para secagem de lodo	R\$/saco	10,00
Salários operadores (inclui encargos)	R\$/mês	1.353,00
Superfosfato triplo	R\$/t	1.328,74
Taninos	R\$/L	1,85
Ureia	R\$/t	1.197,13

⁽¹⁾ Valores médios para o período de jan./2011a maio/2012, atualizados pelo IGP-DI para jun./ 2012.

⁽²⁾ Preço FOB calculado, considerando 60% de matéria seca e deságio de 74% em relação ao valor fertilizante, de acordo com deságio verificado no mercado de cama de aviário.

⁽³⁾ Para a venda de adubo orgânico e fosfato de cálcio, considerou-se a distância de 35 km do local de instalação da usina até o município vizinho onde se encontra cooperativa que produz e comercializa adubos orgânicos por compostagem dos resíduos agroindustriais.

Fonte: elaborada com dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2012), Cozzo (2012) e Santa Catarina (2012).

com adubos minerais e também impactando de forma positiva a produtividade das lavouras¹⁴. Em situações nas quais o efluente é aplicado em áreas próprias, pode-se afirmar que o detentor do efluente será beneficiado com seu valor fertilizante equivalente à redução de despesas com adubos químicos. Entretanto, quando o efluente é aplicado em áreas de terceiros, o benefício será equivalente ao preço de venda, não ao valor fertilizante. O preço de venda é muito variável, mas pode sofrer deságios de até 100% em relação ao valor fertilizante. Na comercialização de cama

de frango de corte, os deságios variam de 66% a 92% em relação ao valor fertilizante. O principal limitador dessa alternativa é a elevada concentração de rebanhos suínos e de outras criações confinadas em relação à escassa disponibilidade de áreas agrícolas próximas para a reciclagem dos dejetos de forma ambientalmente correta. Essa situação não ocorre em todas as regiões produtoras, mas é particularmente característica das tradicionais zonas de produção suinícola do Sul do Brasil, caso da região escolhida para a instalação da usina.

¹⁴ Esta análise econômica não considerou os efeitos positivos na qualidade do solo e na produtividade das lavouras, apenas seu valor fertilizante (redução das despesas com fertilizantes químicos) ou seu preço de venda quando for o caso.

Os solos da região e do seu entorno se caracterizam pela baixa aptidão para a agricultura mecanizada (alta declividade e pedregosidade), o que limita a área agrícola disponível para aplicação do biofertilizante, e pela elevada fertilidade natural. Diante disso e da necessidade de o empreendimento (usina) ser sustentável no longo prazo, a demanda de nutrientes precisou ser calculada com base nas recomendações de adubação para manutenção dos teores de nutrientes no solo em função da capacidade de extração de NPK pelas culturas agrícolas cultivadas na região. Como não existem informações atualizadas e disponíveis sobre o nível de fertilidade dos solos da região, considerou-se que a demanda de fertilizantes nos primeiros anos do projeto seja potencialmente maior do que a utilizada neste estudo, dada a necessidade de correção da fertilidade do solo. No entanto, ao longo do tempo de vida útil do projeto, a demanda de fertilizantes deve cair para os níveis estimados necessários à manutenção do solo, mantendo-se inalterado o cenário agrícola da região e seguindo-se corretamente as recomendações agrônômicas.

Além da oferta de NPK via biofertilizantes da usina, deve-se também computar a oferta de biofertilizantes nos municípios potencialmente receptores dos efluentes da usina, para que o problema de excesso de nutrientes não seja apenas transferido para os outros municípios. Tendo em vista as recomendações de adubação (correção x manutenção), a variabilidade de concentração de nutrientes dos efluentes e os níveis de disposição dos agricultores em aceitar os efluentes da usina, deve-se prever grande variabilidade e incerteza em relação à distância percorrida para o transporte dos efluentes. Na Figura 3, apresenta-se a simulação do modelo descrito anteriormente, que prevê que a distância para o transporte dos efluentes da usina central de biogás pode variar de 24 km a 115 km (somente ida)¹⁵.

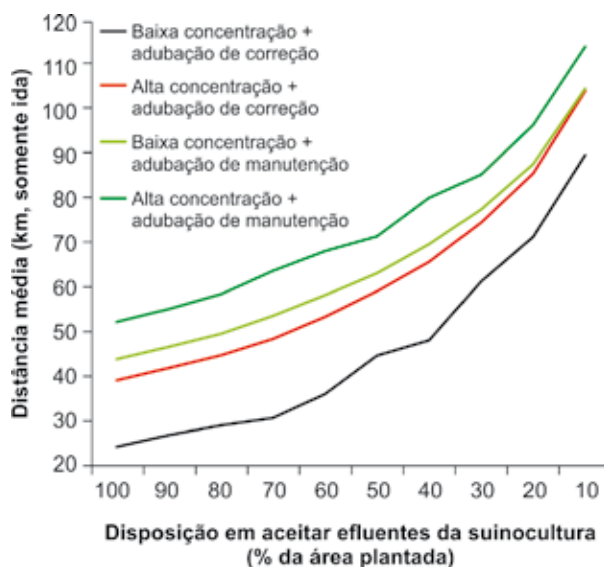


Figura 3. Distância média ponderada para transportar os efluentes da usina central de biogás em função da disposição em aceitar os efluentes da suinocultura, da concentração de nutrientes nos efluentes e da recomendação agrônômica de adubação.

O grande intervalo de distâncias percorridas (Figura 3) se reflete no custo de transporte dos efluentes, que poderá apresentar grande variabilidade. Essas projeções estão alinhadas com os custos de transporte de dejetos líquidos da suinocultura com o uso de caminhão-tanque verificados em levantamentos de Sandi et al. (2011, 2012) em municípios da região Sul. É importante comparar a distância necessária para atender à recomendação agrônômica em função da disposição em aceitar os efluentes (Figura 3) com a distância máxima que garante a viabilidade econômica do transporte em função da condição de valoração dos efluentes. O transporte e posterior aplicação dos efluentes em áreas de terceiros somente são viáveis a distâncias inferiores àquela necessária para atender à recomendação agrônômica, mesmo quando a disponibilidade em aceitar os efluentes é de 100% da área plantada (Tabela 3).

¹⁵ O estudo não considerou a oferta de dejetos nem de NPK pelo rebanho bovino porque a maior parte dele não é criada em confinamento – os dejetos são absorvidos pelas áreas de pastagem. Também não foi considerado o rebanho de frangos de corte nem de outras aves porque a cama de aviário pode ser comercializada a distâncias maiores do que os dejetos suínos, sendo, em muitos casos, adquirida por fábricas de fertilizantes orgânicos. Caso a oferta de NPK por esses rebanhos fosse considerada, dever-se-ia prever significativo aumento da distância média percorrida.

Tabela 3. Distância necessária para atender a recomendação agrônômica em função da disposição em aceitar os efluentes, distância máxima para viabilidade econômica do transporte em função da condição de valoração dos efluentes e respectivos custos de transporte.

Critério	Distância média (km, somente ida)	Custo de transporte	
		R\$/km	R\$/m ³
Distância para atender a recomendação agrônômica de manutenção utilizando 100% da área plantada	44	3,72	16,32
Distância para atender a recomendação agrônômica de manutenção e alta aceitação do efluente (70% da área plantada)	54	3,64	19,55
Distância para atender a recomendação agrônômica de manutenção e baixa aceitação do efluente (30% da área plantada)	78	3,53	27,50
Distância economicamente viável para aplicação em área própria (custo = valor fertilizante)	73	3,55	26,01
Distância economicamente viável para aplicação em área de terceiros (custo = preço de mercado com deságio médio de 74% sobre o valor fertilizante)	15	4,52	6,96

A partir dessas considerações, acredita-se que estas sejam as condições mais prováveis de remoção dos efluentes da usina central de biogás: a) predomínio de solos de boa qualidade demandando apenas adubação de manutenção; b) baixa concentração de nutrientes nos dejetos; c) baixa disposição em aceitar efluentes da usina de biogás; d) grande variabilidade e incerteza em relação à distância percorrida para o transporte dos efluentes (Figura 3) e, conseqüentemente, nos custos de transporte (Tabela 3); e e) aplicação em área de terceiros, com alto deságio sobre seu valor fertilizante, também sujeito a grande variabilidade e incerteza¹⁶.

A principal consequência para a linha de base deste estudo é que o custo líquido¹⁷ de transporte dos efluentes muito provavelmente será positivo (custo de transporte > benefício econômico), sujeito à grande variabilidade, que pode ser uma das principais fontes de incertezas de um projeto com tais características. Como não é possível determinar o valor *a priori*, optou-se por utilizar dois cenários para a análise: a) cenário 1, de baixo custo líquido de transporte,

de 1,50 R\$/m³ (definido a partir de consulta a produtores de suínos da região Sul com grandes escalas de alojamento e que não dispõe de área agrícola); b) cenário 2, de alto custo líquido de transporte, de 2,71 R\$/m³, que representaria acréscimo de 80% sobre o cenário 1.

Ambos os cenários foram considerados conservadores (subestimando o custo líquido de transporte) dadas as características acima descritas, as tendências verificadas na relação entre rebanho e área agrícola (IBGE, 2012a, 2012b) e também o comportamento futuro dos preços (sobretudo do óleo diesel). É importante também salientar a possibilidade de o biogás gerado ser usado como fonte de combustível para mover a frota de caminhões, o que poderia ser uma alternativa atraente para a redução dos custos e emissões atmosféricas (GEE). No momento, essa tecnologia é ainda incipiente e indisponível comercialmente no Brasil. Além disso, é esperada uma redução da oferta de biogás da usina, o que conseqüentemente reduziria as receitas do projeto.

¹⁶ A alta volatilidade das taxas de câmbio e do preço dos fertilizantes no mercado internacional também impacta diretamente essa variável.

¹⁷ O custo líquido do transporte do efluente equivale ao custo de transporte deduzido o valor fertilizante do efluente quando ele é aplicado em áreas próprias ou deduzido o preço de venda do efluente quando ele é aplicado em áreas de terceiros.

Resultados

A alternativa nº 1, de transporte dos efluentes, requer o menor investimento inicial, de R\$ 357 mil, valor que se refere à construção de uma lagoa de armazenagem dos efluentes com volume de 30,9 mil m³, para um período de 80 dias¹⁸. Não foram contabilizados os investimentos em frota própria, admitindo que o empreendimento realizaria a terceirização dos serviços de frete¹⁹. Dessa forma, o principal componente do custo são as despesas com fretes (Tabelas 4 e 5). No Cenário 1, é a opção de menor custo, de aproximadamente 2,08 R\$/m³ de efluente (Tabelas 4 e 6), bem como de menor impacto no valor gerado pela usina central de biogás, com redução do VPL da usina de R\$ 1,8 milhão em dez anos (Tabela 7). O Cenário 2 apresenta custo de 3,29 R\$/m³ de efluente

(Tabela 6), com impacto negativo no valor gerado pela usina, estimado em R\$ 2,9 milhões em dez anos (Tabela 7).

O principal benefício dessa alternativa é a possibilidade de uso do biofertilizante, dados seu baixo custo e maior flexibilidade de uso para pequenas distâncias. Entretanto, ele pode apresentar desvantagens ao contribuir para a emissão de GEE e por demandar grandes áreas agricultáveis próprias para se beneficiar do valor fertilizante. Apresentaria ainda custo elevado quando se consideram maiores distâncias de transporte.

A alternativa nº 2, de transporte com separação do lodo com decanter, foi considerada variante da alternativa nº 1, não sendo propriamente uma opção tecnológica distinta. Essa opção requer o segundo menor investimento ini-

Tabela 4. Investimento inicial e custo das alternativas tecnológicas para o cenário 1 (R\$/mês).

Item	Transporte	Transporte + decanter	Sistrates	Filtragem + osmose reversa	Fábrica de fertilizantes fluidos
Investimento necessário	357.115	585.288	917.571	1.547.157	4.256.422
Despesas (saídas de caixa)	19.437	38.173	24.287	23.659	8.893.285
Transporte de lodos e efluentes	17.380	15.334	869	9.201	0
Energia elétrica	0	1.514	6.542	3.153	5.185
Demais insumos e serviços	1.104	16.489	9.665	1.732	8.848.471
Manutenção	893	1.463	3.823	6.446	10.833
Mão de obra	0	2.706	2.706	2.706	24.630
Eventuais	60	665	682	421	4.167
Depreciação e amortização	4.634	7.596	11.908	20.078	55.238
Custo total	24.071	45.768	36.195	43.737	8.948.523
Receita com subprodutos (FOB) ⁽¹⁾	0	8.506	10.580	8.257	9.309.112
Frete dos subprodutos vendidos ⁽²⁾	0	8.286	5.816	766	1.038.676
Resultado	-24.071	-45.548	-31.431	-36.247	-678.087

⁽¹⁾ O volume e as características dos subprodutos estão na Figura 3 e na Tabela 3.

⁽²⁾ Considerou-se a distância de 35 km, somente ida, para a venda de adubo orgânico e fosfato de cálcio, e de 100 km para o fertilizante fluido.

¹⁸ Equivalentes aos 120 dias exigidos pela legislação [norma técnica da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS (2014)] menos 40 dias de tempo de retenção hidráulico (TRH) na usina central de biogás. Essa estrutura de armazenagem também é necessária para os efluentes gerados nos dias chuvosos, durante os quais não é possível aplicá-los nas lavouras.

¹⁹ Caso a opção seja por frota própria, o investimento deverá ser acrescido de aproximadamente R\$ 774 mil, referentes à aquisição de três caminhões com carroceria-tanque.

Tabela 5. Investimento inicial e custo das alternativas tecnológicas para o cenário 2 (R\$/mês).

Item	Transporte	Transporte + decanter	Sistrates	Filtragem + osmose reversa	Fábrica de fertilizantes fluidos
Investimento necessário	357.115	585.288	917.571	1.547.157	4.256.422
Despesas (saídas de caixa)	33.434	50.523	24.987	31.069	8.893.285
Transporte de lodos e efluentes	31.378	27.685	1.569	16.611	0
Energia elétrica	0	1.514	6.542	3.153	5.185
Demais insumos e serviços	1.104	16.489	9.665	1.732	8.848.471
Manutenção	893	1.463	3.823	6.446	10.833
Mão de obra	0	2.706	2.706	2.706	24.630
Eventuais	60	665	682	421	4.167
Depreciação e amortização	4.634	7.596	11.908	20.078	55.238
Custo total	38.069	58.118	36.895	51.147	8.948.523
Receita com subprodutos (FOB) ⁽¹⁾	0	8.506	10.580	8.257	9.309.112
Frete dos subprodutos vendidos ⁽²⁾	0	8.286	5.816	766	1.038.676
Resultado	-38.069	-57.899	-32.131	-43.657	-678.087

⁽¹⁾ O volume e as características dos subprodutos estão na Figura 3 e Tabela 3.

⁽²⁾ Considerou-se a distância de 35 km, somente ida, para a venda de adubo orgânico e fosfato de cálcio, e de 100 km para o fertilizante fluido.

Tabela 6. Despesas operacionais e custo total das alternativas tecnológicas consideradas para os cenários 1 e 2 (R\$/m³ de efluente).

Cenário	Receita com subprodutos	Transporte	Transporte + decanter	Sistrates	Filtragem + osmose reversa	Fábrica de fertilizantes fluidos
Cenário 1	Despesas operacionais	1,68	3,29	2,10	2,04	768,55
	Custo total	2,08	3,95	3,12	3,77	772,32
Cenário 2	Despesas operacionais	2,89	4,36	2,16	2,68	768,55
	Custo total	3,29	5,02	3,18	4,41	772,32

Tabela 7. Valor presente líquido (VPL) das alternativas tecnológicas para os cenários 1 e 2 (R\$ mil)⁽¹⁾.

Cenário	Receita com subprodutos	Transporte	Transporte + decanter	Sistrates	Filtragem + osmose reversa	Fábrica de fertilizantes fluidos
Investimento necessário		357	585	918	1.547	4.256
Cenário 1	Não	-1.841	-3.504	-2.754	-3.311	
	Sim		-3.487	-2.387	-2.733	-52.087
Cenário 2	Não	-2.920	-4.456	-2.808	-3.882	
	Sim		-4.439	-2.440	-3.304	-52.087

⁽¹⁾ Taxa de desconto de 0,797% ao mês, vida útil do projeto de 120 meses e valor residual do investimento de 10%.

cial, R\$ 585 mil, valor que se refere à construção de uma lagoa de armazenagem dos efluentes com volume de 27,3 mil m³, para um período de 80 dias, e a instalação de um equipamento decanter (vazão de 15 m³/h) para separação do lodo do biodigestor de lagoa coberta. Também não foram considerados investimentos com frota própria. O uso de um decanter implica maiores despesas com insumos químicos e manutenção, mas demonstrou pouca eficácia na redução das despesas com o frete. Essa opção foi a de maior custo e de maior impacto negativo no valor gerado pelo projeto. A receita que poderia ser obtida com a venda de subprodutos (adubo orgânico) tem pouca importância em relação aos custos e não altera esses resultados (Tabelas 4, 5, 6 e 7).

As alternativas de tratamento dos efluentes requerem maior investimento inicial em comparação às alternativas de transporte – o Sistrates necessita de R\$ 918 mil em investimentos, enquanto a de osmose reversa requer R\$ 1.547 mil. Além de ser mais onerosa em termos de equipamentos, esta última opção também requer a construção de uma lagoa de armazenagem da parcela dos efluentes não tratados para um período de 80 dias, com volume de 16,4 mil m³. Os principais componentes do custo de tratamento no Sistrates são insumos químicos e energia elétrica, que representam quase metade dos custos totais e reduzem a oferta de energia ao mercado. O equipamento de osmose reversa, embora mais eficiente em termos de consumo energético, apresenta maiores custos com depreciação e amortização do capital e despesas de manutenção (sobretudo na substituição de filtros), que em conjunto representam mais da metade dos custos totais (Tabelas 4 e 5). É importante salientar que o equipamento de osmose reversa não trata a totalidade do efluente, mas apenas o efluente do tanque de separação (A na Figura 2 e Tabela 3), com até 2% de matéria seca orgânica, limite para essa tecnologia (BLOCK, 2012b). Uma parcela significativa do custo (no mínimo de 20%) ocorre por causa do transporte

do efluente não tratado (efluente do biodigestor de lagoa coberta, B na Tabela 1), que apresenta mais de 2% de matéria seca orgânica.

O Sistrates apresentou custos de tratamento inferiores à opção de osmose reversa nos dois cenários analisados (Tabelas 4, 5 e 6), bem como menor impacto negativo no valor gerado pela usina central de biogás (Tabela 7)²⁰. Em relação à linha de base, o Sistrates tem o menor custo do cenário 2, de aproximadamente 3,18 R\$/m³ de efluente (Tabela 6) e o menor impacto negativo no valor ser gerado pela usina, aproximadamente R\$ 2,8 milhões em 10 anos sem a obtenção de receitas com a venda de subprodutos, e de R\$ 2,4 milhões com a obtenção de receitas (Tabela 7). A receita que pode ser obtida com a venda de subprodutos (fosfato de cálcio e adubo orgânico) altera pouco o desempenho dessas alternativas, sobretudo no caso do Sistrates. É importante salientar que em todas as opções, exceto no Sistrates, ocorre um impacto significativo pela elevação do valor do frete de remoção dos efluentes nos custos totais (cenário 1 x cenário 2).

Entre os principais benefícios do Sistrates destacam-se a possibilidade de redução das emissões de GEE, o reuso da água ou lançamento em corpos receptores e o uso do subproduto gerado (fosfato de cálcio) como insumo para fertilizantes e rações. As vantagens desse sistema são a eficiência da remoção de nutrientes e a redução da área necessária para aplicação dos resíduos da produção animal e consequente redução dos custos de transporte. Como desvantagens, apresenta alto valor inicial de investimento, alto custo operacional e de consumo de energia elétrica e insumos químicos. A remoção de N e P torna essa tecnologia menos atrativa porque reduz a oferta de nutrientes para agricultura. Além disso, é uma tecnologia ainda em fase de validação e está sujeita a flutuações do preço da energia elétrica e do fosfato.

A osmose reversa apresenta características semelhantes às do Sistrates. Seus principais

²⁰ Essa condição se mantém mesmo quando se consideram tarifas de energia elétrica praticadas no mercado (R\$ 264,00/MWh) em vez do custo de venda da energia utilizado neste estudo (estimado em R\$ 140,00/MWh).

benefícios são a possibilidade de redução das emissões de GEE, a produção de água limpa (cerca de 40% do total do efluente) e a geração de adubo orgânico, podendo acessar mercados de valor agregado. As vantagens desse sistema são a redução do volume de efluente transportado, a redução da área necessária para aplicação dos resíduos da produção animal e também a disponibilização de água limpa. Entretanto, apresenta as mesmas desvantagens do Sistrates, além de não tratar a totalidade do efluente da usina de biogás (62%).

A alternativa que requer o maior investimento é a de implantação de uma fábrica de fertilizantes fluidos, com valor total projetado de R\$ 4,3 milhões e capacidade de produzir 240 mil t/ano. Essa opção inclui instalações e equipamentos no valor de R\$ 3,7 milhões e a construção de uma lagoa de armazenagem dos efluentes para um período de 120 dias, com volume de 46,3 mil m³ e valor de R\$ 536 mil, necessária por causa da sazonalidade da demanda em função dos calendários das safras agrícolas.

Deve-se considerar que essa não é propriamente uma alternativa de tratamento, mas um novo negócio no segmento de fertilizantes, que pode ser localizado em usinas centrais de biogás, utilizando nos processos industriais os efluentes da biodigestão em substituição à água limpa²¹. Por isso, os custos da fábrica de fertilizantes fluidos não foram comparados aos das demais alternativas de tratamento. Os insumos químicos para a fabricação de fertilizantes fluidos (MAP, Ureia e KCl) representam 99% dos custos de produção (Tabelas 5 e 6) e 89% dos custos quando se considera o frete até o produtor rural.

Essa opção é extremamente sensível às despesas com o frete dos produtos vendidos. Por não haver frete de retorno (transporte especializado), deve-se cobrar os percursos de ida e volta, ao contrário do caso do fertilizante sólido. Além disso, esse é um produto que se destina a agricultores com área superior a 50 ha (COZZO, 2012).

Esses limitantes também tornam a opção da fábrica de fertilizantes líquidos dependente da área de lavouras no entorno da usina. Considerando a formulação que utiliza a maior quantidade de efluente²², seria necessário produzir 215 mil toneladas anuais, o que demandaria área de 537 mil hectares de lavouras em estabelecimentos com mais de 50 hectares. Para a viabilidade econômica do empreendimento, essa área deveria estar, portanto, a uma distância de até 50 km, ou 100 km ida e volta (COZZO, 2012), o que não se verifica na região do projeto (IBGE, 2006, 2012a). A logística desfavorável da região escolhida para o projeto e a baixa disponibilidade de áreas agrícolas impactam diretamente o retorno esperado de uma fábrica de fertilizantes fluidos (COZZO, 2012). Essa conclusão se mantém mesmo na situação na qual ocorra repasse de recursos da usina central de biogás para a fábrica de fertilizantes equivalente às despesas com transporte dos efluentes (subsídio de um projeto para o outro). A vantagem dessa alternativa que propicia a venda de fertilizantes fluidos é agregar valor ao efluente, viabilizando o transporte a maiores distâncias (até cerca de 50 km). Entretanto, requer alto investimento e custo operacional com insumos químicos e energia elétrica. Além disso, seu público prioritário são produtores com áreas superiores a 50 ha e é preciso maquinário específico para a aplicação do fertilizante no solo.

Legislação ambiental, repartição de custos e corresponsabilidade

Tendo em vista as diferenças de escala, deve-se considerar que a postura dos órgãos ambientais em relação a usinas centrais de biogás será pautada por maior cautela e um grau de exigência (liberação, fiscalização e monitoramento e padrão tecnológico, por exemplo) significativamente mais restritivo do que com pequenos e médios suinocultores dispersos geograficamente. Como apontado, a opção predominante de

²¹ São necessários de 565 L a 647 L de água (ou efluente) para produzir uma tonelada de fertilizante fluido, dependendo da formulação.

²² A formulação 00-10-10 requer 647 L de efluente para cada tonelada de fertilizante produzida.

manejo dos dejetos da suinocultura no Brasil é o seu transporte para posterior aplicação como biofertilizante nas lavouras. O custo é arcado pelos suinocultores, não havendo a corresponsabilidade dos demais atores da cadeia produtiva (sobretudo das agroindústrias), existindo em muitas regiões produtoras significativo aporte de recursos públicos para subsidiar o transporte de dejetos (SANDI et al., 2011, 2012)²³. Entende-se que a entrada de novos setores no segmento de biogás, caso do energético, deva ser pautada pela internalização dos custos envolvidos no transporte ou no tratamento dos efluentes. A proposta original de divisão de tarefas nesse projeto de usina na região Sul não resolve o problema. Ao contrário, eleva os impactos no orçamento municipal. Em levantamento realizado no município, o subsídio chegou a 74,6% do custo de distribuição dos dejetos em granjas que necessitavam transportar a distâncias maiores que 8 km (SANDI et al., 2012), o que representa despesa anual para o orçamento municipal de R\$ 111 mil.

O incentivo público à implantação de usinas centrais de biogás deve considerar que não é possível viabilizar novas formas de gerar valor sobre a suinocultura (da carne para a energia e o fertilizante) sem reservar parcela desse valor agregado ao correto manejo dos efluentes, de preferência que considere a redução das emissões de GEE e da pressão sobre os recursos hídricos. O próprio quadro regulatório de leilões para a compra de energia de fontes renováveis deveria considerar tais questões. Nesse sentido, o escopo do projeto deveria ser ampliado para incluir o transporte ou tratamento dos efluentes.

Do ponto de vista do estabelecimento agropecuário, é importante reforçar que o produtor incorrerá em custos para participar de um projeto dessa natureza e magnitude, sobretudo de mão de obra e em investimentos para reduzir o volume de água nos dejetos e o tempo de

permanência destes nas instalações (RAMME, 2011). Iniciativas dessa natureza, tomadas no estabelecimento agropecuário e que afetam os recursos do produtor, não só aumentam a eficiência da usina na geração de biogás como reduzem os custos de transporte ou tratamento dos efluentes. Para que isso ocorra, deverão ser estabelecidos ou explicitados incentivos, por meio de remuneração financeira ou pela possibilidade de aumento do rebanho mediante análise técnica caso a caso. Entende-se que seria conveniente e promissor desenvolver um arranjo contratual, semelhante à integração da produção com as agroindústrias, para a determinação de padrões e de volumes de entrega e, principalmente, que determine vantagens econômicas para o suinocultor a partir de parâmetros de qualidade do dejetos fornecido (sobretudo em termos de sólidos voláteis e matéria seca).

Considerações finais

A opção de substituir pequenos biodigestores de lagoa coberta, dispersos geograficamente pelas propriedades rurais, por usinas centrais de biogás permite expressivos ganhos de eficiência técnica (CANTRELL et al., 2008). Entretanto, essa opção representa aumento dos custos com transporte e, sobretudo, dos riscos de poluição dos recursos hídricos, tendo em vista as limitações da fiscalização e o incentivo econômico para que os efluentes sejam aplicados em excesso nas áreas próximas à usina. Em relação às alternativas analisadas para o correto manejo e disposição final dos efluentes de uma usina central de biogás, há também dilemas a serem considerados. A alternativa de transporte e sua variante, o uso de decanter para separação do lodo, por um lado disponibilizam para o setor agrícola os nutrientes contidos nos dejetos da suinocultura²⁴, reduzindo custos com insumos químicos e, em última análise, reduzindo

²³ Além disso, representam foco permanente de tensões, como dificuldades de atender à demanda, pressões políticas para priorizar beneficiários e impacto no orçamento dos pequenos municípios.

²⁴ Em muitos casos, o aproveitamento pleno dos nutrientes é prejudicado por causa da forma de aplicação dos efluentes no solo (perda de amônia, lixiviação e percolação) e da não observância das recomendações agronômicas de adubação.

a dependência do País da importação de fertilizantes. Por outro lado, essa opção contribui para as emissões de GEE (ÁLVARES JUNIOR; LINKE, 2002; BRASIL, 2009), seja pelas emissões no transporte (CO_2), seja pelas emissões do uso de dejetos aplicados no solo (N_2O). Além disso, como apontado, essa alternativa aumenta o risco de poluição dos recursos hídricos.

As opções de tratamento reduzem o potencial poluidor da suinocultura e de usinas centrais de biogás dos recursos hídricos e da emissão de GEE (BORTOLI et al., 2012). Em contrapartida, reduzem o excedente de energia elétrica gerada e não devolvem ao setor agrícola os nutrientes contidos nos dejetos (exceto o adubo orgânico e o fosfato de cálcio).

O uso conjugado de usinas centrais de biogás com fábricas de fertilizantes fluidos pode ser uma alternativa para o aproveitamento dos nutrientes contidos nos dejetos sem impactar os recursos hídricos. Como o efluente passa a compor um produto a ser vendido (fertilizante fluido), ou seja, há um preço a ser pago pelo agricultor, não há incentivo econômico para sua aplicação em excesso, em desacordo às recomendações agrônômicas, caso do efluente líquido transportado. Entretanto, uma fábrica de fertilizantes consome energia elétrica e gera emissões de GEE com o transporte (ÁLVARES JUNIOR; LINKE, 2002; BRASIL, 2011), e outra limitação dessa alternativa é seu raio máximo de atuação, de até 50 km. Assim, mesmo em regiões com baixa relação rebanho/área há um limite de escala de produção de fertilizantes, o que limita a escala da usina central de biogás para metade ou um terço do tamanho proposto no projeto.

Outra questão que deve ser analisada em projetos de usinas centrais de biogás, que perpassa todas as alternativas aqui descritas, refere-se às implicações sanitárias, que devem ser avaliadas e discutidas com os múltiplos atores do processo, além de órgãos de defesa e controle agropecuário e agroindústrias.

Neste estudo, foram apresentados e discutidos dados quantitativos e questões qualitativas para prospectar a viabilidade técnico-econômi-

ca de várias rotas de tratamento dos efluentes para o projeto de implantação de uma usina de biogás na região Sul. O que se evidencia é que a viabilização da usina passa pela estratégia logística adotada e pela valoração dos efluentes, mas, sobretudo, passa pelo dimensionamento da escala da usina central, que deve considerar a disponibilidade de áreas agricultáveis ou a adoção de tecnologias de tratamento. A logística desfavorável e a baixa disponibilidade de áreas agrícolas limitam sua escala ou elevam os custos com o correto destino dos efluentes. Sob o enfoque do negócio de energia, isso afeta negativamente a rentabilidade e o VPL e suscita a mudança de localização do projeto para regiões mais propícias. Já sob o enfoque da política pública local voltada ao desenvolvimento rural, é possível que as demandas e tensões ambientais na agropecuária exijam intervenções para lidar com os efluentes da produção animal, mesmo que elas tenham que operar com rentabilidade inferior àquela aceita pelo mercado.

Por fim, deve-se considerar que o segmento de biogás tem se caracterizado por acelerada e crescente incorporação de inovações, que tendem a aumentar a eficiência ou reduzir os custos das alternativas tecnológicas analisadas. Essas inovações também devem ampliar o leque de opções disponíveis, como é o caso do uso do biogás como substituto do óleo diesel no transporte de efluentes ou o desenvolvimento de modernos e eficientes sistemas físico-químicos e biológicos para o tratamento do efluente de biodigestores. Em ambos os casos, pode-se esperar implicações significativas para os resultados deste estudo.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis**. 2012. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/preco/>>. Acesso em: 4 jun. 2012.

ÁLVARES JUNIOR, O. de M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frota de veículos no Brasil**. São Paulo: Cetesb, 2002.

- BLOCK, K. **Calculations of slurry attack in of the municipality Tupandi for planning a biogas plant.** [S.l.]: GIZ na Alemanha, 2011.
- BLOCK, K. **Processes for digestat treatment used in Europe and adaption to Tupandi.** [S.l.]: GIZ, 2012a. 20 slides em Microsoft Power Point.
- BLOCK, K. **Technical possibilities of reverse osmosis and estimation of treatment costs, reduction of amount of mass to be transported and Comparison of the reverse osmosis process with a wastewater treatment plant.** [S.l.]: GIZ, 2012b. 23 slides em Microsoft Power Point.
- BORTOLI, M.; KUNZ, A.; SOARES, H. M.; BELLI FILHO, P.; COSTA, R. H. R. da. Emissão de óxido nitroso nos processos de remoção biológica de nitrogênio de efluentes. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2012.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa:** informações gerais e valores preliminares. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0207/207624.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2012.
- CANTRELL, K. B.; DUCEY, T.; RO, K. S.; HUNT, P. G. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 7941-7953, 2008.
- CARVALHO, R. T. **Project Tupandi.** Florianópolis: Eletrobras; Eletrosul, 2011. 13 slides em Microsoft Power Point.
- COZZO, R. **Estudo de viabilidade para implantação de fábrica de fertilizantes fluidos em Tupandi – RS.** [S.l.]: Riolando Cozzo, 2012. 26 slides em Microsoft Power Point.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources:** an introduction. 2nd ed. rev. exp. Weinheim: J. Wiley, 2011.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – RS. **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura.** Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/diret_suinovos.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2015.
- GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E.; LAMB, R. **Decisões de investimentos da empresa.** São Paulo: Atlas, 1999.
- HIGARASHI, M. H. **Compostagem de dejetos de suínos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012. 24 slides em Microsoft Power Point.
- IBGE. **Censo agropecuário 2006.** Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>>. Acesso em: 16 jan. 2015.
- IBGE. **Produção agrícola municipal.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=44>. Acesso em: 4 jun. 2012.
- IBGE. **Produção da pecuária municipal.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012b. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=21>. Acesso em: 4 jun. 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados meteorológicos da rede de estações automáticas.** 2012. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 4 jun. 2012.
- KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. L. R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 100, n. 22, p. 5485-5489, Nov. 2009.
- MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.
- MAYERLE, S. F. **Logística de armazenamento e transporte dos dejetos em Tupandi.** Florianópolis: UFSC/CTC/EP, 2011. 27 slides em Microsoft Power Point.
- MIELE, M.; KUNZ, A.; CORREA, J. C.; BORTOLI, M.; STEINMETZ, R. Impacto econômico de um sistema de tratamento dos efluentes de biodigestores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Sbea, 2011. 1 CD-ROM.
- NICOLOSO, R. S.; CORRÊA, J. C. **Viabilidade técnica e econômica do biofertilizante.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012. 37 slides em Microsoft Power Point.
- OLIVEIRA, P. A. V. de (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27).
- PLANO Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. Brasília, DF: IPEA, 2012. (IPEA. Comunicados do IPEA, 145).
- RAMME, M. A. **Gestão da água na pecuária Tupandi/RS.** Concórdia: Ecodata, 2011.
- SANDI, A. J.; SANTOS FILHO, J. I. dos; MIELE, M.; MARTINS, F. M. Levantamento do custo de transporte e distribuição de dejetos de suínos: um estudo de caso das associações de produtores dos municípios do Alto Uruguai Catarinense. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 48., 2011, Belém. **Anais...** Belém: UFRA, 2011. 1 CD-ROM.
- SANDI, A. J.; SANTOS FILHO, J. I. dos; MIELE, M.; MARTINS, F. M. Levantamento do custo de transporte e distribuição de dejetos de suínos na região Oeste do estado do Paraná e no município de Tupandi no Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 49., 2012, Brasília, DF. **A produção animal no mundo em transformação:** anais... Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012. 1 CD-ROM.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Pesca. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural. Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. **Preços agrícolas:** safra 2012. Disponível em: <<http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: 4 jun. 2012.