

## **OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETA, TRANSPORTE E TRANSFORMAÇÃO DE DEJETOS SUINÍCOLAS EM BIOFERTILIZANTE E BIOGÁS**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e32020883-910

**Leandro Duarte dos Santos<sup>1</sup>**  
**Sérgio Fernando Mayerle<sup>2</sup>**  
**Jorge Manuel Rodrigues Tavares<sup>3</sup>**  
**Sandro Luis Schlindwein<sup>4</sup>**

### **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo propor e otimizar um modelo matemático para avaliar a viabilidade econômica da cadeia de suprimento de dejetos da suinocultura para geração de biogás e biofertilizante. Para o processo de modelagem foram utilizadas equações encontradas em trabalhos que retratavam a fermentação anaeróbia dos dejetos suínos, além de expressões relativas ao seu transporte. O modelo foi aplicado para um estudo de caso compreendendo a região de Tupandi – RS, composta por 82 propriedades e uma unidade central de processamento de dejetos, onde os biodigestores seriam supostamente implantados. A solução ótima do modelo indicou que a atividade de transformação dos dejetos em biogás e biofertilizante, para o estudo em questão, é viável economicamente.

**Palavras-chave:** Programação Linear. Dejetos de suínos. Biogás.

<sup>1</sup> Doutor em Agroecossistemas (UFSC, 2019). Mestre em Engenharia (UFSC, 2015). Eng. Florestal (UFPR, 2009). E- mail: [leduartesantos@yahoo.com.br](mailto:leduartesantos@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Professor Associado IV do Departamento de Eng. de Produção e Sistemas. UFSC. E-mail: [sergio.mayerle@gmail.com](mailto:sergio.mayerle@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutor em Eng. Sanitária Ambiental – UFSC. E-mail: [jorge.tavares@posgrad.ufsc.br](mailto:jorge.tavares@posgrad.ufsc.br)

<sup>4</sup> Professor Doutor, Titular do Centro de Ciências Agrárias. Eng<sup>o</sup> Agrônomo. UFSC. E-mail: [sandro.schlindwein@ufsc.br](mailto:sandro.schlindwein@ufsc.br)

# OPTIMIZATION OF A SYSTEM FOR COLLECTION, TRANSPORT AND PROCESSING OF PIG MANURE INTO BIOFERTILIZER AND BIOGAS

## ABSTRACT

This work aimed to propose and optimize a mathematical model to evaluate the economic viability of the supply chain of pig manure for biogas generation and biofertilizer. For the modeling process, equations found in studies that portrayed the anaerobic fermentation of pig manure were used, as well as expressions related to its transport. The model was applied to a case study comprising the region of Tupandi - RS, composed of 82 properties and a central waste processing unit, where the biodigestors were supposed to be implanted. The optimal solution of the model indicated that the activity of transforming the waste into biogas and biofertilizer, for the study in question, is economically viable.

**Keywords:** Pig waste. Linear programming. Biogas.

## 1 INTRODUÇÃO



As maiores preocupações ambientais relacionadas à suinocultura referem-se à contaminação dos solos, de lençóis freáticos pela lixiviação dos dejetos, e à liberação de gases como o dióxido de carbono, metano e gás sulfídrico, que em grandes quantidades são maléficos para a biosfera (SARDÁ et al., 2010). Entretanto, as tecnologias e sistemas de tratamento para reduzir o poder poluente dos dejetos avançam continuamente, contribuindo, desta forma, para a melhoria da qualidade dos efluentes da suinocultura.

Apesar dos dejetos suínícolos apresentarem-se como uma ameaça para ecossistemas terrestres e aquáticos, também podem ser úteis em diversas situações, sendo utilizados na agricultura para adubação e fertirrigação, na piscicultura como parte da alimentação de peixes, e para a geração de bioenergia, através da combustão do biogás liberado pela fermentação dos dejetos.

Paralelamente ao desenvolvimento e crescimento da suinocultura e consequente aumento do volume de dejetos suínícolos, a utilização da biomassa para energia ganhou interesse particular nos últimos anos, devido ao esgotamento progressivo dos combustíveis fósseis convencionais. Além disso, as baixas emissões

de enxofre e gases de efeito estufa, associados com o uso de biomassa para produção de energia, incentivam às políticas governamentais voltadas para um avanço do desenvolvimento desta nova tendência energética (DEMIRBAS, 2001).

Porém, a oferta uniforme de biomassa, sem interrupções ao longo do ano, e eficiente em termos de custos, é imprescindível para a implantação e manutenção de projetos de transformação de biomassa em energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2007). Para se alcançar tais pré-requisitos é necessário que decisões nos âmbitos estratégico, tático e operacional sejam tomadas de modo eficiente na BSC<sup>1</sup>. Dentro deste contexto, a modelagem matemática - como tecnologia de “empacotamento” da dinâmica de sistemas (Bridgeland, 1998) - além de dar suporte aos processos de tomadas de decisões estratégicas, táticas e operacionais, torna possível também compreender melhor a situação em questão, levantar problemas, estabelecer estratégias, e visualizar oportunidades (MIGUEL et al., 2010).

Considerando o contexto apresentado, o presente trabalho propõe um modelo matemático para avaliar a viabilidade econômica da cadeia de suprimento de dejetos da suinocultura para geração de biogás e biofertilizante. Tal modelo também permitirá obter parâmetros operacionais e financeiros de um sistema de coleta, transporte e fermentação dos dejetos da suinocultura. O modelo em questão foi aplicado para verificar a viabilidade da implantação de um sistema de coleta, transporte e fermentação de dejetos da suinocultura, no município de Tupandi – RS – Brasil.

## 2 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho, bem como o modelo proposto, restringe-se à geração de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de suínos. Demais resíduos, e dejetos de outros animais, são excluídos do escopo da pesquisa.

O modelo em questão foi delimitado somente para sistemas de coleta e transporte de efluentes com apenas um local destinado à fermentação, sendo este

---

<sup>1</sup> Segundo Becher e Kaltschmitt (1994), Cadeia de Suprimento de Biomassa, do Inglês *Biomass Supply Chain (BSC)*, consiste em processos distintos desde a coleta, passando por armazenamento até o transporte da biomassa para a unidade de conversão.

composto por diversas biolagoas cobertas. Outro fator importante é que não foram incluídas no modelo restrições relativas aos aspectos legais de descarte dos efluentes dos biodigestores, limitando-o, assim, apenas aos aspectos econômicos da geração de biogás e biofertilizante.

A principal limitação técnica do modelo é o fato da produção de biofertilizante não estar associada diretamente com a temperatura interna dos biodigestores. Esta limitação é oriunda da falta de uma equação no modelo que relacione temperatura e tempo de retenção hídrico (TRH) com o crescimento da biomassa (Y) do biodigestor.

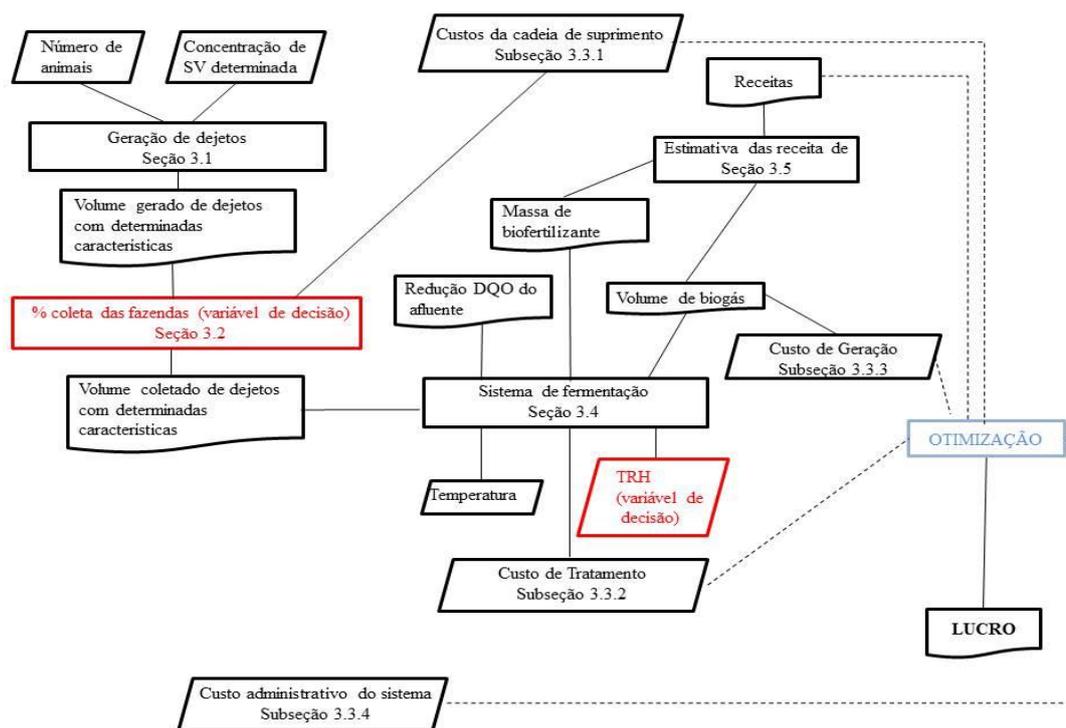
Outra limitação diz respeito ao processo de validação do modelo. Para a validação total do modelo seria necessário comparar seus resultados com os obtidos de um sistema idêntico, implantado no mundo real. Entretanto, a inexistência deste sistema obriga a realização de comparações com trabalhos similares já publicados, ocorrendo assim, apenas uma validação parcial do modelo, com base na literatura.

### 3 O MODELO



O modelo proposto tem como objetivo dar suporte ao processo de tomada de decisão sobre a coleta, e conseqüente transporte até biodigestores, de dejetos suinícolas de propriedades rurais. A função objetivo do modelo é maximizar o lucro, considerando as receitas oriundas da venda de biogás e biofertilizante, bem como todos os custos associados ao processo de coleta, transporte, tratamento dos dejetos suinícolas, e geração de energia. As variáveis de decisão do modelo são as porcentagens de coleta de cada propriedade que disponibilize dejetos, e o TRH. A arquitetura do modelo pode ser representada resumidamente pelo fluxograma da figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do modelo proposto



Fonte: O Autor



A seguir serão apresentados os parâmetros, equações, função objetivo, restrições do modelo e o modelo propriamente dito.

### 3.1 QUANTIDADE DE SÓLIDOS VOLÁTEIS E VOLUME GERADO PARA CADA PROPRIEDADE

Cada propriedade candidata a ter seus dejetos coletados e transportados até os biodigestores produz uma quantidade específica de dejetos, com certas características. Este volume produzido pode ser estimado através da razão entre massa dos sólidos voláteis gerados pelos suínos, com a concentração de sólidos voláteis que o dejetos suínola da propriedade possui. Esta concentração está estreitamente relacionada com a quantidade de água incorporada aos dejetos, seja por ocasião da limpeza das baias de criação, por entrada da água da chuva, pelo desperdício ocasionado pelos bebedouros, entre outros aspectos.

No modelo proposto, a quantidade de sólidos voláteis foi estimada através da relação sugerida pela equação 1 (produção diária de sólidos voláteis por animal), que utiliza os valores indicados por Tavares et al. (2014) e Tavares (2012) para a produção

diária de dejetos por animal e concentração de sólidos voláteis, respectivamente. Também foi utilizada relação de massa/volume dos dejetos proposta por Rolas (1995) apud Miranda et al. (1999).

$$SVa = 4,46 * 1,03 * 0,04573 \quad (1)$$

em que :

$SVa_i$  = Produção de sólidos voláteis por animal (kg/dia).

A partir da massa diária gerada de SV por animal é possível obter uma estimativa para a quantidade de sólidos voláteis produzida semanalmente por cada propriedade  $i$  ( $SV_i$ ), expressa em kg/semana, conforme equação 2.

$$SV_i = 7 \times SVa \times Na_i \quad (2)$$

em que:

$Na_i$  = Número de animais da propriedade  $i$ .

Considerando a  $SV_i$ , e a concentração de sólidos voláteis, o volume de dejetos associado à propriedade,  $V_{pr_i}$ , em  $m^3$ /semana é dado pela equação 3.



$$V_{pr_i} = SV_i / So_i \quad (3)$$

em que:

$So_i$  = Concentração de sólidos voláteis no dejetos da propriedade  $i$  (kg/ $m^3$ )

Apesar de cada propriedade possuir um determinado número de animais, e conseqüente massa de SV e volume de dejetos, o modelo em questão pode ou não indicar a coleta destes em sua totalidade. A porcentagem de coleta de dejetos em cada propriedade depende de aspectos econômicos e operacionais que serão vistos na próxima seção.

### 3.2 DISTÂNCIA, TEMPO, VOLUME, E PORCENTAGEM DE COLETA DE DEJETOS

Considerando que cada propriedade possui um  $V_{pr_i}$ , e que o veículo responsável pelo transporte possui uma certa capacidade de carga (capacidade de

tanque), torna-se possível determinar a frequência semanal necessária para realizar a coleta de 100% dos dejetos, através da equação 4:

$$Fr_i = Vpr_i / CaT \quad (4)$$

em que:

$Fr_i$  = Frequência de Viagem vinculada à propriedade i (viagem/semana);

$Vpr_i$  = Volume de dejetos da propriedade ( $m^3$ );

$CaT$  = Capacidade de Tanque ( $m^3$ );

Cada propriedade está vinculada a uma distância a ser percorrida, equivalente à soma das distâncias de ida e volta da propriedade até o local dos biodigestores (equação 5):

$$D_i = Di_i + Dv_i \quad (5)$$

em que:

$D_i$  = Distância total percorrida por viagem vinculada à propriedade i (km);

$Di_i$  = Distância percorrida na ida por viagem vinculada à propriedade i (km);

$Dv_i$  = Distância percorrida na volta por viagem vinculada à propriedade i (km);

O produto de  $Fr_i$  por  $D_i$  pela porcentagem de coleta,  $C\%_i$ , variável de decisão do modelo, possibilita obter a distância semanal percorrida associada à propriedade i ( $Ds_i$ ), em km/semana (equação 6).

$$Ds_i = Fr_i \times D_i \times C\%_i \quad (6)$$

O somatório de  $Ds_i$  (equação 7) servirá como base para calcular os custos variáveis da cadeia de suprimento, de acordo com o que será descrito na subseção 3.3.1.

$$Ds = \sum_{i=1}^f Ds_i \quad (7)$$

em que:

$Ds$  = Distância total semanal percorrida (km)

$f$  = número de propriedades do sistema

Associado à distância total e ao tempo de bombeamento do dejetos, cada propriedade possui um tempo necessário para realizar a coleta e transporte dos dejetos das propriedades até os biodigestores, dado por  $Tc_i$ , tempo de ciclo, expresso em horas/semana.

O produto de  $Fr_i$  por  $Tc_i$  pela  $C\%_i$  resultará no tempo de ciclo semanal da propriedade  $i$  ( $Tcs_i$ ) (Equação 8).

$$Tcs_i = Fr_i \times Tc_i \times C\%_i \quad (8)$$

O somatório de  $Tcs_i$  (equação 9) para as  $f$  propriedades servirá como subsídio para calcular os custos fixos da cadeia de suprimento, conforme o que é descrito na subseção 3.3.1.

$$Tcs = \sum_{i=1}^f Tcs_i \quad (9)$$

em que:

$Tcs$  = Tempo de ciclo semanal total (horas/semana)

A quantidade de dejetos a ser fermentada, em  $m^3$ , de cada propriedade ( $VDEJ_i$ ) é dada pela equação 10.

$$VDEJ_i = Fr_i \times Vpr_i \times C\%_i \quad (10)$$

O somatório de  $VDEJ_i$  para todas as  $f$  propriedades fornecerá o volume total a ser fermentado,  $VDEJ$ , em  $m^3$  (equação 11):

$$VDEJ = \sum_{i=1}^f VDEJ_i \quad (11)$$

As receitas oriundas do biofertilizante e biogás, bem como os custos de tratamento e geração são função de  $VDEJ$ .

### 3.3 ESTIMATIVAS DOS CUSTOS DO SISTEMA DE COLETA, TRANSPORTE E TRATAMENTO DOS DEJETOS

Os custos do sistema de coleta, transporte e tratamento dos dejetos suinícolas são segmentados em custos da cadeia de suprimento, de tratamento, de geração e administrativos. A seguir serão apresentados os parâmetros utilizados para estimar tais custos.

### 3.3.1 Custo da cadeia de suprimento

A cadeia de suprimento apresenta custos fixo e variável. O custo fixo independe do volume de dejetos coletados e da distância percorrida para realizar a coleta, sendo por isso representado pela soma dos custos com o pagamento do motorista do veículo de transporte, e com os custos de juros, manutenção e depreciação do veículo e bomba. Já o custo variável depende diretamente do volume de dejetos coletados e da distância percorrida para realizar a coleta. O custo variável é composto pelos custos de bombeamento, de combustível gasto nos deslocamentos, e desgaste de pneus. As equações 12 até 17 referem-se à composição do custo fixo, enquanto as equações 18 até 21 relacionam-se a formação do custo variável da cadeia de suprimento:

Custo básico com pagamento do motorista (equação 12):

$$C_{mot} = N_{mot} \times (7/30) \times (1 + ES_{mot}) \times Sal_{mot} \quad (12)$$

em que:

$C_{mot}$  = Custo básico do motorista (R\$/semana);

$N_{mot}$  = Número de motoristas necessários na cadeia de suprimento;

$ES_{mot}$  = Encargos sociais referentes ao motorista (% do salário bruto);

$Sal_{mot}$  = Salário Bruto do Motorista (R\$/mês).

O número de motoristas é dado por (equação 13):

$$N_{mot} = \lceil (Tcs/Hstmot) \rceil \quad (13)$$

em que:

$Hst_{mot}$  = Horas semanais trabalhadas por motorista (horas/semana).

A equação 14 refere-se aos custos com juros e depreciação do veículo e bomba.

$$C_{jdvb} = N_{vei} \frac{7}{30} \left[ (Pr_{vei} + Pr_{bomb}) - \frac{Pr_{rvb}}{(1+TMA)^{N_{uvb}}} \right] \frac{TMA(1+TMA)^{N_{uvb}}}{(1+TMA)^{N_{uvb}} - 1} \quad (14)$$

em que:

$C_{jdvb}$  = Juros e depreciação do veículo + bomba (R\$/semana);

$Pr_{vei}$  = Preço do veículo (R\$);

$Pr_{bomb}$  = Preço da bomba (R\$);

$Pr_{rvb}$  = Preço residual do conjunto veículo + bomba (R\$);

TMA = Taxa mínima de atratividade;

$N_{uvb}$  = Vida útil do conjunto veículo + bomba (meses);

$N_{vei}$  = Número de veículos;

O número de veículos necessários à operação é dado pela equação 15:

$$N_{vei} = \lceil (Tcs / (Hts_{vei})) \rceil \quad (15)$$

em que:

$Hts_{vei}$  = horas semanais trabalhadas por veículo



A equação 16 é referente ao custo de manutenção do veículo e bomba.

$$C_{mnb} = N_{vei} \times (7/365) \times T_{mnb} \times (Pr_{vei} + Pr_{bomb}) \quad (16)$$

em que:

$C_{mnb}$  = Custo de manutenção do veículo e bomba (R\$/semana);

$T_{mnb}$  = Taxa anual de manutenção do conjunto veículo + bomba (% do  $Pr_{vei}$ ).

Considerando as equações 12, 14 e 16 torna-se possível calcular o custo fixo da cadeia de suprimento (equação 17).

$$CF_{cs} = C_{mot} + C_{jdvb} + C_{mnb} \quad (17)$$

em que:

$CF_{cs}$  = Custo fixo da cadeia de suprimento (R\$/semana).

Como dito anteriormente, o custo variável é composto pelos custos de bombeamento, de combustível gasto no deslocamento, e desgaste de pneus. As

equações 18 até 21 compreendem o processo de formação dos custos variáveis da cadeia de suprimento.

Custo de bombeamento (equação 20):

$$C_{bomb} = VDEJ \times (Con_{dieb} \times Pr_{die}/Va_{bomb}) \quad (18)$$

em que:

$C_{bomb}$  = Custo de bombeamento (R\$/semana);

VDEJ = Volume total de dejetos a ser fermentado (m<sup>3</sup>/semana);

Con<sub>dieb</sub> = Consumo de óleo diesel pela bomba (L/hora);

Pr<sub>die</sub> = Preço do diesel (R\$/L);

Va<sub>bomb</sub> = Vazão da bomba (m<sup>3</sup>/hora).

Custo de combustível no deslocamento (equação 19):

$$C_{comb} = Ds \times (Pr_{die}/Con_{diev}) \quad (19)$$

em que:

$C_{comb}$  = Custo de combustível no deslocamento (R\$/semana);

Ds = Distância total semanal percorrida (km/semana);

Con<sub>diev</sub> = Consumo de diesel pelo veículo (R\$/km);



Desgaste de pneus (equação 20):

$$C_{pneus} = \frac{Ds \times N_{pneus} \times (Pr_{pneu} + N_{rec} \times Pr_{rec})}{(1 + N_{rec}) \times D_{pneu}} \quad (20)$$

em que:

$C_{pneus}$  = Custo de desgaste dos pneus (R\$/semana);

$N_{pneus}$  = Número de pneus do conjunto veículo e bomba;

Pr<sub>pneu</sub> = Preço de cada pneu (R\$/unidade);

$N_{rec}$  = Número de recapeamento por jogo de pneus;

Pr<sub>rec</sub> = Preço de recapeamento por pneu (R\$/unidade);

$D_{pneu}$  = Distância média percorrida por jogo de pneus (Km).

A partir das equações 18, 19 e 20 é possível calcular o custo variável da cadeia de suprimento, conforme equação 21.

$$CV_{cs} = C_{bomb} + C_{comb} + C_{pneus} \quad (21)$$

em que:

$CV_{cs}$  = Custo variável da cadeia de suprimento (R\$/semana).

### 3.3.2 Custo de Tratamento

Fazem parte dos custos de tratamento, os custos com juros e depreciação referentes ao valor de aquisição dos biodigestores, bem como os gastos despendidos com sua manutenção e operação. A equação 22 serve para calcular os custos com juros e depreciação dos biodigestores ( $C_{jdb}$ ), em R\$/semana:

$$C_{jdb} = N_{bio} \frac{7}{30} \left[ Pr_{bio} - \frac{Pr_{rb}}{(1+TMA)^{N_{ub}}} \right] \frac{TMA(1+TMA)^{N_{ub}}}{(1+TMA)^{N_{ub}-1}} \quad (22)$$

em que:

$N_{bio}$  = Número de biodigestores;

$Pr_{bio}$  = Preço de um biodigestor (R\$);

$Pr_{rb}$  = Preço residual de um biodigestor (R\$);

$N_{ub}$  = Vida útil de um biodigestor (meses).



O número de biodigestores é dado pela equação 23:

$$N_{bio} = [TRH \times VDEJ \times (1/7)/CAP_{bio}] \quad (23)$$

em que:

TRH = Tempo de retenção hídrico (dias);

$CAP_{bio}$  = Capacidade de um biodigestor ( $m^3$ )

Já a equação 24 fornece o custo de manutenção e operação dos biodigestores ( $C_{mob}$ ), em R\$/semana:

$$C_{mob} = N_{bio} \times (7/365) \times T_{mb} \times Pr_{bio} \quad (24)$$

em que:

$T_{mb}$  = Taxa anual de manutenção e operação do biodigestor (% do  $Pr_{bio}$ ).

Considerando os custos com juros e depreciação dos biodigestores, bem como o custo de manutenção e operação dos biodigestores pode-se obter o custo de tratamento ( $C_{trat}$ ), em R\$/semana, através da equação 25.

$$C_{trat} = C_{jdb} + C_{mob} \quad (25)$$

### 3.3.3 Custo de Geração

O custo de geração refere-se aos valores associados para a transformação do biogás em energia elétrica, através de geradores de combustão interna. Tal custo se segmenta em custos com juros e depreciação referentes ao valor de aquisição dos geradores, bem como os custos despendidos em manutenção.

A equação 26 apresenta os custos com juros e depreciação referentes ao valor de aquisição dos geradores ( $C_{jdg}$ ), em R\$ por semana:

$$C_{jdg} = N_{ger} \frac{7}{30} \left[ Pr_{ger} \frac{(1+TMA)^{Nug} - 1}{TMA} + Pr_{rb} \frac{(1+TMA)^{Nug} - 1}{TMA} \right] \quad (26)$$

em que:

$Pr_{ger}$  = Preço de um gerador (R\$);

$Pr_{rb}$  = Preço residual de um gerador (R\$);

$N_{ub}$  = Vida útil de um gerador (meses);

$N_{ger}$  = Número de geradores.

O número de geradores é calculado através da equação 27:

$$N_{ger} = \left[ (EL / (\%_{opg} \times 24 \times 7)) / Pot_{ger} \right] \quad (27)$$

em que:

EL = Energia elétrica (kWh/semana);

$\%_{opg}$  = porcentagem de operação frente à capacidade máxima do gerador (%).

$Pot_{ger}$  = Potência de um gerador (kWh).

A energia elétrica produzida é diretamente proporcional à quantidade de biogás. Segundo Santos (2000), cada  $m^3$  de biogás equivale a 1,62 kWh, convertidos

por meio de motores de combustão interna. A equação 28 apresenta a EL em função da quantidade de biogás produzida:

$$EL = 1,62 \times BIOG \quad (28)$$

em que:

BIOG = Volume total de biogás produzido (m<sup>3</sup>/semana).

O custo de manutenção dos geradores  $C_{mg}$ , em R\$/semana, é dado pela equação 29:

$$C_{mg} = N_{ger} \times (7/365) \times T_{mg} \times Pr_{ger} \quad (29)$$

em que:

$T_{mg}$  = Taxa anual de manutenção do gerador (% do  $Pr_{ger}$ ).

Levando em consideração  $C_{jdg}$  e  $C_{mg}$  é possível calcular o custo de geração ( $C_{ger}$ ), em R\$/semana, por meio da equação 30:

$$C_{ger} = C_{jdg} + C_{mg} \quad (30)$$



### 3.3.4 Custo Administrativo do Sistema

O custo administrativo do sistema ( $C_{as}$ ), expresso em R\$/mês, envolve o salário de um auxiliar administrativo e encargos sociais. A equação 31 calcula o  $C_{as}$ :

$$C_{as} = 7/30 \times (1 + ES_{adm}) \times Sal_{adm} \quad (31)$$

em que:

$ES_{adm}$  = Encargos sociais ao auxiliar administrativo (% do salário bruto);

$Sal_{adm}$  = Salário bruto do auxiliar administrativo (R\$/mês).

### 3.4 SISTEMA DE FERMENTAÇÃO: ESTIMATIVAS DA REDUÇÃO DA DQO, E DAS PRODUÇÕES DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE.

Segundo Chernicharo (1997), a Demanda Química de Oxigênio (DQO) total que entra em um biodigestor segmenta-se após o tratamento em quatro parcelas distintas, sendo estas: parcela de DQO convertida em gás metano; parcela utilizada para o crescimento celular bacteriano; parcela de DQO não convertida, e mantida no lodo do reator, e parcela de DQO não convertida, perdida no efluente. A figura 2 apresenta um esquema sobre a segmentação da DQO total após o tratamento em biodigestores.

Com base no entendimento de Chernicharo (1997) é admissível modelar o processo de fermentação em biodigestores. Através desta modelagem é possível obter estimativas das produções de biogás e biofertilizante, bem como da redução da DQO do afluente suinícola. A seguir serão apresentadas as equações que tratam das reações que ocorrem no sistema de fermentação.

#### 3.4.1 Estimativa da DQO total



Para a obtenção da quantidade de DQO por kg de SV foi realizada a divisão da DQO (g O<sub>2</sub>/L) pela concentração de SV (g/L) (equação 32). Tais parâmetros foram obtidos a partir do trabalho de Tavares (2012):

$$Q_{DQO} = 79,60/45,70 \quad (32)$$

em que:

$Q_{DQO}$  = quantidade de DQO em um Kg de sólidos voláteis (KgDQO/ Kg<sub>sv</sub>);

$B_0$  = taxa máxima de produção de metano (m<sup>3</sup>/Kg<sub>sv</sub>).

A partir da determinação de  $Q_{DQO}$ , e do conhecimento da quantidade de SV presente em um determinado afluente, é possível determinar sua DQO total, através da equação 33:

$$DQO_{total} = Q_{DQO} \times SV \quad (33)$$

em que:

DQO<sub>total</sub> = DQO total de um afluente (KgDQO);

SV = massa de sólidos voláteis do afluente, (Kg).

### 3.4.2 Estimativa da produção de metano e da parcela de DQO convertida em metano

Rearranjando o modelo proposto por Chen e Hashimoto (1978), a produção total de metano em determinado momento (B), dada em m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/Kg de SV, pode ser obtida através da equação 34:

$$B = B_0 \left( \frac{\mu_m * TRH - 1}{TRH * \mu_m - 1 + K} \right) \quad (34)$$

em que:

B<sub>0</sub> = taxa máxima de produção de metano, com tempo tendendo ao infinito (m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> / kg de SV);

S<sub>0</sub> = concentração de SV do efluente (kg / m<sup>3</sup>);

TRH= tempo de retenção hídrico (dias), variável de decisão;

μ<sub>m</sub> = taxa de crescimento máximo específico (dia<sup>-1</sup>);

K = coeficiente cinético (adimensional).

De acordo com Hashimoto et al. (1981), a taxa de crescimento específico é calculada através da equação 35

$$\mu_m = 0,013 \times T - 0,129 \quad (35)$$

em que:

T = temperatura da biomassa (°C).

Já o coeficiente cinético (K) é obtido através da equação 36 (HASHIMOTO, 1984):

$$K = 0,6 + 0,206 \times e^{0,051 \times S_0} \quad (36)$$

Para calcular o volume total de metano produzido (CH<sub>4</sub>), em m<sup>3</sup>, é necessário realizar o produto de B pela quantidade total de SV (equação 37):

$$CH_{4 \text{ total}} = B \times SV \quad (37)$$

De acordo com Hashimoto (1984), o biogás, oriundo da fermentação anaeróbica dos dejetos de suínos, possui em média 59,02% de metano. Desta forma pode-se estimar o volume total de biogás produzido (BIOG), em m<sup>3</sup>, a partir da equação 38:

$$BIOG = CH_4_{total}/0,5902 \quad (38)$$

McCarty (1964), através de relações estequiométricas, estabeleceu que para cada grama de DQO degradada é necessário a produção de 350 mililitros de CH<sub>4</sub>. Considerando tal relação estequiométrica, a obtenção da parcela da DQO convertida em gás metano pode ser expressa pela equação 39:

$$DQO_{CH_4} = CH_4_{total}/0,35 \quad (39)$$

em que:

DQO<sub>CH<sub>4</sub></sub> = DQO convertida em gás metano (KgDQO).

3.4.3 Estimativa da produção de biomassa e das parcelas de DQO utilizada para o crescimento celular e mantida no biodigestor



Segundo Campos et al. (2005), o coeficiente de produção de biomassa (Y), expresso em kgDQO.kgSV<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, é dado pela equação 40:

$$Y = (2,9543/TRH) + 0,0409 \quad (40)$$

Ao multiplicarmos Y pela quantidade total de SV do afluente obtém-se a produção de sólidos no sistema (P<sub>lodo</sub>), expresso em kgDQO<sub>lodo</sub>, conforme equação 41:

$$P_{lodo} = Y \times SV \quad (41)$$

A partir do valor de P<sub>lodo</sub>, e através da equação 42 proposta por Chernicharo (1997), pode-se obter o valor da soma da DQO convertida em crescimento celular das bactérias (DQO<sub>cel</sub>), com aquela mantida no lodo do biodigestor (DQO<sub>ret</sub>):

$$P_{lodo} = DQO_{cel} + DQO_{ret} \quad (42)$$

De acordo com Chernicharo (1997), 1,14kg de  $DQO_{lodo}$  possui 1 kg de Sólidos Totais. Desta forma, através da razão de  $P_{lodo}$  por 1,14, pode-se calcular a massa de sólidos do biodigestor que tem potencial para ser usada como biofertilizante (equação 43).

$$M_{biof} = P_{lodo}/1,14 \quad (43)$$

em que:

$M_{biof}$  = biomassa restante, ou biofertilizante (kg).

#### 3.4.4 Estimativa da DQO do Efluente após o tratamento

Considerando que o afluente a ser tratado possui uma  $DQO_{total}$ , a estimativa da DQO do efluente após tratamento pode ser estimada através da equação 44:

$$DQO_{efl} = DQO_{total} - DQO_{CH_4} - P_{lodo} \quad (44)$$



#### 3.5 ESTIMATIVA DAS RECEITAS DO SISTEMA DE COLETA, TRANSPORTE E TRATAMENTO DE DEJETOS SUINÍCOLAS

As receitas do sistema de coleta, transporte e tratamento de dejetos suinícolas são oriundas do produto das quantidades de biofertilizante e biogás por seus respectivos preços. Essas quantidades são estimadas a partir das equações 43 e 38, respectivamente. O preço do biofertilizante pode ser conhecido de maneira simples, através de um levantamento de mercado na região onde o modelo for aplicado. Já a precificação do biogás é um pouco mais complexa, sendo necessária a criação de um fator que relacione a quantidade energética de 1 m<sup>3</sup> de biogás em energia elétrica, ou seja, transforme m<sup>3</sup> em kWh.

Segundo Santos (2000), a relação entre energia elétrica e biogás é de 6,5 kWh/m<sup>3</sup>. Entretanto, a conversão de biogás em eletricidade, por meio de gerador de motor de combustão interna, tem rendimento médio de 25%, o que reduz esta relação para 1,62 kWh/m<sup>3</sup>. Desta forma, pode-se relacionar o preço do kWh com o m<sup>3</sup> de biogás. Considerando as relações apontadas anteriormente, as receitas provenientes

do biofertilizante ( $R_{biof}$ ) e biogás ( $R_{biog}$ ) são expressas, respectivamente, pelas equações 45 e 46:

$$R_{biof} = M_{biof} \times Pr_{biof} \quad (45)$$

em que:

$Pr_{biof}$  = Preço do biofertilizante (R\$/kg).

$$R_{biog} = BIOG \times Pr_{kWh} \times 1,62 \quad (46)$$

em que:

$Pr_{kWh}$  = Preço da energia elétrica (R\$/kWh).

### 3.6 FUNÇÃO OBJETIVO E VARIÁVEIS DE DECISÃO

A função objetivo do problema é maximizar o lucro ( $Z$ ), variando o TRH e a porcentagem de coleta semanal dos dejetos de cada propriedade. A equação 47 apresenta a função objetivo do problema:

$$Max Z (TRH, C\%_i) = \{R_{biof} + R_{biog}\} - \{CF_{cs}\} - \{CV_{cs}\} - \{C_{trat}\} - C_{ger} - \{C_{as}\} \quad (47)$$


### 3.7 RESTRIÇÕES

Basicamente o modelo apresenta três restrições. Entretanto, outras podem ser incluídas, conforme demanda do problema. A primeira restrição é que a porcentagem dos dejetos coletados em cada propriedade ( $C\%_i$ ) tem que ser maior ou igual à zero. A segunda é que esta porcentagem tem que ser menor ou igual a 100%. E a terceira diz respeito a não negatividade da  $DQO_{efl}$ . A equação 48 resume as três restrições do problema:

$$\begin{aligned} C\%_i &\geq 0 \\ C\%_i &\leq 100\% \\ DQO_{efl} &\geq 0 \end{aligned} \quad (48)$$

### 3.8 O MODELO PROPRIAMENTE DITO

Considerando todas as equações mencionadas, o modelo propriamente dito resume-se a:

Max Z (TRH, C%<sub>i</sub>)

$$\begin{aligned}
 &= \left\{ \sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i \right. \\
 &* C\%_i) \left[ \left[ B_0 \left( \frac{(0,013T - 0,129)TRH - 1}{TRH(0,013T - 0,129) - 1 + (0,6 + 0,206e^{0,051*S_0})} \right) \frac{1}{0,5902} \right] \right. \\
 &+ \left. \left[ \frac{(2,9543/TRH) + 0,0409S_0 * Pr_{bio}}{1,14} \right] \right\} \\
 &- \left\{ \left[ \frac{\sum_{i=1}^f (Fr_i * Tc_i * C\%_i)}{Hts_{mot}} \right] \frac{7}{30} (1 + Es_{mot}) Sal_{mot} \right\} \\
 &+ \left[ \frac{\sum_{i=1}^f (Fr_i * Tc_i * C\%_i)}{Hts_{vei}} \right] \left[ \left[ (Pr_{vei} + Pr_{bomb}) - \frac{Pr_{rvb}}{(1 + TMA)^{N_{uvb}}} \right] \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{uvb}}}{(1 + TMA)^{N_{uvb}} - 1} \right. \\
 &+ \left. \left[ \frac{7}{365} T_{mb} * (Pr_{vei} + Pr_{bomb}) \right] \right] \\
 &- \left\{ \sum_{i=1}^f \frac{Fr_i * Vpr_i * C\%_i * Con_{die} * Pr_{die}}{Con_{die} * Pr_{die} + Pr_{die} * Pr_{bomb}} \right\} \\
 &+ \sum_{i=1}^f (Fr_i * d_i * C\%_i) \left[ \left( \frac{Pr_{die}}{Con_{die}} \right) + \left( \frac{N_{pneus}(Pr_{pneus} + N_{rec} * Pr_{rec})}{(1 + N_{rec})D_{pneus}} \right) \right] \\
 &- \left\{ \frac{TRH * \sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i * C\%_i)}{CAP_{bio}} \right\} \left[ \left[ \frac{7}{30} \left[ Pr_{bio} - \frac{Pr_{rb}}{(1 + TMA)^{N_{ub}}} \right] \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{ub}}}{(1 + TMA)^{N_{ub}} - 1} \right] \right. \\
 &+ \left. \left[ \frac{7}{365} T_{mb} * Pr_{bio} \right] \right\} \\
 &- \left\{ \left[ B_0 \left( \frac{(0,013T - 0,129)TRH - 1}{TRH(0,013T - 0,129) - 1 + (0,6 + 0,206e^{0,051*S_0})} \right) \left( \sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i \right. \right. \right. \\
 &* C\%_i) S_0 1,62 \left. \left. \left. \left( \frac{1}{\%_{opg} 168} \right) \frac{1}{Pot_g} \right] \left[ \frac{7}{30} \left( Pr_{ger} - \frac{Pr_{rg}}{(1 + TMA)^{N_{ug}}} \right) \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{ug}}}{(1 + TMA)^{N_{ug}} - 1} \right] \right. \right. \right. \\
 &+ \left. \left. \left. \left[ \frac{7}{365} T_{mg} * Pr_{ger} \right] \right] \right\} - \left\{ \frac{7}{30} (1 + Es_{adm}) Sal_{adm} \right\}
 \end{aligned}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
 C\%_i &\geq 0 & \forall i = 1, \dots, f \\
 C\%_i &\leq 100\% & \forall i = 1, \dots, f
 \end{aligned}$$

$$\frac{79,8}{45,7} \left( \sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i * C\%_i) S_0 \right) \left( 1 - \left( \frac{(0,013T - 0,129)TRH - 1}{TRH(0,013T - 0,129) - 1 + (0,6 + 0,206e^{0,051*S_0})} \right) \right) - ((2,9543/TRH) + 0,0409) \left( \sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i * C\%_i) S_0 \right) \geq 0$$

#### 4 RESOLUÇÃO

Para a resolução do modelo foi utilizada a planilha eletrônica *Microsoft Excel 2010*, através do suplemento *Solver*. Para modelos não lineares, inteiros mistos, como o do presente trabalho, os métodos de resolução utilizados pelo *Solver* são:

- Métodos de buscas locais (implementado pela empresa *Frontline Systems, Inc*);
- Algoritmo Genético (implementado pela empresa *Frontline Systems, Inc*);
- Método de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG2) (desenvolvido por Leon Lasdon da Universidade do Texas, e Alan Waren da Universidade de Cleveland, aprimorado por *Frontline Systems, Inc*).

#### 5 DADOS DE ENTRADA PARA REALIZAÇÃO DE UM ESTUDO DE CASO



O modelo foi aplicado em um estudo de caso, no qual o sistema de coleta, transporte e fermentação é composto por um suposto local destinado para a instalação de biodigestores, e 82 propriedades suinícolas cadastradas, no município de Tupandi – RS. O município contém ao todo aproximadamente 70.000 animais que geram semanalmente cerca de 2250 m<sup>3</sup> de dejetos. As distâncias das propriedades até o local de fermentação dos dejetos em biodigestores variam de 0,5 a 12,7 km. A temperatura do efluente foi fixada em 19,6 °C (temperatura média anual do município), e o B<sub>0</sub> em 0,266 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de SV, valor sugerido no trabalho de La Farge (1995) apud Macedo (2013).

Os parâmetros referentes a preços, encargos e aspectos operacionais foram obtidos, durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2014, através de pesquisas online ou telefonemas para vendedores e/ou representantes comerciais. A tabela 1 apresenta tais parâmetros.

Tabela 1 – Parâmetros referentes a preços e aspectos operacionais

<b>CAMINHÃO, CONJUNTO TANQUE + MOTO-BOMBA</b>	
Preço do Caminhão (R\$/unidade)	203.688
Preço do Conjunto Tanque + Moto-bomba (R\$/unidade)	38.000
Vida útil do Equipamento (meses)	72
Quantidade máxima de horas de funcionamento do veículo (horas/semana)	72
Valor Residual do Equipamento (R\$/unidade)	150.828
Taxa Anual de Manutenção do Equipamento (% do valor total)	5%
Capacidade do Tanque (m <sup>3</sup> )	15
Vazão de Bombeamento (m <sup>3</sup> /hora)	150
Número de Pneus	10
Preço do Óleo Diesel (R\$/litro)	2
Preço do Pneu (R\$/unidade)	1.530
Preço do Recapeamento (R\$/unidade)	380
Consumo de Óleo Diesel pela Bomba (litros/hora)	17
Consumo de Óleo Diesel pelo Veículo (km/litro)	2
# Recapeamento por Jogos de Pneus	2
Distância Média Percorrida por Jogo de Pneus (km)	25.000
<b>BIODIGESTOR</b>	
Volume (m <sup>3</sup> /unidade)	1.012,66
Preço do biodigestor (R\$/unidade)	169.980
Vida útil (meses)	72
Valor Residual (R\$/unidade)	-
Taxa Anual de Manutenção e Operação (%)	5%
<b>GERADOR</b>	
Potência (kW/unidade)	100
Preço do Gerador (R\$/unidade)	120.000
Vida útil	72
Valor Residual	-
Taxa Anual de Manutenção (%)	5%
Porcentagem da capacidade de operação (%opg)	90%
<b>ENERGIA ELÉTRICA</b>	
Preço da Energia Elétrica (R\$/kWh)	0,301419
<b>ENCARGOS FINANCEIROS</b>	
Taxa Mínima de Atratividade (% a.a.)	12%
Taxa mínima de atratividade (%a.m.)	0,95%
<b>SALÁRIOS E ENCARGOS SOCIAIS</b>	
Salário Bruto do Motorista (R\$/mês)	1800
Salário Bruto do Auxiliar Administrativo (R\$/mês)	1800
Horas Normais de Trabalho por colaborador (horas/semana)	36
Encargos Sociais (%)	96%

Fonte: Os Autores

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 VALIDAÇÃO DO MODELO

De acordo com o modelo apresentado neste trabalho, a produção de m<sup>3</sup> de biogás/animal/mês foi de 1,95, valor muito próximo ao que Lindemeyer (2008) e Nishimura (2009) verificaram em campo, 1,90 e 3,16 m<sup>3</sup> de biogás/animal/mês, respectivamente. Tal proximidade entre os valores dá certa credibilidade ao modelo sugerido.

### 6.2 ASPECTOS OPERACIONAIS

Para o estudo de caso proposto, o modelo optou por coletar 100% dos dejetos das 82 propriedades, ou seja, 2.246 (m<sup>3</sup>/semana). Já o tempo de retenção hídrico (TRH) estipulado foi de 21,9 dias (TRH). Para comportar o volume coletado respeitando o TRH são necessários 7 biodigestores de 1 012,66 m<sup>3</sup>.

O modelo indicou a geração de 18.666 m<sup>3</sup> de metano semanais. Para converter todo biocombustível em energia elétrica (30.240 kWh) faz-se necessária uma potência total de 200 kW, ou seja 2 geradores de 100 kW. Além da energia gerada o modelo também estimou a quantidade de biofertilizante produzida: 20.633 kg/semana.

De acordo com o modelo a demanda química de oxigênio (DQO) do efluente reduz-se em 40% após os 21,9 dias de tratamento. Aproximadamente 30% da DQO total é convertida em metano e 10% em biofertilizante, os outros 60% permanecem no efluente. Apesar da redução da DQO, esta não se adapta ao critério estabelecido pela resolução CONSEMA 128/2006 (RS) sobre o lançamento de efluente em corpos d'água. De acordo com este órgão o efluente passível de lançamento deve ter DQO aproximada de 336 mgO<sub>2</sub>/L, o que representaria uma redução da DQO para o presente caso de mais de 90%.

### 6.3 ASPECTOS FINANCEIROS

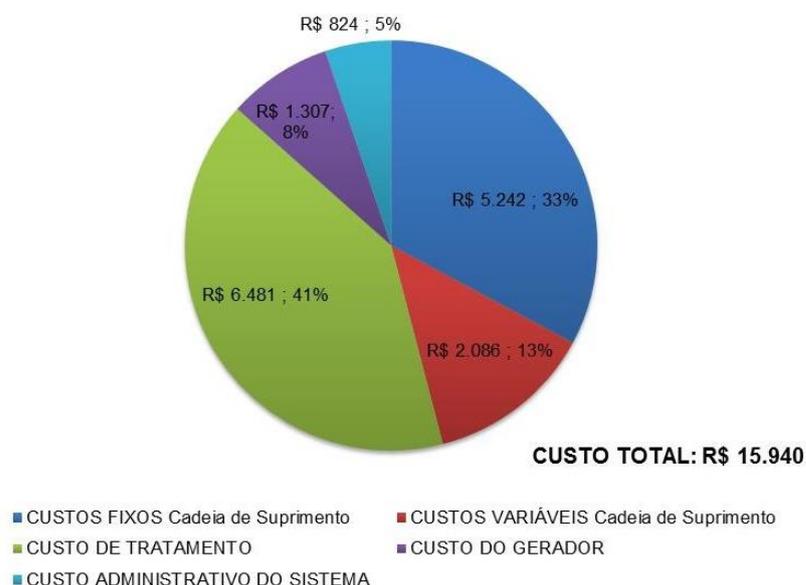
A alternativa de tratamento dos dejetos em biodigestores apresentou lucro semanal de R\$ 1.554. Entretanto, não foram consideradas variações na temperatura

(o que pode influenciar negativamente no processo de fermentação), e nem riscos associados à oferta não uniforme dos dejetos.

### 6.3.1 Custos

Em relação aos custos estes somam semanalmente R\$ 15.940, sendo que o custo de tratamento é o principal responsável por este valor, seguido pelos custos fixo da cadeia de suprimento, variável da cadeia de suprimento, do gerador e administrativo, respectivamente. A figura 2 apresenta a segmentação dos custos.

Figura 2 – Gráfico da composição da estimativa do custo total



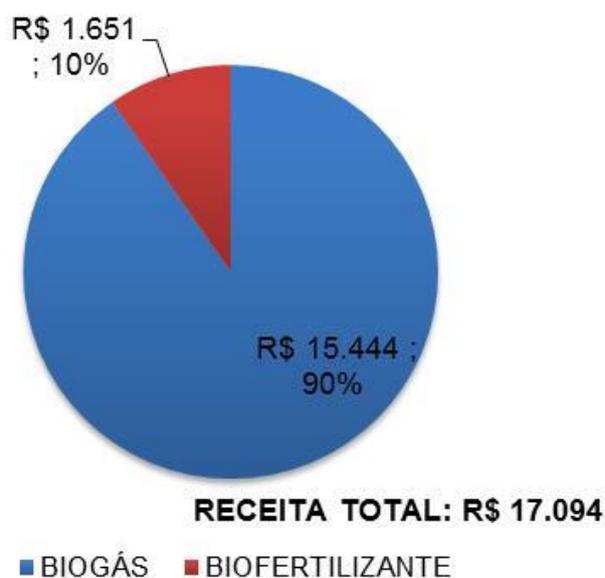
Fonte: Os Autores

Percebe-se, a partir da figura 2, que o custo de tratamento é o maior responsável pelo custo total. Entretanto se somarmos os custos fixos e variáveis da cadeia de suprimento, o custo referente a esta soma passará a ser o maior. Assim o custo relacionado a logística e transporte dos dejetos é o que detém maior fatia do custo total (46%, R\$ 7.328).

### 6.3.2 Receitas

O valor da receita total foi estimado em R\$ 17.094 semanais, sendo que o biogás foi responsável por 90% deste montante, enquanto o biofertilizante limitou-se aos outros 10%. A figura 3 apresenta o gráfico que ilustra o valor da receita semanal.

Figura 3 – Gráfico da composição da estimativa da receita total



Fonte: Os Autores

## 7 CONCLUSÕES

- Os valores estimados pelo modelo referentes à produção de biogás foram muito próximos a dados observados em campo por outros autores. Tal fato dá certa credibilidade ao modelo;
- O estudo de caso em questão apresentou viabilidade econômica e diminuição da DQO do efluente gerado pela atividade suinícola. Entretanto, apesar da redução da DQO do efluente, este não se enquadrava nos parâmetros de lançamento estipulados pela legislação ambiental local. Sugerem-se então neste caso outras formas de tratamento, como lagoas de polimento combinadas ao biodigestor.
- O modelo apresentado pode ser uma importante ferramenta de auxílio na tomada de decisão em um sistema de coleta, transporte e fermentação dos dejetos suinícolas.

BECHER, S; KALTSCHMITT, M. **Logistic chains of solid biomass-classification and chain analysis. Biomass for energy, environment, agriculture, and industry.** In: Proceedings of the 8<sup>th</sup> European biomass conference, Vienna, Austria. 1994. p. 401–8.

BRIDGELAND, D. Technology versus discipline: why I am not a systems thinker. **The System Thinker**, v.9, n.2, p. 9-10, 1998.

CAMPOS, C. M. M.; SALÉH, B. B.; CARMO, F. R. do. Determination of kinetic parameters of a lab-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) removing organic loading from swine manure effluents. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1045-1051, 2005.

CHERNICHARO, C. A. **Reatores anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 245p.

CHEN, Y. R.; HASHIMOTO, A. G. **kinetics of methane fermentation.** In: Proceedings of the first symposium on biotechnology in energy production and conservation held at Gatlinbrug, Tennessee, p. 269-282, 1978.



DEMIRBAS A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. **Energy Conversion and Management.** v.42, n.11, p. 1357-78, 2001.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 128/2006. Disponível em: [http://garibaldi.rs.gov.br/upload/page\\_file/resolucao-consema-128-2006-efluentes.pdf](http://garibaldi.rs.gov.br/upload/page_file/resolucao-consema-128-2006-efluentes.pdf). Acesso em: 4. Jan. 2015.

HASHIMOTO, A. G.; CHEN, Y. R.; VAREL, V. H. **Theoretical aspects of methane production: State of the art.** In: Livestock wastes: A renewable resource, ASAE, 1981.

HASHIMOTO, A. G. Methane from Swine Manure: Effect of temperature and influent substrate concentration on kinetic parameter (K). **Agricultural Wastes**, v. 9, p299-308., 1984.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Good practice guidelines: bioenergy project development and biomass supply**. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris: OECD; 2007.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso de biogás como fonte de energia elétrica**. Florianópolis: UFSC, 2008. 105p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Administração.

MACEDO, F. J. de. **Dimensionamento de biodigestores para tratamento de dejetos da produção suína**. Florianópolis: UFSC, 2013. 117p. Trabalho de conclusão de curso.

MCCARTY, P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. **Public Works** – Partes 1, 2, 3 e 4. 95, n.9, p.107-112; n.10, p.123-126; n.11, p.91-94; n.12, p.95-99, 1964.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.  


MIRANDA et al. Uso de dejetos de suínos na agricultura. **Embrapa Suínos e Aves**, 1999. Disponível em:  
[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/itsu011\\_fertilizantelD-NppyQkHNXo.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/itsu011_fertilizantelD-NppyQkHNXo.pdf). Acesso em: 12 dez. 2015.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implementação de aplicativo computacional**. Campo Grande: UFMS, 2009. 84p. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, P. **Guia Técnico de Biogás**. Portugal: CCE – Centro para a Conservação de Energia, 2000.

SARDÁ, L. G.; HIGARASHI, M. M.; MULLER, S.; OLIVEIRA, P. A.; COMIN, J. J. Redução da emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 1008-1013, 2010.

TAVARES, J. M. R. **Consumo de água e produção de dejetos na suinocultura.** 232 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

TAVARES, J. M. R.; BELLI FILHO, P., COLDEBELLA, A.; OLIVEIRA, P.A.V. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. **Livestock Science**, v.169, p. 146-154, 2014.

