



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

Modelo de Gestão de afluência a Digestor Anaeróbio

Ana Margarida Natividade Ferreira

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Orientador: Professora Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Lisboa

2009

Aos meus pais, avó e princesas

Agradecimentos

Começo por agradecer à professora Leonor Amaral, todo o imprescindível apoio, motivação, conhecimento e amizade demonstrada ao longo deste trabalho.

Ao engenheiro José Sardinha pelo acompanhamento da execução deste trabalho, ideias e sugestões na elaboração do modelo, por todos os conhecimentos transmitidos e tempo dispensado.

Ao engenheiro João Oliveira Miguel, pelo tempo e conhecimentos dispendidos e por toda a prestabilidade demonstrada.

Ao Akli, pelo incansável apoio na elaboração do modelo, por todas as ideias e palavras de ânimo, obrigada.

À Marta, por todos os anos académicos de companheirismo, por estes últimos meses de grande esforço e muitas horas de trabalho partilhadas e principalmente por toda e constante amizade, muito obrigada.

Ao João e ao Renato, por todos os momentos de descontração, amizade e apoio incondicional, sem os quais seria muito difícil concluir esta etapa.

A todos os meus, amigos e companheiros fctenses, pelo apoio nesta jornada.

À minha família, por estarem presentes e com uma palavra de incentivo e motivação sempre que precisava.

À minha avó, que muito contribuiu para a pessoa que sou hoje.

Aos meus irmãos, Pedro e Rita por estarem sempre a apoiar-me e por me fazerem sentir isso mesmo. À Alice, a fonte de toda a energia, pelos momentos de divertimento, alegria e cumplicidade que me proporcionou no decorrer deste trabalho.

À Leonor, por todos os bons momentos que virão.

Finalmente, aos meus pais, sem vocês seria impossível ter chegado até aqui, por tudo o que me proporcionaram, por todo o apoio, motivação e carinho, obrigada por sempre terem acreditado em mim.

Um muito obrigada a todos, sem a vossa ajuda esta jornada teria sido muito mais difícil.

Sumário

O presente trabalho teve como principal objectivo a construção de um modelo, que permitisse a gestão mais adequada e eficiente de diferentes efluentes, para primeira aplicação numa estação de tratamento de efluentes suinícolas (ETES) em São Martinho do Porto.

Apesar da estação ter como principal finalidade o tratamento de efluentes suinícolas, foi também considerada a possibilidade de fazer co-digestão com outros efluentes. Desta forma, e de acordo com os sectores de actividade da região Oeste, foram seleccionados quatro efluentes, que poderão vir a ser co-digeridos com o efluente suinícola, os efluentes provenientes de explorações bovinas, matadouros, processamento de peixe e de maçã.

Assim sendo, revelou-se de extrema importância o conhecimento sobre a digestão anaeróbia destes efluentes, como de forma de poder prever o funcionamento do digestor, bem como o decorrer do processo de acordo com as características do efluentes a digerir.

Após a caracterização de todos os efluentes a poder vir a ser digeridos concluída, a construção do modelo teve como principais objectivos a resposta a alguns factores importantes, tais como, em primeiro lugar garantir que a mistura que será efectuada não excede as capacidades do digestor, seguidamente que essa mistura resulte na maior produção de metano possível e na menor produção de lamas.

Associado a estes objectivos estão ainda outras questões, tal como a avaliação da disponibilidade dos efluentes secundários na fonte, ou seja nos produtores, o que permite uma maior articulação entre os meios envolventes no processo de tratamento destes efluentes. Assim, torna-se mais simples a fixação de tarifas de recepção dos efluentes consoante as suas características se revelem como, mais favoráveis ou não. É também possível fazer a avaliação custo/benefício do processo de tratamento através da produção de metano, benefício, que se traduzirá em energia eléctrica e calorífica, e da produção de lamas, custo, que se traduzirá em termos de desidratação e de deposição em aterro.

Após a construção do modelo foi efectuada uma análise de sensibilidade de forma a conhecer a significância dos parâmetros de entrada, caudais, e de que forma se reflecte a sua variação nos parâmetros de saída, metano e lamas.

Abstract

The present work had as main objective the construction of a model, which permitted an efficient and suitable management of different effluents, for first application in a swine manure treatment plant in São Martinho do Porto. Despite of the plant have as main purpose the handling of swine manure, also was considered the possibility of do to co-digestion with others effluents.

In this way, and according to the sectors of activity of the West region, were selected four effluents that will be able to turn out to be co-digested with the swine manure, the effluents originating from bovine exploitations, slaughterhouses, processing of fish and of apple. Like this, it was of extreme importance the knowledge about the anaerobic digestion of these residues, of form it foresees the operation of the digester, as well like elapse of the trial according to the characteristics of the effluents it digest. With the characterization of all of the effluents it to be digested concluded, the construction of the model had as main objective the answer to some important factors. First, guarantee that the mixture that will be executed does not exceed the capacities of the digester, often that that mixture results in the biggest output of methane possible and smaller output of sludge. It associated to these objectives are still other questions, as the evaluation of the availability of the effluents secondary at source, producers, what permits a bigger articulation between the compelling means in the trial of handling of these effluents. Like this, becomes-itself simpler the reception tariffs fixation of the effluents consonant its characteristics will be more favourable or not. It is also possible do the evaluation cost/benefit of the trial of handling through the output of biogas, benefit that will be translated in heat and power energy and of the output of sludge, cost, that will be in dehydration and of deposition in landfill.

After the construction of the model, it was done a sensibility analysis to know the significance of the input parameters, flow rate, and which are the effects of its variations on the exit parameters, biogas and sludge.

Índice

1	Introdução.....	1
2	Enquadramento	5
2.1	Protocolos de âmbito ambiental existentes para o sector suinícola.....	6
2.1.1	O protocolo de cooperação para a despoluição das bacias hidrográficas dos rios Real, Arnóia e Tornada.....	7
2.2	Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais	7
2.2.1	Bovinicultura.....	9
2.2.2	Suinicultura	13
2.2.3	Matadouros	15
2.2.4	Apreciação global.....	18
2.3	A Estação de Tratamento de Efluentes Suinícolas de São Martinho do Porto...	19
2.3.1	Linha de Tratamento da ETES	21
3	Revisão Bibliográfica	27
3.1	Co-Digestão	27
3.2	Co-Digestão na Europa.....	30
3.3	Digestão de efluentes específicos.....	34
3.4	Modelos do Processo de Digestão Anaeróbia.....	41
4	Objectivos.....	45
5	Plano de Trabalho	47
5.1	Metodologia	48
6	Modelo.....	51
6.1	Concepção do Modelo	51
6.2	Funcionamento do Modelo.....	55
6.3	Vantagens e Limitações do Modelo	64
7	Resultados e Discussão	67
8	Análise de Sensibilidade.....	89
9	Análise Custo/Benefício.....	105
9.1	Sugestão de Tarifas a aplicar.....	116
10	Conclusões.....	119
11	Referências Bibliográficas.....	123

Índice de Figuras

Figura 1 - Ciclo de Reciclagem de Resíduos	5
Figura 2 - Distribuição regional do efectivo de vacas aleitantes	10
Figura 3 - Distribuição regional do efectivo de vitelos	10
Figura 4 - Distribuição regional do efectivo leiteiro	11
Figura 5 - Distribuição Regional do efectivo de bovinos em regime intensivo por concelho	12
Figura 6 - Distribuição regional do efectivo de suínos	13
Figura 7 - Distribuição do efectivo de suínos por concelho	14
Figura 8 - Distribuição regional de matadouros de bovinos	15
Figura 9 - Distribuição regional da capacidade média de abate	16
Figura 10 - Distribuição regional da capacidade de abate por tipo de gado	16
Figura 11 - Distribuição nacional dos matadouros de reses	17
Figura 12 – Cargas geradas na bacia hidrográfica em termos percentuais.....	21
Figura 13 – Linha de Tratamento da ETES de São Martinho do Porto.....	22
Figura 14 - Distribuição Europeia da Produção de biogás de acordo com a fonte	33
Figura 15 – Esquema da Metodologia	47
Figura 16 - Esquema dos Input's e Output's	48
Figura 17 – Esquema da Concepção do Modelo	52
Figura 18 - Esquema do funcionamento do Modelo	56
Figura 19 – Menu inicial do modelo	67
Figura 20 – Menu das disponibilidades.....	68
Figura 21 – Página das Disponibilidades	69
Figura 22 – Gráfico correspondente ao volume/produtividade/tarifa	69
Figura 23 – Janela inicial da fase de simulações	70
Figura 24 – Primeiro aviso ao utilizador	71
Figura 25 – Segundo aviso ao utilizador	71
Figura 26 – Informação dada ao utilizador relativa ao passo seguinte	71
Figura 27 – Inserção de valores na etapa de simulações	72
Figura 28 – Primeira fase de simulações	73
Figura 29 – Resposta aos dados introduzidos pelo utilizador.....	73
Figura 30 – Gráfico resultante das simulações efectuadas, produção de biogás e lamas.....	74
Figura 31 - Gráfico resultante das simulações efectuadas, caudal máximo admissível E.S.....	75
Figura 32 – Menu de Entregas.....	76

Figura 33 – Gráfico representativo das receitas que advém das entregas dos efluentes9.....	77
Figura 34 – Informação dada ao utilizador para correr o modelo	78
Figura 35 – Produção de biogás ao longo do mês e respectivas médias	80
Figura 36 – Produção de lamas ao longo do mês e respectivas médias	81
Figura 37 – Percentagem dos caudais que são introduzidos no digestor	82
Figura 38 – Percentagem da produção de biogás de acordo com os caudais introduzidos no digestor.....	83
Figura 39 – Folha de registo do tanque de armazenamento de efluente suinícola.....	84
Figura 40 – Gráfico representativo do volume disponível no tanque de armazenamento de suinicultura e do caudal disponível para adição ao digestor.....	85
Figura 41 – Folha de registo do tanque de armazenamento de efluente secundário ..	86
Figura 42 – Gráfico dos volumes disponíveis no tanque de efluentes secundários.....	87
Figura 43 – Caudal de suinicultura adicionado ao digestor de acordo com cada uma das variações	90
Figura 44 – Caudal de efluente secundário adicionado ao digestor de acordo com cada uma das variações.....	93
Figura 45 – Caudal total inserido no digestor de acordo com as variações.....	94
Figura 46 – Produção de biogás de acordo com as variações feitas a nível do caudal95	
Figura 47 – Produção de Lamas de acordo com as variações feitas a nível do caudal	97
Figura 48 – Gráfico comparativo da produtividade e produção de lamas por tipo de efluente.....	99
Figura 49 – Gráfico comparativo da produtividade por tipo de efluente por m ³	100
Figura 50 – Gráfico comparativo da produtividade do peixe e do efluente suinícola .	100
Figura 51 – Gráfico comparativo da produtividade da maçã com o efluente suinícola	101
Figura 52 – Gráfico comparativo da produtividade da bovinicultura com o efluente suinícola	102
Figura 53 – Gráfico comparativo da produtividade de efluente proveniente de matadouros com o efluente suinícola.....	102
Figura 54 – Receita da venda de energia eléctrica a partir da produção de biogás ..	105
Figura 55 – Valores totais de valor de energia eléctrica.....	106
Figura 56 – Receitas obtidas através das tarifas de recepção	107
Figura 57 – Total das receitas provenientes das tarifas de recepção.....	108
Figura 58 - Custos associados à desidratação e deposição das lamas em aterro	109
Figura 59 – Custos diferenciados de tratamento de lamas	109

Figura 60 – Custo Total associado ao tratamento de lamas.....	110
Figura 61 – Receitas e Custos associados a cada uma das situações	111
Figura 62 – Custos e receitas geradas a partir de cada um dos efluentes	112
Figura 63 – Custos e Receitas Totais gerados de acordo com a fonte, tarifa, energia eléctrica e tratamento de lamas	113
Figura 64 – Total de receitas e custos	113
Figura 65 – Receitas e custos gerados através da venda de energia eléctrica e do tratamento de lamas	114
Figura 66 – Produção de energia térmica de acordo com o efluente	115
Figura 67 – Produção total de energia térmica.....	115
Figura 68 – Energia térmica gerada no processo e necessária para manutenção da ETES	116

Índice de Quadros

Quadro 1 – Características Gerais das três estações de tratamento previstas para a região Oeste	20
Quadro 2 - Cargas geradas na bacia hidrográfica	20
Quadro 3 – Caracterização do sobrenadante do processo de desidratação	24
Quadro 4 – Caracterização do efluente após a decantação e do valor legislado para as descargas de efluentes tratados	26
Quadro 5 - Vantagens e Limitações da Co-Digestão	27
Quadro 6 - Substratos considerados, Excelentes, Bons ou Maus para a digestão anaeróbia	28
Quadro 7 - Caracterização do efluente proveniente de uma exploração piscícola	35
Quadro 8 - Características do efluente proveniente de explorações bovinas	36
Quadro 9 - Caracterização do efluente proveniente de unidades de matadouros	37
Quadro 10 - Características dos efluentes provenientes da indústria transformadora da maçã.....	39
Quadro 11 - Valores característicos dos efluentes a digerir	49
Quadro 12 - Volume dos tanques de armazenamento dos efluentes	49
Quadro 13 -Parâmetros característicos de digestor (Dimensionamento ETES)	49
Quadro 14 – Rendimento térmico e eléctrico, valor de venda de energia eléctrica	62
Quadro 15 - Rendimento térmico e eléctrico, € energia eléctrica por 1 m ³ de efluente adicionado ao digestor.....	62
Quadro 16- Produção de lamas por efluente por metro cúbico de efluente adicionado ao digestor.....	63
Quadro 17- Produtividade e Produção de lama por metro cúbico de efluente adicionado no digestor.....	64
Quadro 18 – Caudais adicionados nos tanques e digestor no decorrer deste exemplo	79
Quadro 19 - Valores de caudal de efluentes secundários introduzidos no tanque de armazenamento.....	91
Quadro 20 – Relação entre a produção de biogás e lamas.....	117
Quadro 21 – Tarifa proposta de acordo com o primeiro pressuposto.....	118
Quadro 22 – Tarifa proposta de acordo com o segundo pressuposto	118

Simbologia

ETES – Estação de Tratamento de Efluentes Suinícolas

SMP – São Martinho do Porto

ENEAPAI – Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais

Adp – Águas de Portugal

IWA: International Water Association

ADM1: IWA Modelo de Digestão Anaeróbia no.1

FV – Fruta e Vegetais

AGV – Ácidos Gordos Voláteis

BRS – Bactérias Redutoras de Sulfato

CQO – Carência Química de Oxigénio

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

P – Fósforo

N – Azoto Total

N-NH₄ – Amónia

B – Efluente proveniente de Boviniculturas

M – Efluente proveniente de Matadouros

Mç – Efluente proveninete de fábricas transformadoras de Maçã

P – Efluente proveniente de fábricas transformadoras de Peixe

1 Introdução

Nos dias de hoje, vive-se numa sociedade de consumo tendo a produção de resíduos assumido um cada vez maior relevo, tornando-se assim a gestão de resíduos como um assunto de importância crescente.

Para que fosse possível encontrar uma resposta rápida e eficaz, os países da União Europeia concordaram com uma série de princípios vertidos numa directiva, onde se apresenta a meta de diminuir a quantidade de resíduos orgânicos biodegradáveis depositado em aterro, em 65% até Julho 2016 (Directiva n.º 1999/31/CE, de 26 de Abril; ENEAPAI).

Consequentemente, têm-se procurado cada vez mais encontrar melhores soluções para responder a estas metas, sendo neste sentido que a digestão anaeróbia tem surgido como uma opção técnica ambientalmente sustentável e desejável.

Este processo apresenta vantagens relativamente a outros, uma vez que:

1. Permite o aproveitamento do potencial metanogénico que existe nos efluentes a tratar, podendo ser utilizado posteriormente como um novo recurso;
2. Permite uma diminuição do volume de lamas produzidas, já estabilizadas, o que em termos de acondicionamento, das mesmas, é bastante relevante;
3. Necessidade de relativamente pouca energia.

A digestão anaeróbia dos resíduos é levada a cabo numa sequência complexa das seguintes fases (Metcalf and Eddy, 2003):

1. Hidrólise;
2. Fermentação/Acidogénese;
3. Metanogénese.

Na hidrólise os materiais particulados são convertidos a compostos solúveis que podem ser de seguida hidrolisados a simples monómeros que podem ser utilizados na etapa de fermentação/acidogénese pelas bactérias. Nesta segunda etapa, os aminoácidos, açúcares e algumas gorduras, são degradadas. Os principais produtos desta etapa são o acetato, hidrogénio, dióxido de carbono, propionato e butirato. Estes dois últimos compostos sofrem fermentação dando origem aos três primeiros compostos referidos.

Por fim, na etapa de metanogénese, existem dois grupos de bactérias que levam a cabo o processo. As primeiras denominam-se por metanogénicas acetoclásticas que transformam o acetato em metano e dióxido de carbono. As segundas, designadas de metanogénicas utilizadoras de hidrogénio, usam o hidrogénio como dador de electrões e o dióxido de carbono como receptor para produzir metano (Metcalf and Eddy, 2003). Estes processos estão estritamente dependentes das comunidades de microrganismos presentes, mais especificamente das comunidades bacterianas uma vez que são elas as responsáveis por assegurar todas as reacções deste processo. Estas bactérias desenvolvem-se de forma lenta e são bastante susceptíveis a mudanças extremas de pH ou à presença de compostos tóxicos (Bryant, 1979).

As bactérias que degradam as proteínas e os hidratos de carbono crescem rapidamente, e estes tipos de substratos são rapidamente fermentescíveis, com um tempo de retenção de menos de um dia (Bryant, 1979).

Se o substrato é facilmente hidrolisável, a última etapa da degradação é muito mais limitada, uma vez que o crescimento da população de bactérias metanogénicas é mais lento do que o crescimento das acidogénicas e assim sucessivamente ao longo da cadeia de degradação (Rozzi *et al*, 2001).

No caso de sobrecarga, ou da exposição a compostos tóxicos, pode levar a uma acumulação dos metabolitos intermediários, principalmente ácidos gordos voláteis (AGVs) (Rozzi *et al*, 2001). A resistência à mudança de pH no digestor depende da capacidade de protecção, que é principalmente o dióxido de bicarbonato/carbono bem como dos constituintes responsáveis igualmente pela alcalinidade (Rozzi *et al*, 2001).

Diversos resíduos foram já alvo de estudo em termos de digestão anaeróbia, e como já foi referido este é um processo que apresenta algumas vantagens entre elas o facto de poder ser aproveitado o potencial metanogénico dos efluentes a tratar.

Os efluentes suínícolas, uma vez que se caracterizam por apresentar níveis bastante elevados de teores de carbono, têm uma incidência significativa de casos de tratamento desses efluentes através da digestão anaeróbia com produção de biogás.

Apesar do elevado potencial metanogénico, a digestão deste tipo de efluentes apresenta alguns problemas como por exemplo a reacção a teores elevados de amónia, bastante frequentes neste tipo de efluentes.

A opção pela digestão anaeróbia revela-se especialmente indicada e viável, do ponto de vista económico quando os cenários são regiões com elevado potencial, ou seja onde exista um número elevado de explorações suínícolas.

Na maioria das explorações suínícolas existentes no nosso país, a dimensão média dessas explorações dificulta de forma severa a viabilidade económica de soluções

individuais de tratamento e assim estas instalações, acabam por lançar os seus efluentes no meio receptor, causando graves problemas ambientais.

Em Portugal existem uma série relativamente pequena de zonas onde as suiniculturas se encontram concentradas, razão pela qual essas zonas são igualmente conhecidas pelos problemas ambientais graves que lhes estão associados. A região do Oeste, é uma dessas regiões onde se regista uma elevada concentração de explorações suinícolas.

Para responder a esta problemática, cerca de 650 suinicultores da região Oeste, mais concretamente de Alcobaça, Caldas da Rainha e Cadaval, formaram uma empresa em 2005, a Trevoeste – Tratamento e Valorização de Resíduos Pecuários, SA, cujo intuito é de gerir o sistema de tratamento dos efluentes suinícolas. Este grupo de suinicultores é detentor de 89% do capital da empresa, sendo o restante dividido entre a Associação de Municípios do Oeste (AMO), as Câmaras Municipais de Alcobaça, Caldas da Rainha, Óbidos, Bombarral e Lourinhã e a Águas do Oeste (AMO, 2008, Oeste Digital, 2008).

Estão previstas três ETES para a região Oeste, sendo que parte do capital investido nestas instalações é pertencente à Trevoeste, e estas instalações funcionarão como pré-tratamento, uma vez que devido às cargas bastante elevadas dos efluentes suinícolas é necessário tratá-los de forma a ficarem com uma carga idêntica às águas residuais domésticas para posteriormente serem tratados em ETAR's da Águas do Oeste (AMO, 2008, Oeste Digital, 2008).

No âmbito desta solução integrada para o tratamento das suiniculturas da região, coloca-se o problema de otimizar a capacidade instalada e de rentabilidade económica do investimento, pelo que, no decurso dos trabalhos que conduziram a esta solução se equacionou a hipótese de co-digestão com outros efluentes que possam existir na região e que apresentem um potencial metanogénico elevado e que não sejam comprometedores do processo de digestão.

A hipótese de adopção do processo de co-digestão, deixou clara a necessidade de construção de um modelo que permita a gestão de entrada destes efluentes no digestor, de forma a não serem excedidas as suas características de dimensionamento em termos de carga (SST, SSV, CQO, P, N, NH₄ e Volume / tempos de retenção), bem como a optimização de termos de produtividade e redução de produção de lamas.

Assim sendo, o presente trabalho teve como objectivo a construção de um modelo de gestão de aflúências para uma ETES em que fosse possível a co-digestão do efluente suinícola com mais quatro efluentes secundários, bovinicultura, matadouros, maçã e

peixe. Estes efluentes secundários foram escolhidos de acordo com a representatividade que têm na região onde se encontra a ETES (em construção).

Após a construção do modelo, procedeu-se a uma análise de sensibilidade de forma a conhecer melhor as propriedades do modelo. Através desta análise foi possível avaliar as sensibilidades do modelo, bem como a forma como são afectados os parâmetros de saída, aquando da variação dos parâmetros de entrada, neste caso, os caudais (Jorgensen, 1994).

Assim, os caudais vão ser modificados, tendo como base uma primeira corrida do modelo, +/- 2% e +/- 7%, verificando as variações que sofrem os parâmetros de saída do modelo, observando também a significância que a variação inicial tem nos parâmetros finais.

2 Enquadramento

A construção desta ETES, tem como princípio responder a uma série de planos e estratégias que estabelecem algumas metas em termos de reutilização de biogás e de lamas.

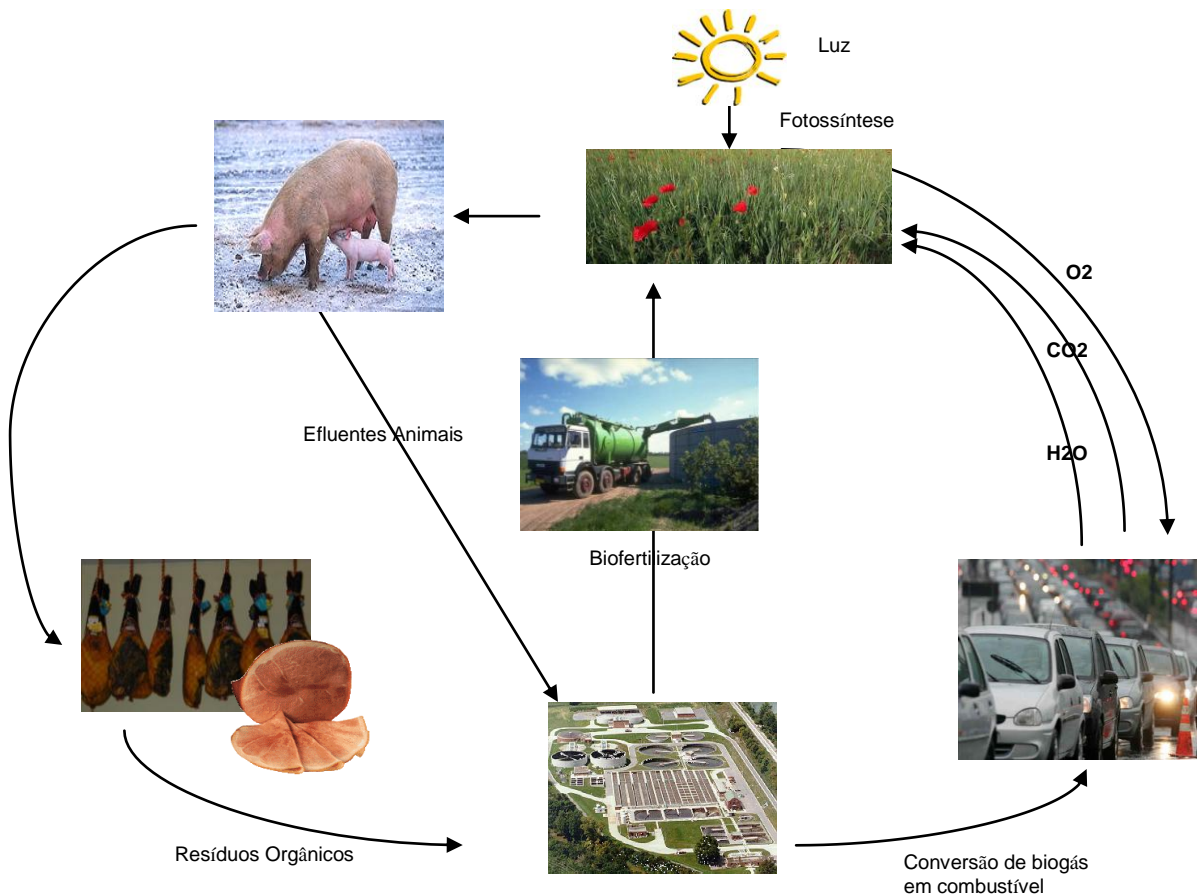


Figura 1 - Ciclo de Reciclagem de Resíduos (Adaptado de: European Biogas Workshop and Study Trip The Future of Biogás in Europe, 2007)

Este ciclo representa esquematicamente o propósito de todos estes procedimentos. Desde as actividades de criação dos suínos, neste caso, passando pela sua transformação, que leva à produção de resíduos, que são enviados e tratados numa estação de tratamento. Nesta estação de tratamento são gerados produtos, os quais podem ser reaproveitados, o que promove a reciclagem de resíduos, transformando o metano em energia eléctrica, calorífica, ou em biocombustível, enquanto as lamas, podem ser devolvidas à terra e funcionar como fertilizante (IOWA, 2004).

Desta forma, o objectivo principal de um projecto integrante como este que se desenvolve no Oeste é permitir a utilização regrada e eficiente dos recursos, fazendo assim a sua reutilização, o que permitirá em larga escala a atenuação de muitos dos problemas ambientais que a região encara neste momento.

De uma forma sucinta, o que se pretende é a aplicação de conceitos sustentáveis de tratamento de resíduos que favoreçam a recirculação de nutrientes e dos próprios resíduos, para o solo, o que trará um grande benefício para o ambiente (Lema e Omil, 2001, 1996; Braber, 1995).

2.1 Protocolos de âmbito ambiental existentes para o sector suinícola

A 24 de Janeiro de 2001, foi assinado o Protocolo de Cooperação no Âmbito da Despoluição das Bacias Hidrográficas dos Rios Real e Arnóia, no sentido de se encontrar uma solução sustentável para os problemas ambientais sistemáticos registados nas bacias hidrográficas da Lagoa de Óbidos e da Baía de São Martinho do Porto (que abrangem os Municípios de Alcobaça, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lourinhã e Óbidos), relacionados com os efluentes produzidos pela actividade suinícola (AMO, Oeste Digital).

Este Protocolo permitiu o desenvolvimento dos estudos técnicos e económico-financeiros no sentido de se encontrar a melhor solução para a concepção, construção e gestão dos sistemas de saneamento dos efluentes das suiniculturas, sob coordenação da empresa Aguas do Oeste, S.A. – concessionária do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e Saneamento do Oeste (AMO, 2008, Oeste Digital, 2008).

No decurso dos trabalhos e tendo em conta os resultados dos estudos, foi celebrado um acordo, no qual ficou estabelecido que para a resolução do problema do tratamento de efluentes de Suinicultura nas Bacias Hidrográficas dos rios Real, Arnóia e Tornada, seria criada uma empresa que teria por objecto social a construção de infra-estruturas e a gestão do sistema de recolha, tratamento e descarga nos meios receptores dos efluentes de suinicultura, a TREVOESTE (AMO, 2008, Oeste Digital, 2008).

A Trevo Oeste S.A. foi constituída tendo como accionistas empresas da região do sector suinícola e os municípios que serão envolvidos directamente no processo.

Foi aprovado um plano de intervenção intermédio que teria como principal objectivo minimizar o impacte dos efluentes de suinicultura nos meios receptores até à entrada em funcionamento das instalações de tratamento.

Em Março de 2007, o grupo Adp entrou como accionista da Trevoeste, de forma a materializar a colaboração que tem prestado a níveis técnicos e institucionais à Trevoeste (AMO, 2008, Oeste Digital, 2008).

2.1.1 O protocolo de cooperação para a despoluição das bacias hidrográficas dos rios Real, Arnóia e Tornada

As bacias hidrográficas dos rios Real, Arnóia e Tornada, apresentavam graves problemas relativamente à qualidade da água e do ambiente em redor, provocados pelas descargas, sem tratamento ou com tratamento deficiente quer de indústrias, actividades domésticas e de empresas suinícolas. Em alguns dos concelhos da região oeste, a actividade suinícola tem uma elevada representatividade, ultrapassando amplamente o número de habitantes da região em termos de carga poluente (habitantes equivalentes), não existindo contudo qualquer tratamento associado à maior parte dessas instalações suinícolas. O levantamento destes números veio demonstrar a pertinência e o carácter de urgência da implementação de um sistema que permitisse tratar estes efluentes da forma mais correcta, proceder à respectiva recolha, seguida de tratamento e posterior rejeição dos efluentes finais (Águas do Oeste, 2001).

Este protocolo pretendeu assim, estabelecer a melhor forma de articulação entre todas as entidades envolvidas por forma a:

1. Integrar os efluentes suinícolas no sistema municipal, efectuando um pré-tratamento adequado, caso se verifique que é uma solução técnica, económica e ambientalmente adequada;
2. Garantir o bom funcionamento das instalações e o controlo das descargas;
3. Elaboração de um Programa de Gestão de Resíduos das Suiniculturas, e prestar o apoio técnico necessário para a aplicação do Código de Boas Práticas Agrícolas, nomeadamente no estudo da aplicação de lamas das Estações de Tratamento de Águas Residuais e dos resíduos das suiniculturas em terrenos agrícolas e florestais;
4. Existir informação de todos os interessados em aderir ao sistema integrado de despoluição para os efluentes de suinicultura.

2.2 Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais

As indústrias agro-pecuárias e agro-industriais têm uma importância significativa em Portugal, tanto a nível económico como a nível social.

No entanto, este tipo de indústrias representa também um grave problema devido às características dos seus efluentes, que muitas vezes não são sujeitos a qualquer tipo de tratamento, ou apenas um tratamento simples e relativamente ineficiente.

É neste contexto que surge a Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais (ENEAPAI), com o objectivo de definir a estratégia nacional a adoptar para uma melhor gestão, tratamento e valorização deste tipo de efluentes.

Destacam-se as seguintes linhas de orientação:

1. Cumprimento normativo ambiental e objectivos da política de ambiente e ordenamento do território
2. Sustentabilidade dos modelos de gestão, associada à implementação de modelos de gestão eficientes e sustentáveis, e da aplicação do principio do utilizador - pagador e garantia de um quadro tarifário sustentável para os sectores económicos
3. Gestão eficiente dos recursos financeiros, que deve ter em conta a utilização adequada dos instrumentos de co-financiamento, designadamente o Quadro Referênciá Estratéxico Nacional, e do potenciar das soluções colectivas e a utilização de infra-estruturas existentes.

Devido às cargas orgânicas e de nutrientes, que caracterizam estes efluentes, é necessário que a decisão sobre a sua valorização e tratamento seja baseada em critérios tecnológicos e económicos que garantam soluções ambientalmente adequadas.

Para responder a estas necessidades foram desenvolvidas as seguintes linhas de orientação (ENEAPAI, 2007):

1. Adopção de um modelo institucional para a concepção, construção, gestão e exploração das soluções de valorização e de tratamento de efluentes, através de entidades com reconhecida capacidade técnica, que garantam o bom funcionamento das instalações e o controlo das descargas;
2. Adopção de soluções colectivas para o tratamento dos efluentes, quando tal se revelar a solução técnica, económica e ambientalmente mais adequada;
3. Aplicação de uma tarifa de tratamento ao utilizador que tenha em conta a capacidade económica dos sectores em causa, através da escolha da melhor solução técnica e que seja também a melhor solução em termos económicos, reflectindo um modelo de gestão e exploração optimizado;
4. Garantia da responsabilidade e do envolvimento dos sectores económicos

As soluções de tratamento implementadas terão de ter em conta não só a tecnologia adequada em termos económicos e ambientais, mas também as características e necessidades da região, desta forma, as soluções a desenvolver deverão assentar nas seguintes orientações (ENEAPAI, 2007):

1. Adoptar um modelo institucional para concepção, construção, gestão e exploração das soluções de valorização e tratamento de efluentes, através de entidades

reconhecidas que garanta o bom funcionamento das instalações e controlo das descargas;

2. Adoptar soluções colectivas para o tratamento de efluentes, quando tal se revelar a solução técnica, económica e ambiental mais adequada;

3. Aplicar uma tarifa de tratamento ao utilizador o mais baixa possível, através da escolha da melhor solução técnica e que seja também a melhor solução em termos económicos, reflectindo um modelo de gestão e exploração optimizado

4. Garantir a responsabilidade e o desenvolvimento dos sectores económicos

Existem também outras formas de pressão que tornam preponderante a execução deste protocolo que se prende com o cumprimento tanto do protocolo de Quioto como da directiva quadro da água. Uma vez que os regimes de cobrança de taxas difere de um caso para outro é necessário ter em conta que as soluções a apresentar pela ENEAPAI terão de ser globais. Desta forma é necessário que esta estratégia assente em soluções, implementação e gestão sustentadas.

É importante salientar que as actividades pecuária e agro-industrial são bastante significativas em algumas regiões do país, sendo que em muito casos constitui mesmo o principal sector económico, havendo ainda a salientar que estas indústrias criam postos de trabalho, vindo a demonstrar-se como responsável pela fixação de população (ENEAPAI, 2007).

2.2.1 Bovinicultura

Existem diferentes tipos de bovinicultura, uma vez que o gado bovino é criado de forma a responder a diferentes necessidades da população. Desta forma as explorações de bovinos classificam-se como de:

- ❖ Produção de Leite
- ❖ Vacas aleitantes
- ❖ Vitelos em viteleiro
- ❖ Recria e acabamento
- ❖ Destinadas a fins lúdicos

O efectivo de vacas aleitantes, em 2003, representava cerca de 30% do total de bovinos a nível nacional, sendo que a região Oeste de Portugal representa 7%.

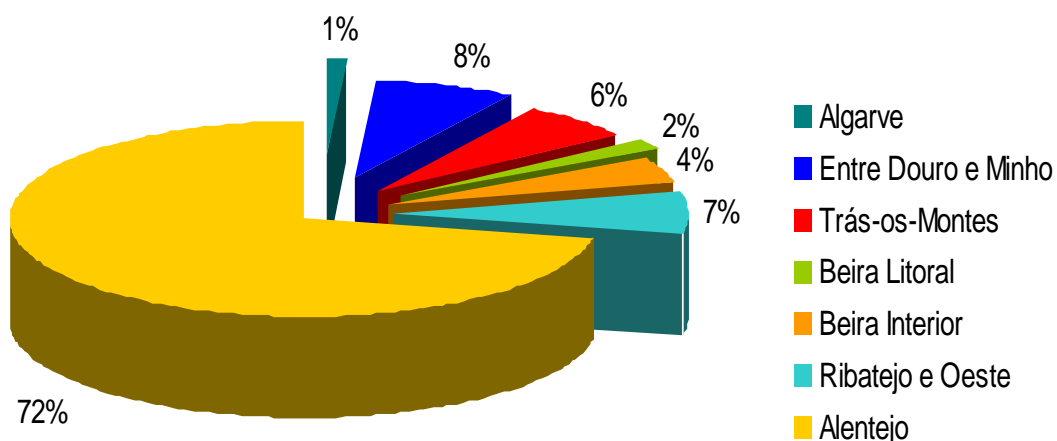


Figura 2 - Distribuição regional do efectivo de vacas aleitantes (Fonte: ENEAPAI, 2007)

Por sua vez os vitelos, quer seja para abate ou para engorda, representam cerca de 20% do efectivo total nacional. Estes animais são, na maior parte, dos casos para exploração de recria e engorda e estas unidades são maioritariamente compostas por novilhos machos e fêmeas não reprodutoras.

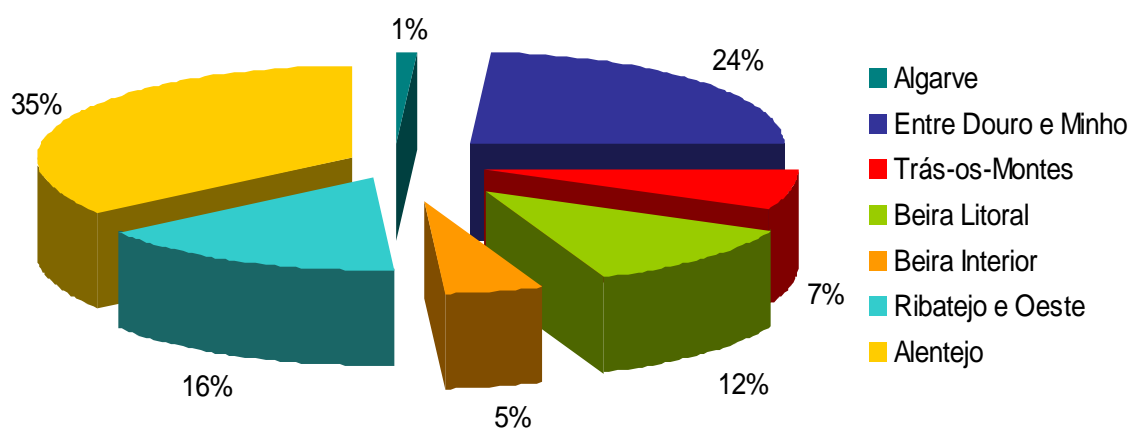


Figura 3 - Distribuição regional do efectivo de vitelos (Fonte: ENEAPAI, 2007)

Como se pode verificar a região oeste enquadra-se, à semelhança do que acontece com as vacas aleitantes entre as regiões com maior presença deste sector de actividade.

Estão identificadas cerca de 114 mil explorações bovinas, correspondendo a um total de efectivos de cerca de 2,2 milhões de animais. Na ENEAPAI, apenas foram consideradas as explorações em regime intensivo de bovinos para produção de leite com 5 ou mais vacas de leite e de bovinos de engorda. Assim sendo, o universo é reduzido para cerca de 6 mil explorações que representa cerca de 350 mil animais, 16% do efectivo existente no país (ENEAPAI, 2007).

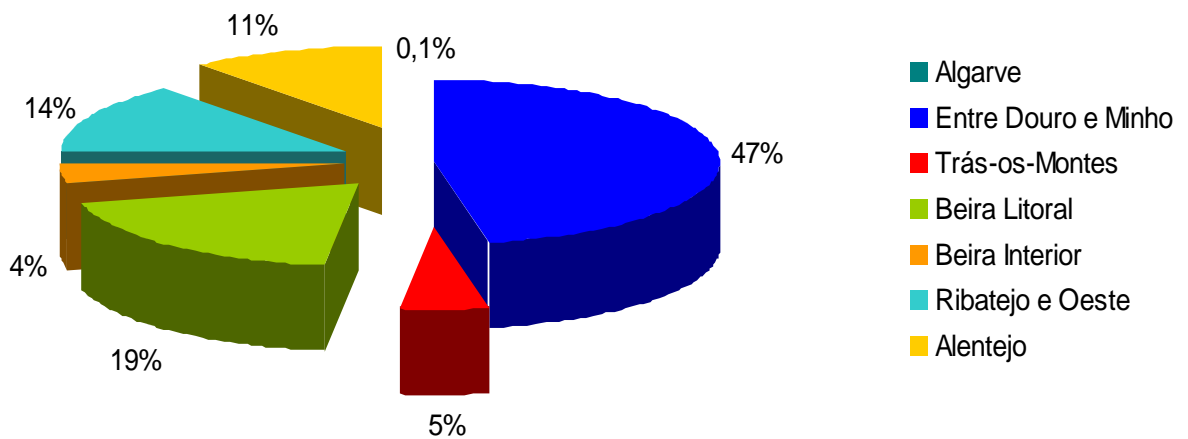


Figura 4 - Distribuição regional do efectivo leiteiro (fonte: ENEAPAI, 2007)

Apresenta-se no mapa seguinte a distribuição espacial destas explorações, a nível nacional.

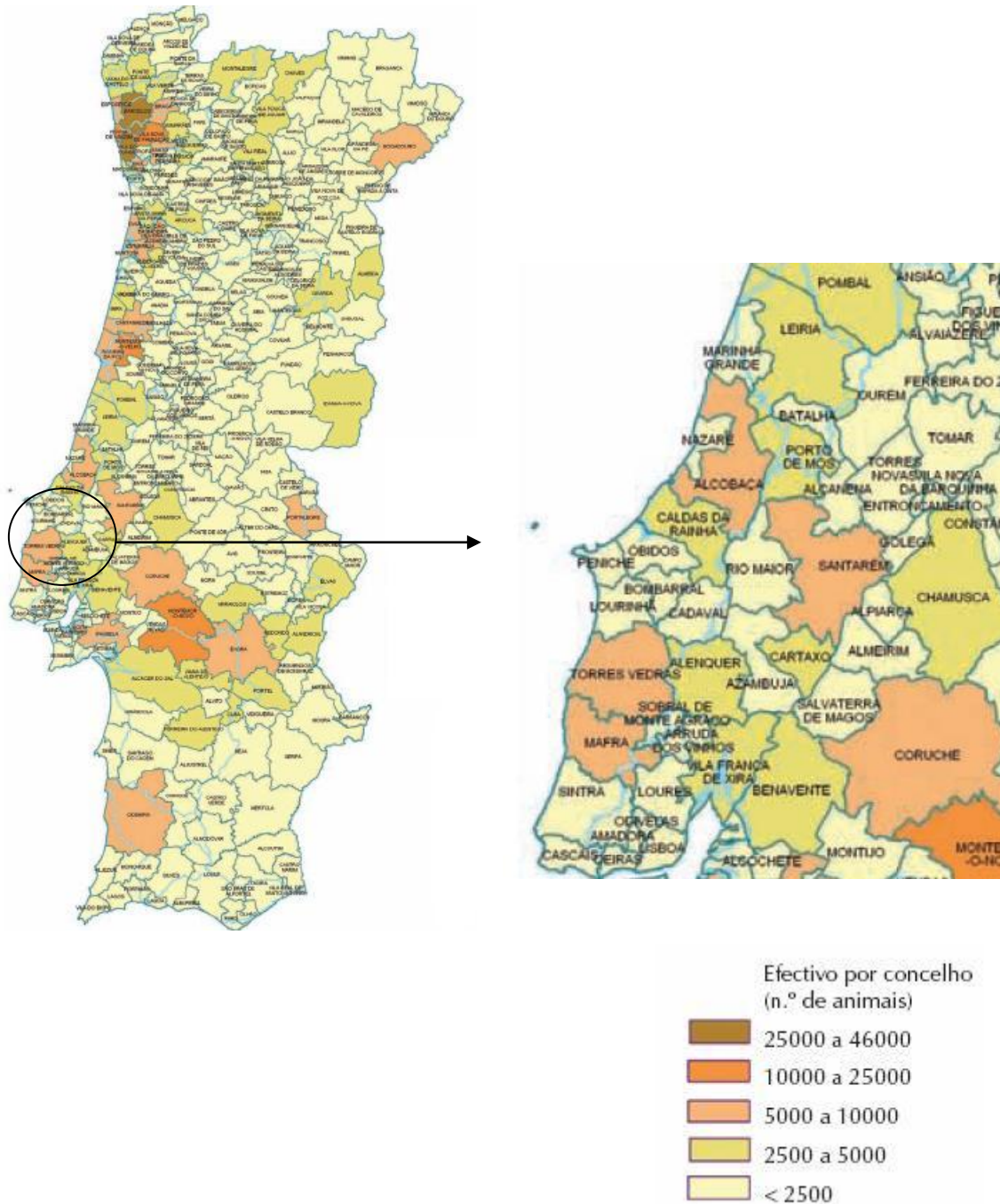


Figura 5 - Distribuição Regional do efectivo de bovinos em regime intensivo por concelho (Fonte: ENEAPAI, 2007)

Na Figura 5, pode verificar-se que a região oeste, apesar de não ser a mais “carregada”, apresenta um elevado número de efectivos de animais bovinos, sendo que os concelhos de Torres Vedras e Alcobaca, apresentam um efectivo entre 5000 a 10000, e o concelho de Caldas da Rainha entre 2500 a 5000, sendo estes três os concelhos com maior número de efectivos.

É importante salientar que grande parte destes efluentes não é lançada nas linhas de água mas sim espalhados no solo.

2.2.2. Suinicultura

A maior concentração de explorações suinícolas no país verifica-se na região Oeste que detém cerca de 44% das explorações. Há ainda a referir a região do Ribatejo. Cerca de 1/3 do efectivo concentra-se num numero reduzido de explorações (1,1% das totais) altamente especializadas e que, cada uma tem 200 animais (ENEAPAI, 2007).

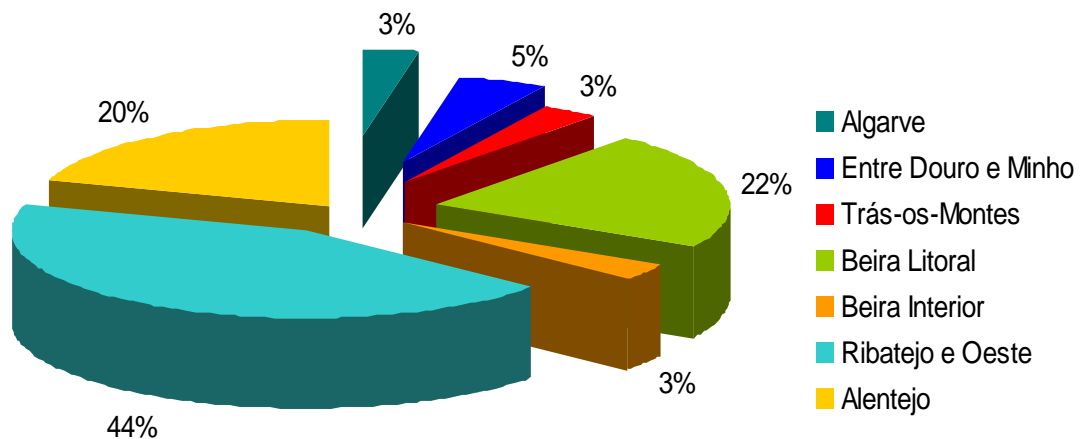


Figura 6 - Distribuição regional do efectivo de suínos (Fonte: ENEAPAI, 2007)

Na Figura 7 é possível ter a percepção da distribuição espacial das explorações suinícolas, com mais representatividade nos concelhos de Leiria, Alcobaça, Rio Maior e Palmela.

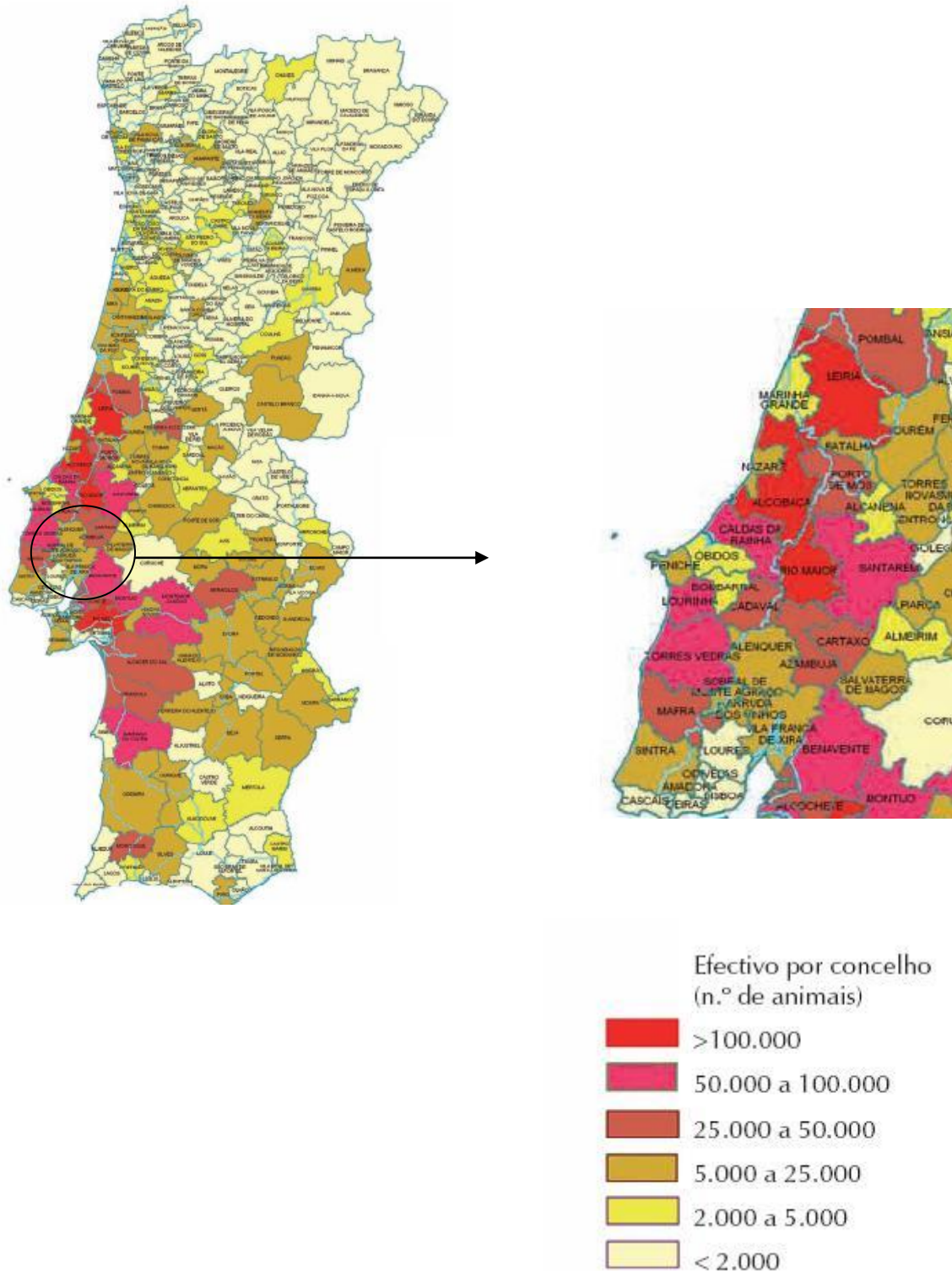


Figura 7 - Distribuição do efectivo de suínos por concelho (Fonte: ENEPAI, 2007)

No Oeste toda a região apresenta um número bastante elevado de animais sendo o concelho de Alcobaça, o que com mais de 100.000 animais tem o maior número de efectivos seguindo-se os municípios de Lourinhã, Torres Vedras e Caldas da Rainha

que apresentam um efectivo de 50.000 a 100.000 animais, respectivamente sendo que em nenhum concelho desta região existe o número mínimo de animais considerado na classe menor representada na Figura 7, o que significa que em todos os concelhos existe um número de animais entre 2000 a 5000 (ENEAPAI, 2007).

2.2.3 Matadouros

O sector de abate de animais, preparação e conservação de carne e produtos representa cerca de 15% do sector das indústrias alimentares e bebidas.

Em 2005 existia um total de 63 matadouros de reses. A distribuição regional apresentava-se da seguinte forma:

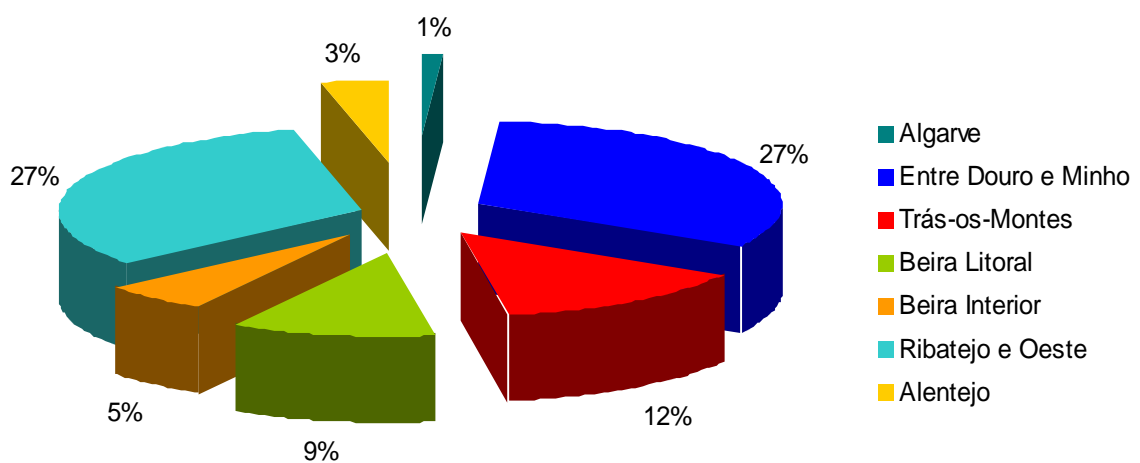


Figura 8 - Distribuição regional de matadouros de bovinos (Fonte: ENEAPAI, 2007)

Como se pode verificar, a região Oeste tem grande peso deste tipo de indústrias, tendo cerca de 27% de matadouros de reses, o que faz com que os resíduos provenientes destes matadouros, impactes significativos quando não tratados de forma correcta, sendo assim de extrema importância a sua integração num sistema sólido e eficiente de tratamento.

Em termos de capacidade média de abate, como se pode verificar pela Figura 9, a grande parte encontra-se na região Oeste seguida da região EDM.

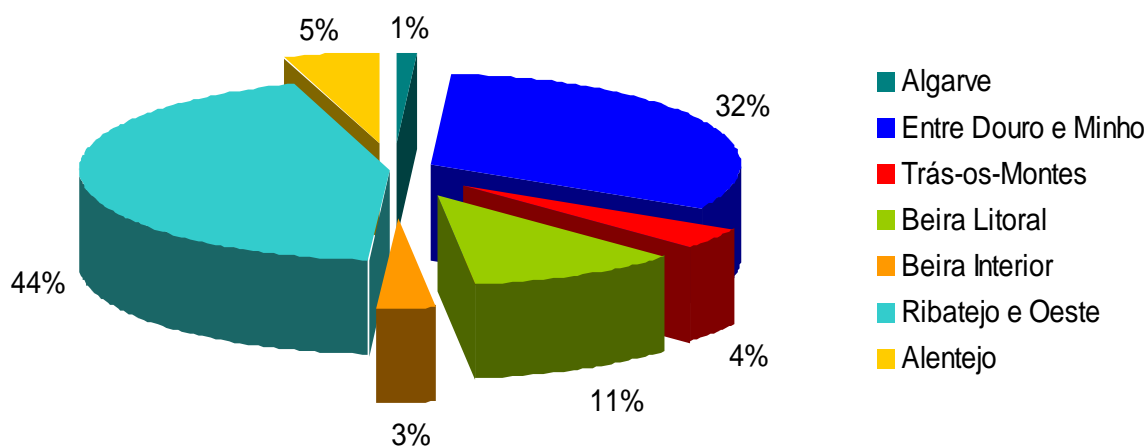
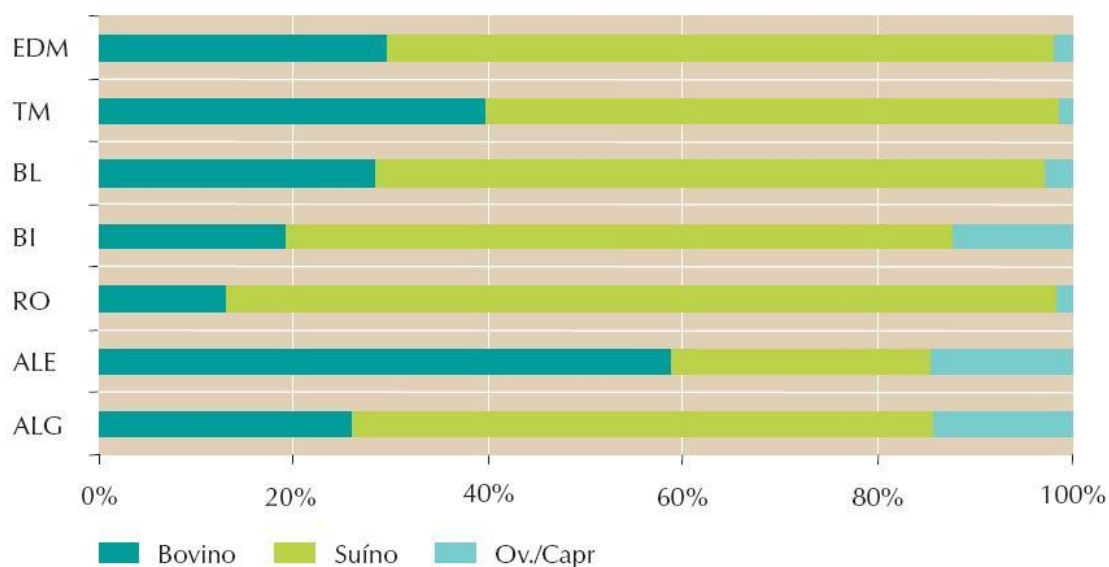


Figura 9 - Distribuição regional da capacidade média de abate (Fonte: ENEAPAI, 2007)

Relativamente à capacidade de abate por tipo de gado, a distribuição por região acontece da forma apresentada na Figura 10, em que os suínos representam cerca de 73% da capacidade, os bovinos 24% e os ovinos/caprinos cerca de 3%. No entanto, na região Oeste o número de abate de suínos é um pouco superior, cerca de 83%, representando os bovinos cerca de 15% e os ovinos/caprinos cerca de 2% (ENEAPAI, 2007).



EDM – Entre Douro e Minho TM – Trás-os-Montes BL – Beira Litoral
 BI – Beira Interior RO – Ribatejo e Oeste ALE - Alentejo
 ALG - Algarve

Figura 10 - Distribuição regional da capacidade de abate por tipo de gado (Fonte: ENEAPAI, 2007)

Em termos de distribuição regional, Figura 11, pode-se verificar que a região Oeste tem uma grande concentração de matadouros, o que faz com que este sector seja bastante representativo.

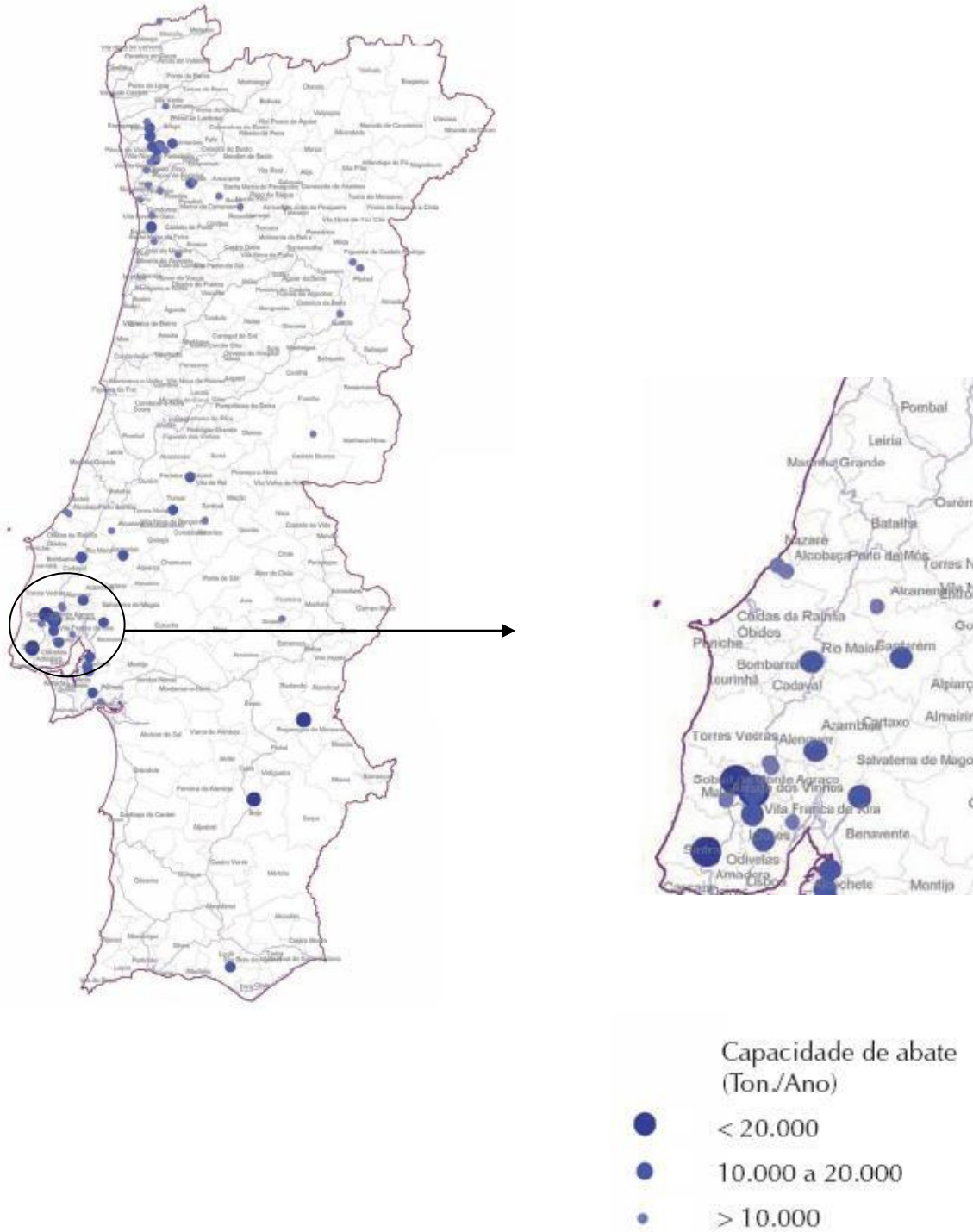


Figura 11 - Distribuição nacional dos matadouros de reses (Fonte: ENEPAI, 2007)

A região Oeste volta a ocupar um lugar de destaque em termos de número de matadouros. O concelho de Sobral de Monte Agraço tem uma capacidade de abate de mais de 20.000 toneladas por ano, e a região de Alcobaça mais de 10.000.

2.2.4 Apreciação global

Após a apreciação dos sectores, das explorações bovinas, suinícolas e dos matadouros, pode-se constatar que a região Oeste tem um número significativo destas indústrias e que em termos nacionais têm um peso relativo elevado, pelo que apresentam um volume de efluentes muito significativo. Pode ainda concluir-se que o concelho de Alcobaça tem um elevado número de suínos, tendo também um número considerável de efectivos bovinos.

Desta forma, a ETES de São Martinho do Porto, SMP, direccionada para o tratamento, primeiramente, de efluentes suinícolas, admite a possibilidade de fazer co-digestão com outros efluentes, nomeadamente os acima referenciados.

Há ainda a referir que para além destes sectores já referenciados, existem outros sectores enumerados na ENEAPAI que podem assumir alguma importância em termos de co-digestão, como por exemplo a vinicultura que tem grande representação nesta região e que poderá revelar-se um óptimo co-substrato. Pode também ser avaliada a hipótese de co-digerir os efluentes provenientes de matadouros de aves, no entanto este efluente apresenta umas características bastante especiais e é preciso avaliar a sua adição ao digestor de forma bastante cuidada (ENEAPAI, 2007).

No presente trabalho, foram considerados como co-substratos, resíduos provenientes da indústria transformadora de peixe e de maçã. Nenhuma delas, está referenciada na ENEAPAI, no entanto, devido a ser uma região em que o cultivo de maçãs é bastante relevante, o facto de ser uma zona costeira e piscatória, bem como o facto de ambos os efluentes apresentarem características que podem ser uma mais valia no processo de digestão, estes efluentes foram integrados no modelo construído no decorrer deste trabalho.

Esta estratégia pode ainda apresentar vantagens e impactes positivos através da implementação das suas medidas, principalmente a nível do sector energético, devido a alguns factores tais como (ENEAPAI, 2007):

1. Escassez de petróleo, pelo efeito do aumento da procura e em breve pelo decaimento da produção;
2. Aumento do custo da energia pelo efeito do Protocolo de Quioto;
3. Objectivos de redução adicional de emissões de gases com efeito de estufa (após 2012).

A utilização de biocombustíveis surge assim, em alternativa ao petróleo, no normativo comunitário. A directiva sobre biocombustíveis estabelece até 2010 na EU o objectivo de 5,75% para a incorporação dos biocombustíveis nas fontes energéticas usadas.

O plano de acção para a biomassa (aprovado pela comissão europeia em 7 de Dezembro de 2005) reforça estes objectivos e alarga o campo de actuação aos vários tipos de biomassa, incluindo os resíduos, preconizando a sua valorização equilibrada em termos de biocombustível, electricidade e calor.

Este plano tem como principais benefícios a diminuição da importação de combustíveis fósseis, melhoria da segurança no abastecimento, redução da emissão de gases com efeito de estufa.

O sector pecuário em Portugal é responsável pela emissão de cerca de um terço do total das emissões de metano (24 vezes mais nocivo para o efeito de estufa do que o CO₂) e de cerca de metade das emissões de óxido nitroso (320 vezes mais nocivo para o efeito de estufa do que o CO₂).

Por estas razões, no Programa Nacional para as Alterações Climáticas ficou estabelecido o objectivo de redução até 2010 de 1,11 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, em resultado de um conjunto de intervenções que terão de se efectuar na gestão dos efluentes pecuários.

Assim, a implementação de soluções integradas de gestão e tratamento dos efluentes das actividades agro-pecuárias e agro-industriais abre oportunidades de valorização energética extremamente importantes.

Na implementação da ENEAPAI terá assim de haver um duplo conjunto de riscos que se poderão transformar em oportunidades, por um lado, na escolha de soluções técnicas de boas praticas de gestão de efluentes por forma a evitar a emissão de gases com efeito de estufa, e por outro, na escolha de soluções técnicas de tratamento e valorização de resíduos, por forma a otimizar o balanço entre a energia consumida e a energia recuperada.

2.3 A Estação de Tratamento de Efluentes Suinícolas de São Martinho do Porto

Dando seguimento às orientações da ENEAPAI, e uma vez que esta região foi identificada como a que possui maior representatividade em termos de explorações suinícolas, e que tem apresentado problemas ambientais devido à descarga indevida destes efluentes, foram propostas três Estações de tratamento de efluentes suinícolas na região Oeste.

Estas três estações são o início do processo estando em perspectiva a construção de mais unidades com este fim. Estas ETES situam-se em São Martinho do Porto,

Alcobaça e Cadaval, tendo como principal objectivo a despoluição de algumas linhas de água, actualmente bastante poluídas.

Quadro 1 – Características Gerais das três estações de tratamento previstas para a região Oeste (Águas do Oeste)

ETAR de Tratamento de Efluentes de Suinicultura a Construir

Designação das ETAR	Tornada	Real e Arnóia	São Martinho do Porto
Caudal a Tratar (m3/dia)	950	200	140
Áreas de influência	Alcobaça e Caldas da Rainha	Cadaval e Bombarral	Caldas da Rainha e Alcobaça
Bacia Hidrográfica	Tornada	Real e Arnóia	Tornada

A primeira destas instalações, a de SMP, já foi adjudicada e neste caso em concreto, pretende-se um plano de acção conjunto entre este sistema de tratamento de resíduos agro-pecuários e um correcto saneamento dos efluentes domésticos, com vista a despoluir a baía de S. Martinho do Porto e a Lagoa de Óbidos promovendo a requalificação ambiental da região, sendo que esta ETES abrange 17 000 animais.

Com o plano em curso, os suinicultores têm um papel preponderante neste processo, uma vez que lhes é possível obter um retorno, na forma de lamas já digeridas, que poderão utilizar para fertilização das suas terras, na percentagem correspondente ao volume de efluente que ‘enviam’ para tratamento. Assim, o incentivo é bastante grande tendo a sua participação bastante mais expressão. Associado a este processo está a obrigatoriedade de todos os suinicultores aderirem a este processo, caso contrário só poderão continuar a exploração se tiverem leitos de secagem para desidratar os efluentes, sem prejuízos ambientais (AMO, 2008, Oeste Digital, 2008).

A resolução do problema associado à poluição de meios receptores devido à exploração suinícola é de extrema importância, uma vez que:

1. A actividade suinícola representa uma grande percentagem das cargas poluentes geradas nesta bacia hidrográfica, onde se inserem a Lagoa de Óbidos e a Baía de SMP, como se pode verificar pelo Quadro 2:

Quadro 2 - Cargas geradas na bacia hidrográfica (Oeste Digital, TREVOESTE)

Doméstica	Industrial	Suinícola
120.000 hab. eqv.	10.000 hab. eqv.	900.000 hab. eqv.

Em termos percentuais estes valores de cargas geradas na bacia, estão apresentados no gráfico da Figura 12.

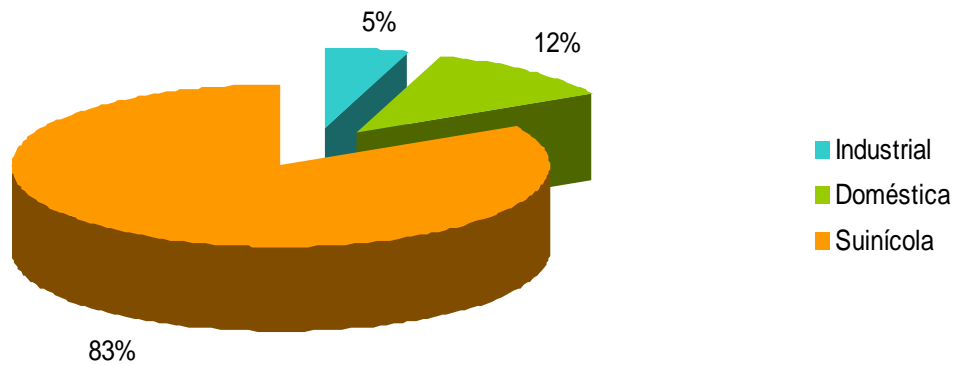


Figura 12 – Cargas geradas na bacia hidrográfica em termos percentuais

2. Em termos económicos, este sector de actividade tem grande expressão em toda a região Oeste, sendo que tem associado um volume de negócio de, aproximadamente, 500 milhões de euros e emprega cerca de 2000 pessoas. (TrevoOeste - Tratamento e Valorização de Resíduos Pecuários, S.A.)

2.3.1 Linha de Tratamento da ETES

O tratamento que ocorre na ETES, divide-se em duas fases, tratamento da fase sólida e tratamento da fase líquida, Figura 13, decorrendo de acordo com as seguintes etapas:

1. Recepção do efluente suinícola e de outros efluentes que podem vir a ser co-digeridos;
2. Digestão anaeróbia;
3. Desidratação mecânica das lamas digeridas;
4. Tratamento Biológico por lamas activadas com remoção de azoto (NDN - Nitrificação e Desnitrificação) do sobrenadante proveniente da desidratação;
5. Decantação;

- Envio do efluente proveniente da decantação para a ETAR de São Martinho do Porto, à qual esta está acoplada.

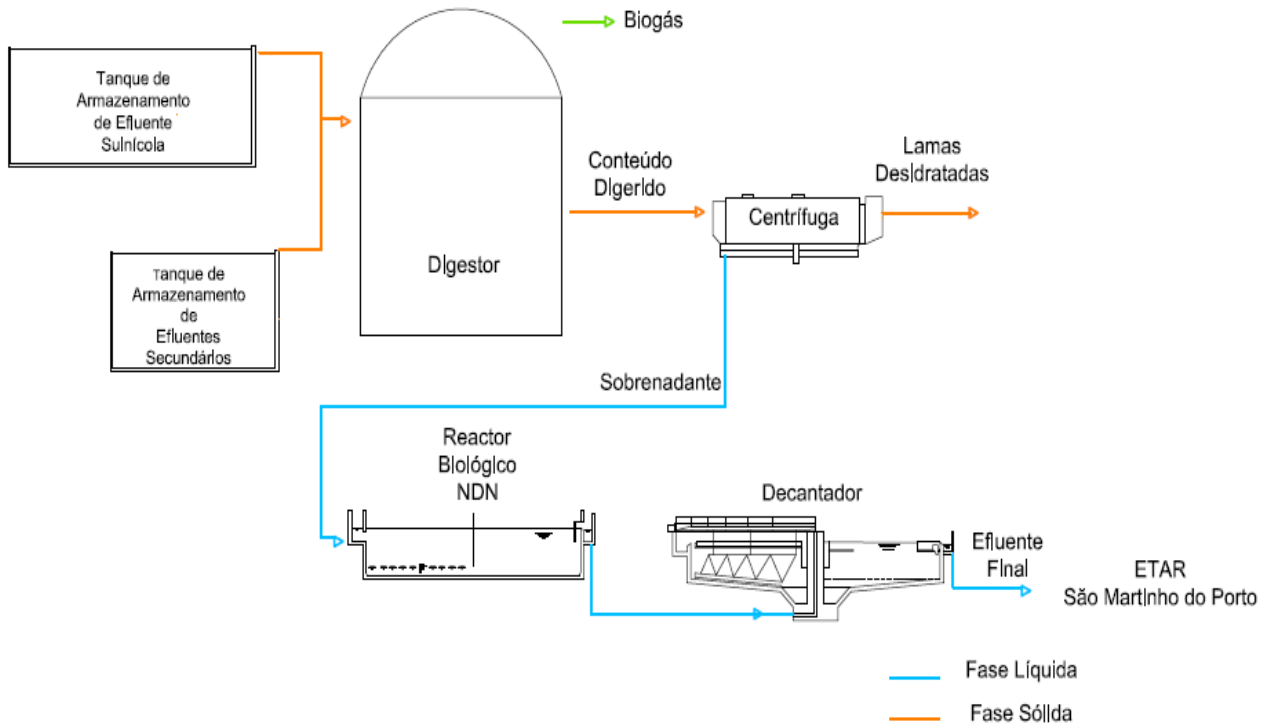


Figura 13 – Linha de Tratamento da ETES de São Martinho do Porto

- Recepção dos Efluentes Suínicos e outros possíveis efluentes que podem vir a ser co-digeridos

Existem dois tanques à cabeça do digestor anaeróbio, sendo que o primeiro se destina a receber efluente proveniente das explorações suínicas, e o segundo a receber outro tipo de efluentes que virão a ser co-digeridos com o efluente suínico.

Estes tanques estão equipados com um agitador mecânico que para além de ter a função de promover a homogeneização dos efluentes, evita o risco de sedimentações nos tanques.

Uma vez que, os efluentes, suínico e os secundários, dão entrada no digestor simultaneamente, para que não ocorram problemas de funcionamento do digestor e se

consiga obter uma mistura, o mais homogénea possível, estes efluentes são misturados, através de um agitador mecânico, antes de dar entrada no digestor. Desta forma, é garantido que as condições de funcionamento são o mais estável possível, que as variações de carga orgânica são menores e a produção de metano bem como a sua qualidade se homogeneíza.

Devido às características dos efluentes a co-digerir com o efluente suinícola, o agitador mecânico tem também, neste caso, a função de corte e dilaceração dos efluentes, o que vai facilitar a actividade dos microrganismos durante o processo de digestão (Trevoeste).

2.3.1.1 Tratamento da Fase Sólida

- Digestão Anaeróbia

O processo de digestão, ocorre em condições mesófilas (35°C), e o digestor é do tipo de mistura completa, o que permite combinar as funções de hidrólise acidogénese e metanogénese num só órgão.

As principais vantagens do processo de digestão decorrer em condições mesófilas são as seguintes:

- Tecnologia de processo simples;
- Processo com elevada estabilidade;
- Consumo mínimo de energia térmica;
- Biogás com menor conteúdo de impurezas, especialmente amoníaco e sulfídrico e maior concentração de metano;
- Sólidos com baixa emissão de amoníaco depois da desidratação.

O sistema de mistura é bastante importante uma vez que com o sistema adequado, como é o caso, se evita a sedimentação de sólidos e garantem-se melhores condições de processo no que diz respeito a pH, temperatura e concentração de nutrientes. Para além disto, também mantém todos os sólidos em suspensão devidamente homogéneos, evita a formação de camadas superficiais e a sua manutenção é bastante reduzida.

Relativamente ao aquecimento do digestor, é necessário fazer primeiro o pré-aquecimento da suspensão de resíduo à temperatura do processo e evitar o arrefecimento por dissipação de calor.

Durante o processo de digestão, existe a formação de dois produtos, o biogás, neste caso avaliado apenas em termos de teor de metano, que será aproveitado na forma de energia térmica e eléctrica e as lamas que seguirão o processo de tratamento, para a fase de desidratação.

- o Desidratação Mecânica

A desidratação das lamas digeridas é efectuada através de um centrífuga, e para que as lamas fiquem mais concentradas, é adicionado polielectrólito floculante.

Após esta etapa, as lamas desidratadas, são armazenadas em silos e posteriormente encaminhadas para o destino final, aterro.

O sobrenadante resultante do processo de desidratação é encaminhado para o tratamento biológico. Este caudal apresenta concentrações bastante elevadas de todos os parâmetros, Quadro 3.

Quadro 3 – Caracterização do sobrenadante do processo de desidratação

Parâmetros	Valor
CQO (mg/L)	5 352
SST (mg/L)	15 715
SSV (mg/L)	9 000
P_{total} (mg/L)	225
N_{total} (mg/L)	1 074
N-NH₄ (mg/L)	993

2.3.1.2 Tratamento da Fase Líquida

- o Tratamento Biológico por lamas activadas com remoção de azoto

O tratamento biológico a operar na ETES é um sistema de lamas activadas, em que se verificam também as fases de nitrificação e desnitrificação, durante as quais se eliminarão o máximo possível, tanto a carga orgânica (CBO₅) como o azoto amoniacal contido no líquido.

Os dois mecanismos principais para a eliminação do azoto são: a assimilação e a nitrificação - desnitrificação. Como o azoto é um nutriente, as bactérias assimilam-no para o incorporar na massa celular, no entanto uma parte do azoto assimilado regressa à água quando as células morrem.

Na etapa de nitrificação, na presença de oxigénio as *nitrosomas* oxidam o amónio transformando-o num produto intermédio, os nitritos. Estes últimos transformam-se por sua vez em nitratos por acção das bactérias *nitrobacter* (Mano A.P., 2006).

A desnitrificação é o processo através do qual as formas oxidadas de azoto são reduzidas a azoto molecular. Este processo é de extrema importância para a remoção de nitrato e nitrito, sendo um mecanismo em que os microrganismos substituem o oxigénio molecular como receptor de oxigénio molecular como receptor de oxigénio, ocorrendo em condições anóxicas (Mano A.P., 2006).

- o Decantação

Esta é a última fase do tratamento da fase líquida, sendo que o objectivo desta fase é a separação entre a fase líquida e sólida, isto é, entre efluente clarificado e lamas.

Relativamente às lamas decantadas, estas vão ser direccionadas para a desidratação mecânica, purga, onde se vão obter lamas concentradas que serão, também elas, armazenadas em silos e posteriormente depositadas em aterro.

Relativamente ao efluente final, dado que os efluentes suinícolas são bastante carregados, as concentrações que se obtêm após o tratamento biológico do efluente, são bastante elevadas. O decreto-lei 149/2004 estabelece os valores limite que podem ser descarregados no que concerne a águas residuais domésticas. Apesar do efluente tratado na ETES não ser doméstico, de forma a justificar a necessidade destes efluentes serem encaminhados para a ETAR de SMP, estabeleceu-se a comparação entre os valores que caracterizam o efluente após a decantação, e os valores limite permitidos no decreto-lei acima referido para descarga no meio receptor, Quadro 4.

Quadro 4 – Caracterização do efluente após a decantação e do valor legislado para as descargas de efluentes tratados

Parâmetros	Valor após decantação	Valor Legislado (decreto-lei 149/2004)
CQO (mg/L)	1000	125
SST (mg/L)	42,86	35
SSV (mg/L)	0	-
P_{total} (mg/L)	90	2
N_{total} (mg/L)	500	15
N-NH4 (mg/L)	10	-

Os valores que se obtêm após a decantação são bastante superiores ao permitido por lei, sendo desta forma imprescindível, submeter este efluente a um tratamento complementar, para que os valores limite permitidos por lei sejam atingidos.

Assim, pode-se concluir que quando se trata de uma estação de tratamento de efluentes suinícolas, esta instalação funciona como pré-tratamento destes efluentes, durante o qual é também possível o aproveitamento do potencial metanogénico destes. Desta forma, é garantido que os efluentes suinícolas saem da ETES com características semelhantes às das águas residuais domésticas, para que possam ser encaminhados para as ETAR, de forma a concluir o tratamento.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Co-Digestão

A co-digestão é a digestão de uma mistura homogénea de dois ou mais resíduos, sendo que o mais usual é a digestão de um efluente principal, efluentes domésticos ou agrícolas, com outros substratos com menor peso. O termo co-digestão, no entanto, é utilizado independentemente do rácio em que é feita a mistura de efluentes (Braun, 2002).

A história da digestão anaeróbia sofreu algumas mudanças nas últimas décadas, uma vez que até há pouco tempo atrás era utilizada apenas para um substrato, por exemplo, em que o estrume era digerido para produzir energia, lamas domésticas eram estabilizadas e efluentes industriais deviam ser pré-tratados. No entanto, hoje em dia, este processo para além de ser alvo de maior conhecimento e das suas técnicas, tornou-se um processo com múltiplas funções, melhoramento do efluente, produção de energia, melhoramento do fertilizante entre outras. Percebeu-se também, que o processo de digestão ia, eventualmente, tornando-se mais estável à medida que a adição de substratos aumentava (Braun, 2002).

Assim sendo, a co-digestão tornou-se num tema de grande importância e que tem sido alvo de muitas pesquisas e aplicações (Rivard *et al.*, 1990, Mshandete *et al.*, 2004, Murto *et al.*, 2004, Hedegaard *et al.*, 1999).

Para além das vantagens, este processo apresenta também algumas limitações, Quadro 5.

Quadro 5 - Vantagens e Limitações da Co-Digestão (Adaptado de Braun, 2002)

Vantagens	Desvantagens
Melhoramento da digestão e do balanço de nutrientes	Aumento de CQO no digestor
Equalização das partículas, flutuantes, acidificante e fixas, através da diluição com efluente suínico	Aumento da necessidade de mistura
Colecta de biogás adicional	Pré-tratamento adicional dos outros substratos
Possível entrada de capital para o tratamento dos resíduos	Restrições do uso do digerido nos solos
Correcção fertilizante do solo	Altamente dependente dos custos de produção
Biomassa renovável disponível na agricultura para digestão	Necessidade de higienização

Os substratos orgânicos podem ser colocados no digestor individualmente, no entanto, deverá ser verificado o rácio de nutrientes C:N:P = 300:5:1 que deve ser mantido de

forma a que o funcionamento do digestor não entre em quebra ou em falha. Desta forma, através da co-digestão destes substratos existe um melhor balanço de nutrientes com conseqüente melhoria no desempenho do digestor e maior produção de biogás, resultando também na obtenção de uma fracção digerida com uma qualidade bastante superior (Braun, 2002).

Uma mistura completa de resíduos diferentes conduz ao melhor desempenho da digestão, melhorando o índice dos nutrientes e reduzindo o efeito negativo de compostos tóxicos no processo da digestão (Murto *et al.* 2004).

O número de instalações de co-digestão está a aumentar e há muitos digestores em operação realizando a co-digestão de estrume e resíduos orgânicos industriais (Agência Dinamarquesa de Energia, 1995; Hedegaard e Jaensch, 1999). A degradação das proteínas pode originar a formação de sulfureto de hidrogénio e conseqüentemente a sua presença no biogás, o que pode levar à inibição microbiana, sendo igualmente problemático devido ao cheiro forte e deve ser removida do biogás (Chynoweth *et al.*, 2001).

No Quadro 6 listam-se alguns co-substratos que podem ser considerados, excelentes, bons e maus para o processo de digestão anaeróbia.

Quadro 6 - Substratos considerados, Excelentes, Bons ou Maus para a digestão anaeróbia (Adaptado de Braun, 2002)

Excelentes	Bons	Maus
Efluente Suinícola	Resíduos produção de aves	Carcaças de animais
Soro de leite coalhado	Resíduos explorações bovinas	Partes de animais
Lama da produção de vinho	Resíduos de produção de sumos de fruta	Restos de comida de aeroporto e de catering
Lama de destilarias	Efluentes provenientes da industria de conservas	Resíduos de jardim
Restos de fruta, milho ou batata	Resíduos de peixe	
Levedura e lamas provenientes de cervejarias	Gorduras	
Gordura Animal	Restos de comida dos restaurantes	
Sangue	Efluentes da produção de papel	

No entanto, na digestão de qualquer substrato podem surgir alguns problemas. Por exemplo, no campo dos substratos excelentes pode haver formação de ácido sulfúrico aquando da adição em excesso de lamas provenientes da produção de vinho, lamas e

levedura provenientes de fábricas de cerveja e lama de destilarias. Pode ocorrer também a formação de uma camada de escumas, se a adição de gordura animal for em excesso.

Mesmo para o caso dos “bons” podem surgir problemas como por exemplo com os efluentes da produção de papel devido ao elevado conteúdo de celulose. No caso de adição de restos de comida dos restaurantes há que ter a preocupação com a separação de resíduos como, plásticos, latas, etc. Na adição de gorduras, há a possibilidade de formação de uma larga e dura camada de escumas. É possível ter de existir moagem quando se pretender adicionar resíduos provenientes da transformação de peixe. Na adição de efluentes provenientes da indústria de conservas ao digestor possivelmente será necessário anteriormente ser efectuada uma diluição. A adição de resíduos de produção de sumos de fruta leva à necessidade de trituração destes, para garantir uma fácil alimentação do digestor por um lado, e a homogeneidade da mistura por outro. A inibição pela amónia pode ocorrer com a adição de alguns substratos como os suínícolas e também com os resíduos de criação de aves (Braun, 2002).

Por fim, relativamente aos substratos considerados maus para digerir anaerobiamente, encontramos os restos de comida de aeroportos e de catering por conterem elevados conteúdos de inertes e embalagens, que são difíceis de triar antes da adição ao digestor. Relativamente aos resíduos de jardim, estes apresentam muitas impurezas requerem cuidados especiais para serem considerados como substratos a digerir.

Como se pode concluir através desta análise é necessário ser selectivo na introdução de qualquer destes substratos no digestor, uma vez que podem vir com algumas impurezas bastante nocivas ao funcionamento correcto do digestor (Braun, 2002).

Para fazer a adição de um co-substrato ao digestor é necessário conhecer muito bem as suas características, uma vez que a mínima concentração de algum componente tóxico ou inibitório, por mais pequeno que seja pode comprometer todo o processo. Assim sendo, a adição destes co-substratos dependem de:

1. As características do digestor em termos de carga máxima admitida;
2. A ocorrência de perturbações em termos de ácido sulfúrico ou amónia ou qualquer outro composto que possa ser inibitório ou tóxico aos microrganismos responsáveis pela digestão;
3. O comportamento da mistura presente no digestor, escumas, sedimentos, entupimentos de tubos, etc.

A qualidade dos dois produtos resultantes do processo de digestão anaeróbia, biogás e lamas, está directamente dependente da qualidade dos efluentes que dão entrada no digestor, é devido a este facto que são tão importantes todos os mecanismos de pré-tratamento dos efluentes.

O biogás pode ser utilizado para:

1. Gerar Calor;
2. Gerar energia eléctrica;
3. Após transformação ser utilizado como combustível de veículos.

A produção e a qualidade do biogás melhoram aquando da adição de certos efluentes tais como gorduras, que não em excesso, açúcares e amido.

No entanto a adição de certos efluentes, como os provenientes de matadouros e até mesmo o efluente suinícola, devido ao facto de possuírem grandes concentrações de amónia, pode ocorrer a inibição do processo de produção de biogás pelo ácido sulfúrico.

As lamas saem do digestor ainda contendo alguns compostos não digeridos bem como partículas residuais. No entanto, e de acordo com a legislação vigente de cada país, as lamas digeridas podem ser utilizadas como fertilizante dos solos, tendo de se ter em conta as concentrações de nitrato que possuem bem como a possibilidade de conterem alguma concentração de metais pesados (Braun, 2002).

3.2 Co-Digestão na Europa

Na Europa, nos meados da década de 90, começou a haver cada vez mais atenção e preocupação relativamente aos problemas ambientais, em termos de poluição gerada pela deficiente gestão de alguns efluentes como resíduos provenientes de explorações de animais, bem como de resíduos domésticos, tornando-se cada vez mais emergente a elaboração de medidas que permitissem o controlo destes problemas. Por outro lado, começaram a ser elaboradas leis de protecção do ambiente relativas a estes efluentes, havendo necessidade de definir medidas que estimulassem a utilização de técnicas apropriadas e mais desenvolvidas para o aproveitamento de biogás (Holm-Nielsen, 2007).

Desta forma, o uso destes efluentes como substrato da digestão anaeróbia, começou a ter mais ênfase e conseqüentemente a agregação deste tipo de efluentes demonstrou ser a resposta à dificuldade da implementação das soluções de tratamento em termos individuais. Com esta medida tornou-se possível a integração

dos produtores no processo de erradicação de grande parte dos problemas associados a estes resíduos, havendo ainda a vantagem suplementar em termos da diminuição das emissões de gases com efeito de estufa (Holm-Nielsen, 2007).

Em 2006, a nível europeu, já se registava uma produção de energia eléctrica a partir do biogás bastante considerável, em que o crescimento neste ano relativamente ao ano anterior, 2005, aumentou cerca de 28,9% (Estudo Europeu de Produção de Biogás, 2007).

O interesse europeu no biogás tem crescido muito nos últimos anos devido às suas características, excelente combustível com reduzidas emissões de gases de efeito de estufa (Estudo Europeu de Produção de Biogás, 2007).

O aproveitamento de biogás proveniente de aterros é o mais abundante, sendo utilizado maioritariamente para produzir energia eléctrica, que é injectada na rede eléctrica, sendo que por vezes apresenta elevada presença de impurezas. No caso de estações de tratamento de efluentes urbanos e industriais, pequenas unidades agrícolas, centrais de co-digestão ou unidades de resíduos sólidos, o processo mais utilizado é o de aproveitamento de biogás para o processo combinado de aproveitamento térmico e eléctrico, co-geração (Estudo Europeu de Produção de Biogás, 2007).

Neste tipo de configurações, a produção de calor é utilizada directamente para manter o digestor sempre à mesma temperatura o que favorece o processo de metanização.

O biogás pode ser utilizado como combustível para veículos que funcionam a gás natural, ou ser injectado na rede de distribuição de gás natural, quando permitido pela legislação nacional. Tanto uma como outras aplicações têm vindo a ser bastante utilizadas devido à grande redução de emissões de gases com efeito de estufa.

A produção de energia a partir do biogás aumentou em 2006, com um crescimento de 13,6% relativo à produção total de 2005 de 5346 Mt, sendo que a produção de biogás a partir de aterros representa a maior taxa de produção de biogás (Biogas Barometer, 2008).

Em 2007, pela primeira vez, a co-geração excedeu os valores de produção da electricidade produzida isoladamente. Relativamente à valorização em forma de calor, os valores são apresentados em termos de volume de calor vendido, sem ter em conta as quantidades de calor que podem ser auto-consumidas.

Quanto mais os preços dos combustíveis fósseis aumentam, mais atractivo fica o biogás. As aplicações do biogás, que já foram muito limitadas, a reciclagem ou a recuperação de energia através dos resíduos expandiram-se mais, principalmente devido ao uso de energia obtida através de resíduos agrícolas. Estes factos

promoveram a produção europeia, que em 2007 registou um aumento de 20,5% em relação a 2006 (Biogas Barometer, 2008).

A produção de energia primária a partir do biogás chegou aos 5,9 milhões de toneladas em 2007, 1 milhão de toneladas a mais do que no ano anterior. Estas estatísticas apenas têm em conta o biogás que é transformado em receita, e não o que é queimado nas tochas. Em 2007, o biogás produzido em aterro continuava a ser a maior fonte (49,2%), sendo o biogás proveniente de ETAR's, 15%, que foi ultrapassado por outras fontes (35,7%) que são fundamentalmente unidades agrícolas de biogás. A fonte agrícola é actualmente a verdadeira força motriz do crescimento da produção europeia de biogás. O aumento da produção de biogás foi principalmente devido à produção de electricidade produzida por co-geração (76,1% do aumento da produção de electricidade entre 2006 e 2007). A electricidade produzida por co-geração representava em 2007, 58,4% da produção a partir do biogás, comparativamente com 2006 em que foi 55,3%.

De acordo com este estudo a produção de calor aumentou cerca de 2,5% na união europeia de 2006 para 2007. Metade desta produção resulta das unidades de co-geração (Biogas Barometer, 2008).

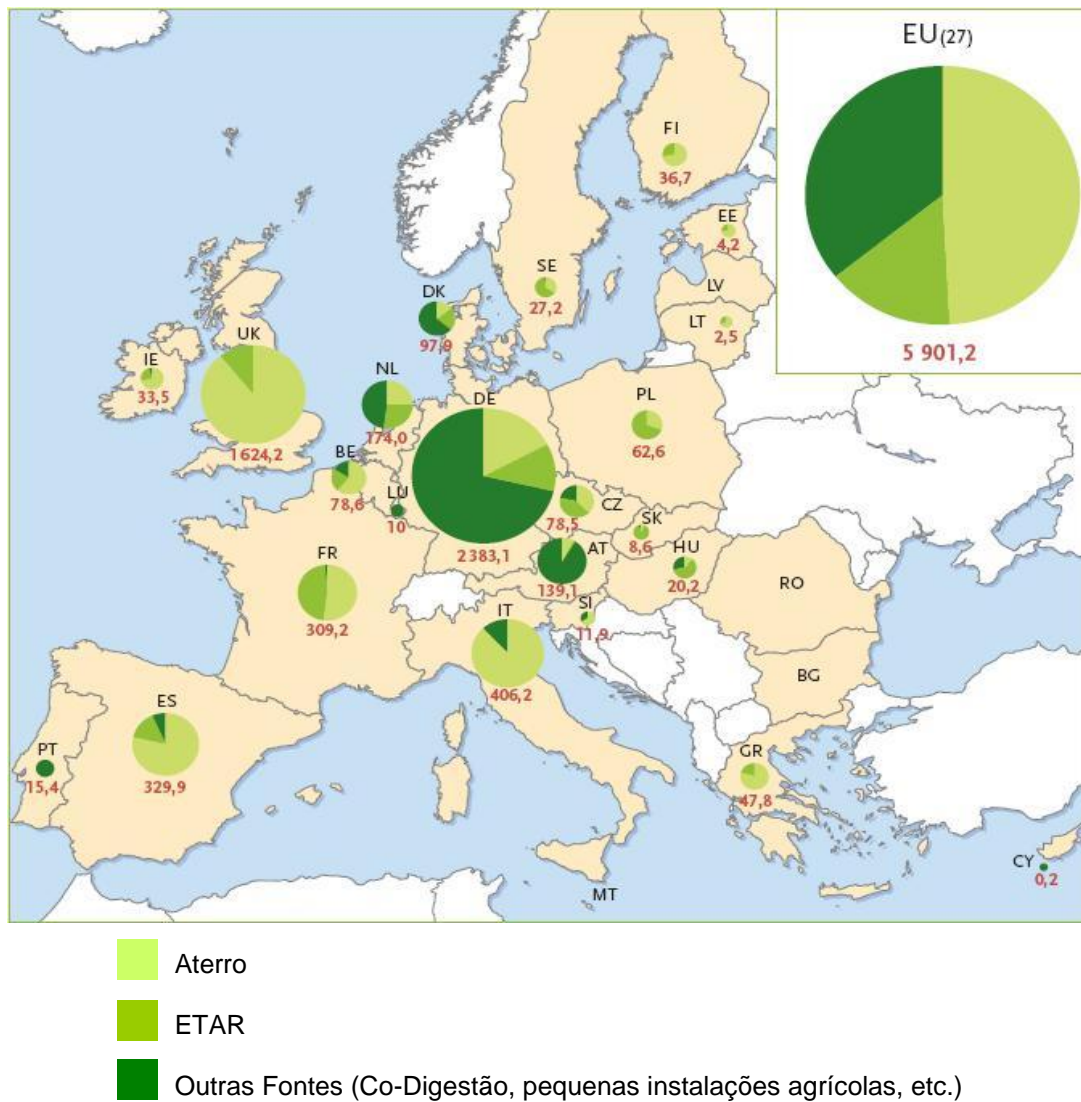


Figura 14 - Distribuição Europeia da Produção de biogás de acordo com a fonte (Adaptado de Estudo Europeu de Produção de Biogás)

Como tem vindo a ser referido, a principal fonte de produção de biogás na Europa são os aterros, sendo que progressivamente as unidades de co-digestão, bem como pequenas instalações agrícolas, têm vindo a ganhar bastante peso no que concerne à produção do biogás.

Avaliando os países com maior peso, maior produção de biogás, destaca-se a Alemanha, em que grande parte do biogás produzido provém de unidades de co-digestão e outras fontes. Pode ainda referir-se o caso da Holanda e Dinamarca, sendo ambos os países apostadores fortes nas unidades de co-digestão e co-geração, obtendo maior parte da produção de biogás destas mesmas unidades.

3.3 Digestão de efluentes específicos

Para a execução deste trabalho, tornou-se preponderante o conhecimento do processo de digestão para alguns efluentes específicos não só para a obtenção de alguns parâmetros fundamentais, em termos de características, mas também para avaliar os possíveis problemas que podem surgir da digestão destes efluentes bem como alguns procedimentos que podem atenuar estas complicações no processo.

Diversos tipos de resíduos foram já digeridos anaerobiamente, obtendo resultados positivos, tais como águas residuais domésticas e industriais, efluentes provenientes de matadouros, resíduos de fruta e verdura, efluentes suínolas e biomassa agrícola (Callaghan *et al.*, 2002; Claassen *et al.*, 1999; Gunaseelan, 1997).

Para além da digestão singular de cada um dos efluentes em estudo, foram também analisadas, na medida do possível, algumas situações de co-digestão de alguns destes efluentes. Assim, os efluentes que serão analisados são, os provenientes de indústria de processamento de peixe, de explorações bovinas, de matadouros e também resíduos de maçãs.

o **Digestão de resíduos provenientes da indústria transformadora de peixe**

A estabilização e higienização das lamas provenientes da indústria transformadora de peixe podem ser feitas através de vários métodos, entre eles a digestão anaeróbia, que devido ao possível aproveitamento de energia é preferível em relação aos outros. A energia pode ser usada, entre outras coisas, na pasteurização da lama, no caso da higienização não ser totalmente feita apenas através da digestão anaeróbia.

A digestão anaeróbia destes efluentes, pode no entanto apresentar alguns problemas, principalmente devido à concentração inibitória de alguns compostos, como o sódio e o sulfato que, no decorrer do processo de digestão se transformam em sulfureto e amónia através da degradação do substrato (Gallert *et al.*, 1998).

No entanto, a inibição que pode ocorrer devido à presença destes compostos, pode por vezes ser atenuada, ou até mesmo eliminada, através da adaptação de biomassa, ou pelos efeitos antagónicos que a presença de outros cátions podem provocar (Gebauer, 2004).

Apesar da digestão anaeróbia destes efluentes se revelar benéfica em termos de redução de CQO, entre 36% e 60%, há a considerar que se existir inibição no decorrer do processo, a obtenção de lamas estabilizadas torna-se bastante difícil (Mshandete *et al.*, 2004).

Os valores da caracterização deste efluente foram obtidos através de uma experiência a operar em condições mesófilas, 35°, Quadro 7.

Quadro 7 - Caracterização do efluente proveniente de uma exploração piscícola

Parâmetro	Conteúdo	Fonte
SST kg/m ³	490	Callaghan <i>et al</i> , 1999
SSV kg/m ³	481	Callaghan <i>et al</i> , 1999
N _{Total} kg/m ³	2,7	Gebauer, 2004
Nh ₄ -N kg/m ³	0,48	Gebauer, 2004
P _{Total} Kg/m ³	1,5	Gebauer, 2004
CQO kg/m ³	67,2	Gebauer, 2004
Produção de Biogás (m ³ CH ₄ /kgSSV _{removido})	0,22	Gebauer, 2004

Os valores de carga, em termos de sólidos totais e sólidos voláteis, são bastante elevados, como se pode verificar no Quadro 7, sendo que esta elevada concentração de partículas pode levar à inexistência de desenvolvimento da biomassa metanogénica activa (Mshandete *et al.*, 2004).

o Efluentes provenientes de explorações bovinas

Os efluentes provenientes das explorações de bovinos, podem apresentar alguns problemas quando são digeridos anaerobiamente. A alimentação dos bovinos interfere, em larga escala, na produtividade que os efluentes provenientes das explorações bovinas apresentam. A dieta destes animais é rica em celulose o que vai provocar algumas dificuldades na digestão destes efluentes, dado que a degradação deste composto, tal como da lenhina também bastante presente nestes efluentes, é bastante difícil. A presença destes compostos faz com que haja uma diminuição significativa no rendimento específico deste efluente (Al-Masri, 2001).

O aparelho digestivo dos bovinos é bastante característico, fazendo a degradação de grande maioria do carbono biodegradável ingerido, no estômago e no rúmen. Este facto leva a que a produção de biogás (m³/CQO_{adicionado}) seja bastante inferior à que se verifica na digestão de efluentes provenientes de explorações avícolas ou suínas (Amon, 2007).

Uma vez que a produção de biogás a partir deste tipo de efluentes está amplamente ligada à alimentação dos animais, é importante referir que existem diferenças nos níveis de produção de acordo com a estação do ano, Inverno ou Verão. Esta diferença

deve-se ao facto de no Verão o gado se alimentar de erva fresca, aumentando a produção de biogás significativamente, enquanto no Inverno a alimentação é à base de feno, o que leva a uma diminuição da produção de biogás (Amon, 2007).

Os valores característicos dos efluentes provenientes das explorações bovinas estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Características do efluente proveniente de explorações bovinas

Parâmetro	Conteúdo	Fonte
SST kg/m ³	14,3	Alvarez <i>et al</i> , 2007
SSV kg/m ³	2,72	Alvarez <i>et al</i> , 2007
N _{Total} kg/m ³	3,5	Alvarez <i>et al</i> , 2007
Nh ₄ -N kg/m ³	1,4	Alvarez <i>et al</i> , 2007
P _{Total} Kg/m ³	1,2	Alvarez <i>et al</i> , 2007
CQO kg/m ³	5,99	Alvarez <i>et al</i> , 2007
Produção de Biogás (m ³ CH ₄ /kgSSV _{removido})	0,25	Amon <i>et al.</i> , 2007

Dado que as características dos efluentes provenientes de explorações bovinas, não se revelam das mais benéficas para o processo de digestão, a sua co-digestão com outros efluentes pode levar ao aumento do rendimento do processo. Assim, no caso da sua co-digestão com resíduos de fruta e vegetais e efluentes provenientes da indústria transformadora de peixe, os resultados revelaram-se bastante superiores, comparativamente à digestão dos efluentes de explorações bovinas isoladamente (Capela *et al.*, 2007).

Em casos de co-digestão onde alguns dos co-substratos são os resíduos provenientes da indústria transformadora de peixe e lamas de fábricas de cerveja, os valores obtidos da produção de biogás foram mais elevados (Al-Masri, 2001).

Co-digerindo os efluentes provenientes das explorações bovinas com efluentes provenientes de explorações avícolas, os valores de produção de biogás aumentaram ligeiramente, uma vez que se verificou inibição por parte da amónia (Alvarez *et al.*, 2000).

o Efluentes provenientes de unidades de matadouros

Os efluentes provenientes de unidades de matadouros dividem-se em três categorias diferentes de efluentes:

1. Águas vermelhas, contêm principalmente lípidos e proteínas

2. Águas verdes, resultantes do processamento e limpeza de tripas
3. Águas residuais domésticas, pontos de lavagem e casas de banho

Estes efluentes apresentam um elevado conteúdo de sólidos suspensos e uma elevada presença de gorduras, o que pode causar problemas operacionais na digestão anaeróbia, principalmente em sistemas de alta carga. A presença destes dois compostos no digestor pode levar a que haja uma quebra bastante grande na eficiência do processo de digestão. Para que estes problemas sejam atenuados e/ou evitados, a implementação de tratamentos primários surge como uma opção bastante benéfica, uma vez que promove a separação de compostos que podem ser uma mais valia para o processo de digestão, tais como o sangue e alguma quantidade de gorduras, que em concentrações pequenas se podem revelar num produto bastante rentável em termos de produção de biogás (Cuetos *et al.*, 2007).

Devido às suas características, quando estes efluentes dão entrada num sistema municipal de tratamento de águas residuais domésticas, os efeitos causados podem ser bastante prejudiciais a todo o tratamento devido à elevada carência química e bioquímica de oxigénio (Johns, 1995).

Os principais problemas que podem surgir na digestão destes efluentes, são devidos à acumulação de altas concentrações de amónia, que advêm da degradação das proteínas do sangue, bastante rico em azoto. (Hansen *et al.*, 1998).

As características dos efluentes provenientes de matadouros, resultam de uma média dos dois tipos de efluentes que são gerados nestas unidades, águas verdes, vermelhas, Quadro 9.

Quadro 9 - Caracterização do efluente proveniente de unidades de matadouros

Parâmetro	Conteúdo	Fonte
SST kg/m ³	12	Mata-Alvarez, 2000
SSV kg/m ³	10	Mata-Alvarez, 2000
N _{Total} kg/m ³	0,525	Mata-Alvarez, 2000
Nh ₄ -N kg/m ³	0,15	Murto <i>et al.</i> , 2004
P _{Total} Kg/m ³	0,068	Mata-Alvarez, 2000
CQO kg/m ³	21	Miranda <i>et al.</i> , 2005
Produção de Biogás (m ³ CH ₄ /kgSSV _{removido})	0,24	Miranda <i>et al.</i> , 2005

Tal como se verifica noutros casos, a co-digestão destes efluentes com outros, leva à atenuação de alguns processos inibitórios, bem como melhora significativamente a produção de biogás.

Fazendo a co-digestão de efluentes provenientes de unidades de matadouros com efluentes suínícolas, industriais e com resíduos de fruta e vegetais, a produção de biogás obtida varia entre os $0,8 - 1 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgSSV}_{\text{removido}}$ (Murto *et al.*, 2004), a qual se verifica superior comparativamente à produção de biogás obtida quando ocorre a digestão singular do efluente proveniente de unidades de matadouros, $0,24 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgSSV}_{\text{removido}}$, Quadro 9.

No caso da co-digestão ser realizada com efluentes provenientes de unidades de matadouros, com efluentes provenientes de explorações avícolas e resíduos de fruta e vegetais, verifica-se que aumentando a quantidade deste último efluente de 20 para 50%, a produção de metano aumenta cerca de 1,9 vezes (Alvarez *et al.*, 2008).

O facto de co-digerir efluentes com elevados teores de azoto, como é o caso dos provenientes de matadouros e de explorações suínícolas, com substratos que apresentam conteúdos bastante baixos, como os resíduos de fruta e vegetais, leva a que os processos inibitórios diminuam, promovendo uma produção de biogás superior (Kaparaju *et al.*, 2008; Callaghan *et al.*, 2002).

o **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos**

Os resíduos de frutas e verduras (RFV) representam um co-substrato bastante rentável no processo de digestão anaeróbia, uma vez que se caracterizam por ser bastante biodegradáveis, apresentarem elevado teor em humidade (> 80%) e em SSV (> 90%) e apresentam um valor baixo de pH (Gunaseelan, 1997, Rivard *et al.*, 1990).

Desta forma, a utilização destes resíduos como co-substrato, revela-se bastante benéfico, devido a serem uma boa fonte de nutrientes, que são fundamentais ao processo de digestão, podendo ainda ajudar a estabelecer os índices de humidade exigidos.

Estes tipos de resíduos, ricos em hidratos de carbono, como a maçã, a banana, etc., são óptimos co-substratos principalmente quando co-digeridos com efluentes provenientes da cria ou transformação de animais, uma vez que actuam como forma correctiva, isto é, atenuam alguns efeitos inibitórios (De Baere, 2000).

Não obstante destes efluentes serem bastante benéficos para o processo de digestão anaeróbia, existem também alguns inconvenientes, principalmente devido a custos de transporte e aos problemas que se levantam da harmonização de políticas dos produtores destes resíduos. Outro inconveniente é o facto de estes efluentes terem na sua constituição alguns compostos que se podem revelar inibitórios ao processo de digestão, tais como metais pesados, compostos xenobióticos, podendo por vezes

também apresentar concentrações de azoto um pouco elevadas (Hartmann e Ahring, 2003; Braber, 1995; Gunaseelan, 2004).

Assim, de acordo com as mais valias que os compostos orgânicos relevam no processo de digestão anaeróbia, para a construção do modelo no âmbito deste trabalho, foi considerado como co-substrato a maçã, estando as suas características apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Características dos efluentes provenientes da indústria transformadora da maçã

*Parâmetro	Conteúdo	Fonte
SST kg/m ³	295	Raynal <i>et al.</i> , 1998
SSV kg/m ³	280	Raynal <i>et al.</i> , 1998
N _{total} kg/m ³	0,1	Raynal <i>et al.</i> , 1998
N-NH ₄ kg/m ³	0,1	Raynal <i>et al.</i> , 1998
P _{total} kg/m ³	0,1	Raynal <i>et al.</i> , 1998
CQO kg/m ³	285	Raynal <i>et al.</i> , 1998
Produção de Biogás (m ³ CH ₄ /kgSSV _{removido})	0,29	Gunaseelan, 1997

* Para a obtenção de alguns destes parâmetros foi necessário partir do pressuposto que 1 kg de maçãs ocupam 0,0013m³, de forma a ser possível transformar o valor obtido nas unidades pretendidas

❖ Digestão de Efluentes Suinícolas

Os efluentes suinícolas, que por um lado, representam um bom efluente a ser digerido uma vez que apresentam um bom potencial metanogénico devido a serem bastante carregados em carbono, por outro lado representam alguns problemas no processo de digestão, uma vez que são bastante carregados em azoto, levando à formação de amónia no digestor. Se por um lado elevadas concentrações de amónia são prejudiciais ao processo de digestão, a presença de concentrações inferiores a 200mg/l são benéficas, devido ao facto do azoto ser um nutriente essencial para os microrganismos anaeróbios do processo de digestão (Chen *et al.*, 2007).

No entanto a presença de certos iões como o Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ são dados como antagónicos à inibição pela amónia, isto significa que a toxicidade de um ião é diminuído pela presença de outros iões (Hansen *et al.*, 1997).

Existem, também, alguns mecanismos físico-químicos que permitem contrariar a inibição provocada pela amónia, tais como os fenómenos de stripping ou precipitação química, tendo sido provado que em casos em que se verificam elevadas concentrações de amónia, são bastante eficazes. No entanto, em ambos os casos, o aumento de resíduo a tratar aumenta substancialmente, o que leva a que estes processos não sejam atractivos economicamente (Chen *et al*, 2008).

Existem ainda uma série de mecanismos que podem levar a que a inibição pela amónia diminua, tal como o aumento do tempo de retenção da biomassa, a adição de iões adsoventes, a adição de carbono activado, adição de catiões que actuam sinergeticamente com a amónia, etc. (Chen *et al*, 2008).

No entanto, uma das soluções que se revela mais viável para a atenuação da inibição que a amónia provoca nos microrganismos que desempenham o processo de digestão é a adição de co-substratos ao digestor.

Neste sentido, alguns estudos já foram realizados e comprovaram substanciais melhorias na performance do digestor. (Hansen *et al*.1997; Hartmann, 2004; Hashimoto, 1983).

As estações de tratamento de efluentes, consideram-se economicamente viáveis quando a produção de biogás é maior que 30m³/t de efluente tratado, sendo a produção de biogás a partir dos efluentes suínicos de 20 – 30 m³/t (Agência Dinamarquesa de Energia, 1995).

Assim sendo, a co-digestão com resíduos orgânicos, principalmente frutas e vegetais levam a que os valores de produção de biogás aumentem de forma bastante favorável. A concentração de amónia livre nos RFV é cerca de três vezes mais baixa do que a que se verifica nos efluentes suínos, tendo sido obtidos valores de produção de biogás de 0,4 m³CH₄/kgSSV_{removido}, quando co-digeridos. O valor obtido representa cerca de 82% do máximo rendimento teórico calculado a partir do contudo de CQO dos RFV, 0,49m³CH₄/kgSSV_{removido}.

De acordo com a experiência de Hartmman (2004), o aumento da produção de biogás é directamente proporcional ao aumento de RFV no digestor.

A digestão anaeróbia de RFV e efluente suínico, mostrou que o desempenho do digestor foi estável, tendo sido obtido uma produção de biogás de 0,63 – 0,71 m³CH₄/kgSSV_{removido}, o que corresponde a 180 – 220 m³/tRFV, tendo ainda sido verificada que a adição de RFV, atenuou o efeito inibitório da amónia, bem como atenuou as variações de pH (Hartmann, 2004).

3.4 Modelos do Processo de Digestão Anaeróbia

A disponibilidade de um modelo robusto de digestão anaeróbia, permitindo a obtenção dos melhores parâmetros para o controlo ideal do digestor, é fundamental, de forma a responder às necessidades de optimização do processo da digestão anaeróbia para diferentes efluentes. No entanto, há muitas dificuldades na construção destes modelos no que diz respeito à fracção orgânica dos resíduos sólidos orgânicos. Há muitos passos, e tipos de microrganismos envolvidos, e este substrato é bastante complexo. Na sua maioria, os modelos obtidos na literatura discutem a cinética das reacções que levam à degradação dos substratos, considerando principalmente os passos da acetogénese e da metanogénese (Mata-Alvarez e Cecchi, 1990; Costello *et al.*, 1991). Alguns exemplos destes modelos estão apresentados e descritos seguidamente.

Batstone *et al.* (2002), formularam um modelo designado por ADM1, Anaerobic Digestion Model number 1, baseado em reacções bioquímicas e físico-químicas que ocorrem no processo de digestão, tendo também em conta as reacções inibitórias que podem causar problemas no funcionamento do digestor, diminuindo a produção de biogás.

Apesar das reacções bioquímicas terem bastante peso neste modelo, para que a análise de todo o processo seja mais completa e rigorosa, o conhecimento de algumas reacções químicas, tais como as relativas às variações de pH, tornam-se também bastante importantes. A partir das reacções físico-químicas existe a percepção das alterações de pH e existem alguns factores, alcalinidade do carbono por exemplo, que dependem da correcta estimativa de como decorrem estas reacções. Por outro lado as reacções de associação/dissociação são muito rápidas comparativamente a outras reacções, especialmente às bioquímicas, sendo também referidas como processos de equilíbrio.

Este modelo, no entanto apresenta algumas limitações, sendo o facto de não regular os produtos da fermentação da glucose o mais referido (Siegrist *et al.* 2002), havendo no entanto alguns autores que defendam que o pressuposto de se basear o modelo na degradação de um substrato complexo, poder levar a que surjam alguns problemas quando o substrato a digerir for simples (Zaher 2005).

No seguimento da formulação deste modelo, Siegrist *et al.* (2002) partindo dos mesmos pressupostos que o ADM1, propôs uma simplificação a este, baseando o seu modelo na metanogénese acetotrófica e na degradação do propionato, definindo-as como os passos que determinam a estabilidade do processo. Relativamente às reacções físico-químicas e bioquímicas que ocorrem na digestão, os pressupostos

foram mantidos do ADM1, tendo também em consideração as equações da inibição provocada pela amónia e pH.

Kiely *et al.* (1996) desenvolveu um modelo, preparado para simular as variações de pH, e as produções de NH_3 e CH_4 . O modelo considera também a inibição causada pela amónia na cinética de crescimento das bactérias metanogénicas. Por outro lado, o modelo conserva o equilíbrio entre o CO_2 e o HCO_3^- e a massa de catiões, CO_2 e NH_4^+ . Este modelo foi testado numa experiência realizada por, Kiely *et al.* (1996), em que os resultados foram bastante satisfatórios na simulação dos parâmetros desejados, pH, NH_3 e CH_4 .

A nível nacional, foi formulado um modelo, Bio4Gas Dias *et al.* (2008), que permite a simulação da produção de biogás e respectiva produção de energia expectável.

O objectivo deste modelo é avaliar a capacidade de aumentar a produção de biogás através da adição de outros substratos ao processo, co-digestão, e foi testado em cinco ETAR's pertencentes à Águas do Oeste, tendo sido simuladas as receitas inerentes às tarifas da venda de energia eléctrica.

De uma forma geral, este modelo contribui para a resposta às necessidades específicas de gestão de informação, operação do digestor, produção/consumo de energia e estratégia para optimização (Dias *et al.*, 2008).

Para além destes modelos mais específicos, e que permitem uma utilização eficaz, existem inúmeros autores que através das suas experiências no âmbito da digestão e co-digestão anaeróbia, desenvolveram pequenos modelos, fruto dos resultados obtidos, e que permitem tirar algumas conclusões relativamente aos substratos por eles utilizados, estando alguns deles referidos de seguida.

Zeeman *et al.* (2000), apresentou um modelo dinâmico dependente do tempo de retenção hidráulico. Este modelo é baseado em comunidades bacterianas, fermentativas-hidrolíticas e aceto-metanogénicas, e as reacções enzimáticas envolvendo a inactivação de enzimas.

O modelo METHANE foi desenvolvido por Vavilin *et al.* (1996), aplicado à digestão anaeróbia de resíduos de matadouros de aves, e mostra que o passo limitante deste processo é a hidrólise, que é inibida por concentrações altas de propionato, tendo sido obtidos resultados semelhantes por Broughton *et al.*, (1998), quando fez a digestão anaeróbia de sebo de ovelha.

Existem ainda, outros modelos, com o objectivo de simular a cinética do processo da digestão anaeróbia e mostrar como estes influenciam o valor de pH, o conteúdo de N- NH_4 ou o conteúdo de ácidos gordos voláteis (Angelidaki *et al.*, (1993); Batstone *et al.*, (2000, 2001); McCarty e Mosey, (1991); Pavlostathis e Gossett, (1986)).

Amon *et al.* (2007) desenvolveu um modelo que permite estimar a produção de biogás e metano, contido no mesmo, a partir dos hidratos de carbono, gorduras e conteúdo de proteínas no efluente proveniente de explorações bovinas, e é determinado a partir do conteúdo de lenhina na alimentação dos animais.

O Modelo de Valor de Energia de Metano ajuda a otimizar a produção de biogás através dos seguintes factores: estimativa da produção de metano de substratos orgânicos de acordo com a sua composição, estimativa do potencial de instalações de tratamento agrícolas, dependendo da quantidade e características dos substratos que são digeridos e estimativa por hectare de colheitas que são consideradas como de grande potencial metanogénico (Amon *et al.*, 2007).

4 Objectivos

Os objectivos da presente dissertação são:

- A construção de um modelo que permita gerir as afluências a um digestor anaeróbio, quando existe a adição de mais do que um efluente;
- Avaliar a importância da implementação de um modelo deste tipo.

5 Plano de Trabalho

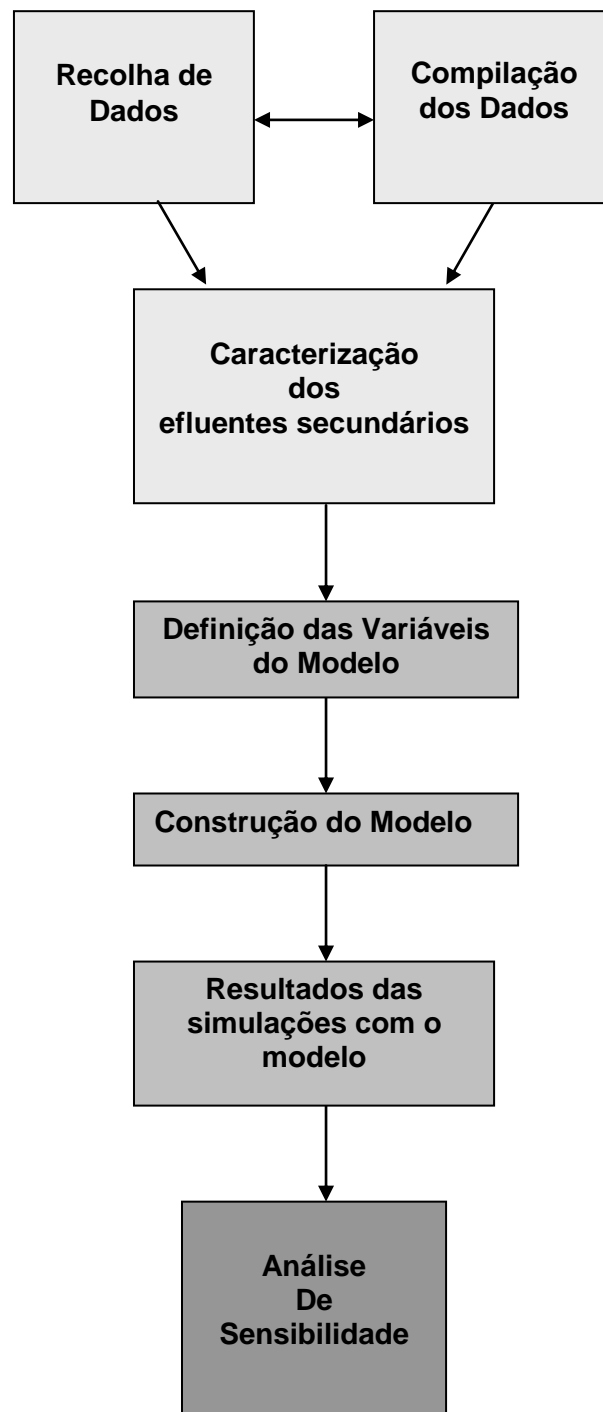


Figura 15 – Esquema da Metodologia

5.1. Metodologia

A metodologia adoptada para a execução de um modelo de gestão das afluências à digestão anaeróbia, teve como base a avaliação das entradas e saídas do sistema, bem como as características dos efluentes e dos órgãos da estação. Na Figura 16 está apresentado um esquema onde se torna mais clara a base de concepção do modelo:

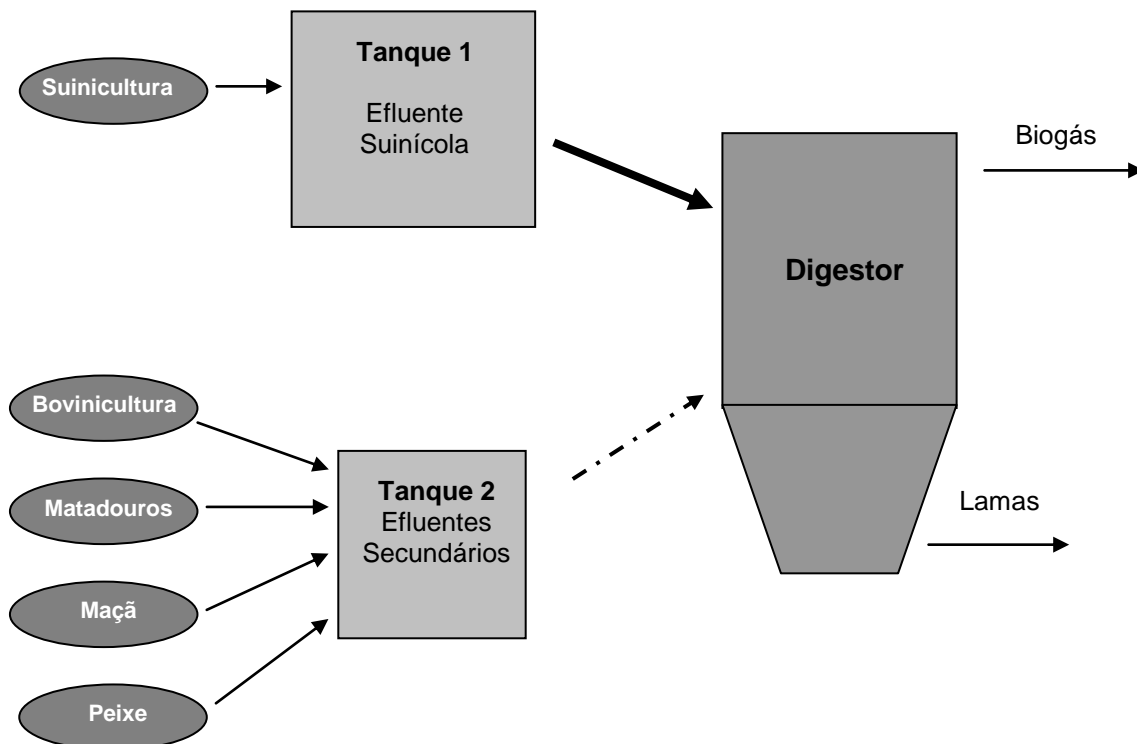


Figura 16 - Esquema dos Input's e Output's

Como se pode observar pela representação esquemática apresentada, o primeiro passo da construção deste programa foi caracterizar os efluentes de entrada no sistema. Desta forma, após a recolha dos valores característicos dos efluentes, suinicultura, bovinicultura, matadouros, maçã e peixe estes são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 - Valores característicos dos efluentes a digerir

Parâmetros	CQO _{Tot}	SST	SSV	P	N	N-NH ₄	Prod. de Biogás
Efluente	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(m ³ CH ₄ /kg SSV _{removido})
Suicultura	23,36	31,43	21,43	0,75	2,07	1,43	0,37
Bovicultura	2,50	17,9	3,58	1,2	3,5	1,4	0,25
Matadouros	21	12	10	0,068	0,525	0,15	0,24
Maçã	285	295	280	0,1	0,1	0,1	0,29
Peixe	67,2	490	481	1,5	2,74	0,48	0,21

A recepção dos efluentes é efectuada para dois tanques diferentes à cabeça do digestor, sendo que a recepção do efluente suínico é feita para o tanque 1, onde não haverá mistura com qualquer outro efluente. Por outro lado a recepção dos efluentes secundários é feita para o tanque 2, onde serão todos misturados. As dimensões destes dois tanques são bastante diferentes, uma vez que para o efluente suínico sendo, o principal, é necessária maior capacidade de armazenamento Quadro 12.

Quadro 12 - Volume dos tanques de armazenamento dos efluentes

	Volume
Tanque Suicultura (m3)	400
Tanque Efluentes Secundários (m3)	40

É a partir destes tanques que vai ser efectuada a alimentação do digestor, tornando-se assim necessário o conhecimento das suas características de dimensionamento, isto é, conhecer as cargas máximas que suporta bem como o caudal diário que pode ser adicionado, Quadro 13.

Quadro 13 -Parâmetros característicos de digestor (Dimensionamento ETES)

Parâmetros	Valor
CQO (kg/dia)	3270
SST (kg/dia)	4400
SSV (kg/dia)	3000
P (kg/dia)	105
N (kg/dia)	290
N-NH4 (kg/dia)	200
Volume (m³)	2651
Caudal (m³/dia)	140

Posteriormente foi necessário estabelecer as prioridades do sistema, sabendo que o efluente suinícola terá sempre preferência para dar entrada no digestor. No caso de o valor máximo de caudal diário a entrar no digestor, não ser atingido com efluentes suinícolas, ou quando se justifique, por alguma razão de funcionamento, poderão então ser aduzidos caudais suplementares de efluente secundário, até que se atinja o máximo de caudal ou qualquer máximo do ponto de vista de cargas.

Após a entrada no digestor, o modelo vai ter em conta as características de todos os efluentes introduzidos, de forma a determinar a caracterização da mistura real. Desta forma, fica salvaguardado que não haverá excedências dos parâmetros de funcionamento do digestor.

Destas entradas no digestor resultam dois produtos, o biogás, em termos de metano, e as lamas. Estes produtos são então o final de ciclo da digestão e é a partir deles que se desenvolve o resto do modelo. A produção de metano vai ser traduzida em energia eléctrica e a sua possível venda, isto é, traduzir-se-á em lucros. Por sua vez, a produção de lamas vai ser traduzida em necessidades de desidratação e destino final, o que significa que vai representar custos.

A partir destes dois produtos da digestão, é então possível, fazer uma análise custo/benefício do sistema, tendo em atenção que esta análise poderá possibilitar uma melhor e mais benéfica gestão dos efluentes a serem introduzidos na digestão.

Foi tendo como base todos estes princípios que foi possível começar com a construção do modelo, estruturando-o para que as suas respostas permitissem avaliar se as características dos órgãos estão sempre a ser respeitadas e otimizar o processo para que exista maior produção de metano e menor produção de lamas.

6 Modelo

A construção de um modelo que permita fazer a gestão de afluência à digestão anaeróbia, quando existe mais do que um efluente, revela-se bastante importante uma vez que é possível prever os resultados em termos da variação dos factores que influenciam o bom funcionamento do digestor.

Desta forma, construiu-se um modelo em Visual Basic, ferramenta de programação do Excel, código em anexo, com base nos máximos valores de cada parâmetro que afecte o funcionamento do digestor.

O primeiro factor tido em conta foi o facto de haver sempre primazia relativamente aos efluentes suinícolas, para os quais está dimensionado o digestor, sendo que, quando está a chegar à ETES o máximo caudal deste efluente, $140\text{m}^3/\text{dia}$, não há adição de mais nenhum efluente.

No entanto, existe a possibilidade de, em alguns dias do mês, a afluência do efluente principal, não perfazer os valores máximos admissíveis ao digestor. Nestas situações a adição dos efluentes 'extra' torna-se uma boa possibilidade, não só pela digestão mais eficiente dos efluentes suinícolas, mas também porque a produção de metano pode ser substancialmente superior.

Assim, é possível inserir os valores de caudal que se pretende que sejam inseridos no digestor, sendo logo dada a informação se existem excedências a registar relativamente a algum dos outros parâmetros preponderantes. O modelo responde de seguida qual, ou quais, as opções possíveis de introdução no digestor com base no cumprimento dos valores limites, bem como na maior produção de metano.

6.1 Concepção do Modelo

A primeira etapa da concepção do modelo foi relativa à caracterização dos efluentes secundários que são co-digeridos com o efluente suinícola. Esta caracterização foi feita com base nas características que se revelam fundamentais para a construção do modelo, tais como cargas, em termos de CQO, SST, SSV, P, N e NH_4 e de produtividade específica. A mesma caracterização foi feita para o efluente suinícola, tendo sido indispensável ter em conta as cargas máximas admissíveis no digestor bem como o caudal diário que pode ser adicionado. Ainda nesta fase foi necessário compilar todos os dados referentes aos factores que são tidos em conta no modelo, como os valores das tarifas de recepção e das que são aplicadas à venda de energia eléctrica, os rendimentos térmico e eléctrico necessários para o cálculo destas

energias a partir do metano produzido e os volumes disponíveis nos tanques de armazenamento dos efluentes, secundários e suínicolas.

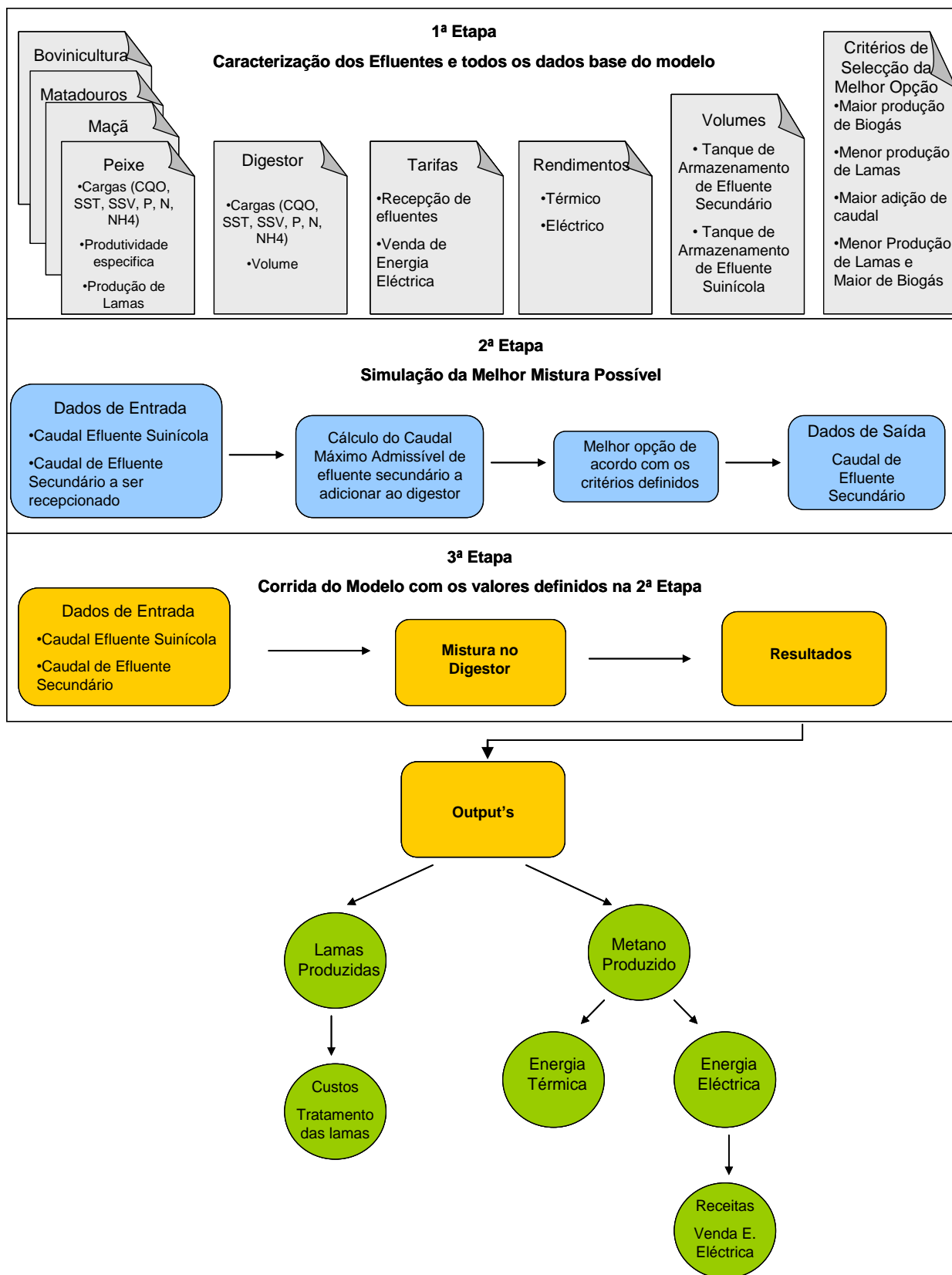


Figura 17 – Esquema da Concepção do Modelo

A segunda etapa é referente às simulações que se podem efectuar para determinar qual a melhor mistura possível que se pode fazer no digestor, de acordo com as características da mistura de efluentes secundários que se encontram no tanque de armazenamento.

Assim, arbitrando um valor de efluente suinícola, efectuam-se os cálculos para a obtenção da carga respectiva deste efluente que dará entrada no digestor. De seguida efectuam-se os seguintes cálculos de forma a ser possível a obtenção do valor de caudal de efluente secundário que pode ser aduzido ao tanque:

1º- Faz-se a multiplicação do caudal de suinicultura pela concentração de cada parâmetro de caracterização deste efluente, [CQO, SST, SSV, P, N, NH₄] x Caudal Suinicultura

2º - Faz-se a diferença entre as cargas características do digestor, cargas máximas, e as cargas do efluente suinícola, de forma a saber qual a 'folga' de carga para adição do efluente secundário, Carga Máxima Digestor – Carga Efluente Suinícola;

3º- São efectuados os cálculos de qual a carga total, referente a cada parâmetro, que está no tanque de armazenamento de efluentes secundários, [CQO, SST, SSV, P, N, NH₄] x Caudal Efluente Bovinicultura, Matadouros, Maçã e Peixe;

4º- Efectuam-se os cálculos para a obtenção de qual a concentração correspondente a essa mesma carga, Carga Total Tanque (CQO, SST, SSV, P, N, NH₄) / Caudal Total no Tanque;

5º- A partir da folga obtida no 1º ponto, faz-se o cálculo, para obter o caudal de efluente secundário que pode ser adicionado para que seja preenchida a capacidade total do digestor, Folga de Carga / []_{Tanque}.

6º- São obtidos seis valores diferentes de caudal, correspondentes a cada um dos parâmetros característicos, sendo escolhido o menor deles.

7º- Após a obtenção do valor máximo admissível, avalia-se de acordo com as várias simulações efectuadas, qual a melhor opção de acordo com quatro possíveis pressupostos:

1. Máximo caudal de efluentes;
2. Maior Produção de Metano;
3. Menor Produção de Lamas;
4. Maior Produção de Metano e menor produção de lamas.

8º- De acordo com o pressuposto considerado como preponderante é definido qual o caudal máximo admissível que vai ser adicionado ao digestor.

Após a escolha de qual o pressuposto considerado como principal, começa a terceira etapa, em que o modelo corre já com os valores definidos na etapa anterior. Assim, são definidos, o caudal de suinicultura e o caudal de efluente secundário, o máximo admissível já obtido. Seguidamente, calculam-se as cargas destes efluentes presentes no digestor, e efectuam-se os cálculos para a obtenção da produção de lamas e metano:

$$\text{Produção de Metano} = SSV_{\text{removido}} \times \text{produtividade específica}$$

$$\text{Produção de Lamas} = SST \times \text{produção de lamas}$$

De acordo com os efluentes secundários que foram adicionados ao tanque são obtidas produções de metano e lamas diferentes, de acordo com a produtividade específica de cada um deles. Assim, a produção de metano bem como a de lamas referentes aos efluentes secundários resultam da soma ponderada dos valores de cada um dos efluentes. O valor da produção de metano final obtido é o resultado da soma da produção de metano referente ao efluente suinícola e do resultado obtido da produção de metano dos efluentes secundários. Após a obtenção destes valores, são efectuados cálculos para obter a produção de energia eléctrica e térmica associadas à produção de metano.

$$\text{Energia Eléctrica} = \text{Produção de Metano} \times \eta_{\text{eléctrico}} \times \text{energia específica do biogás}$$

$$\text{Energia Térmica} = \text{Produção de Metano} \times \eta_{\text{térmico}} \times \text{energia específica do biogás}$$

A partir da obtenção do valor produzido de energia eléctrica, calculam-se as receitas geradas a partir da sua produção,

$$\text{€} = \text{Energia Eléctrica} \times \text{€}_{\text{venda}}$$

Existe ainda mais um output do modelo relativo aos custos associados à produção de lamas, que são gerados a partir de dois processos:

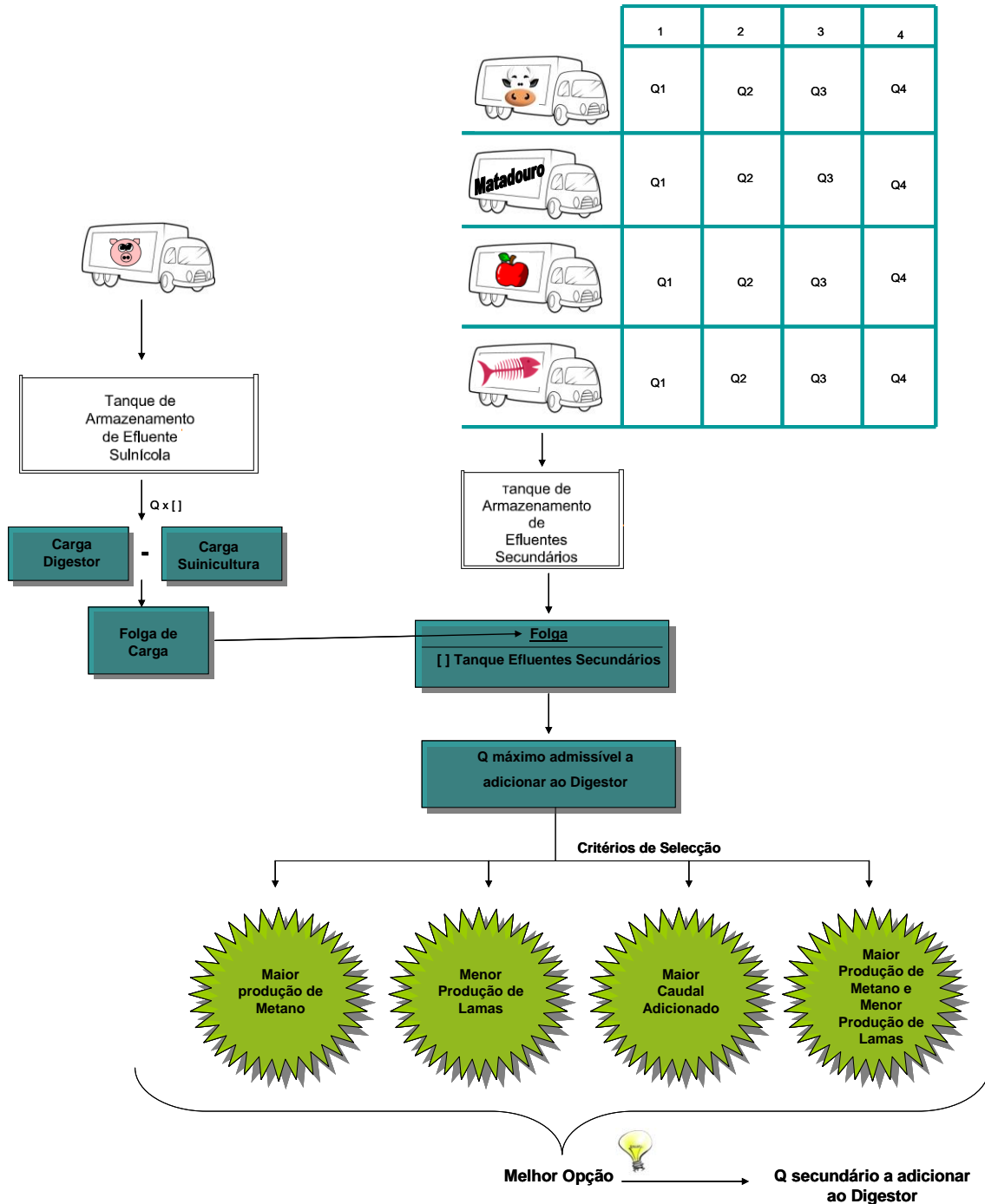
$$\text{Custo de Desidratação} = \text{lamas digeridas} \times \text{€}_{\text{polieletrólito}}$$

$$\text{Custo de Deposição em Aterro} = \text{lamas desidratadas} \times \text{€}_{\text{deposição}}$$

6.2 Funcionamento do Modelo

O funcionamento do modelo, está esquematizado na Figura 18.

1ª Fase – Simulação da mistura óptima para introduzir no digestor



2ª Fase – Corrida do Modelo com os valores definidos na primeira fase

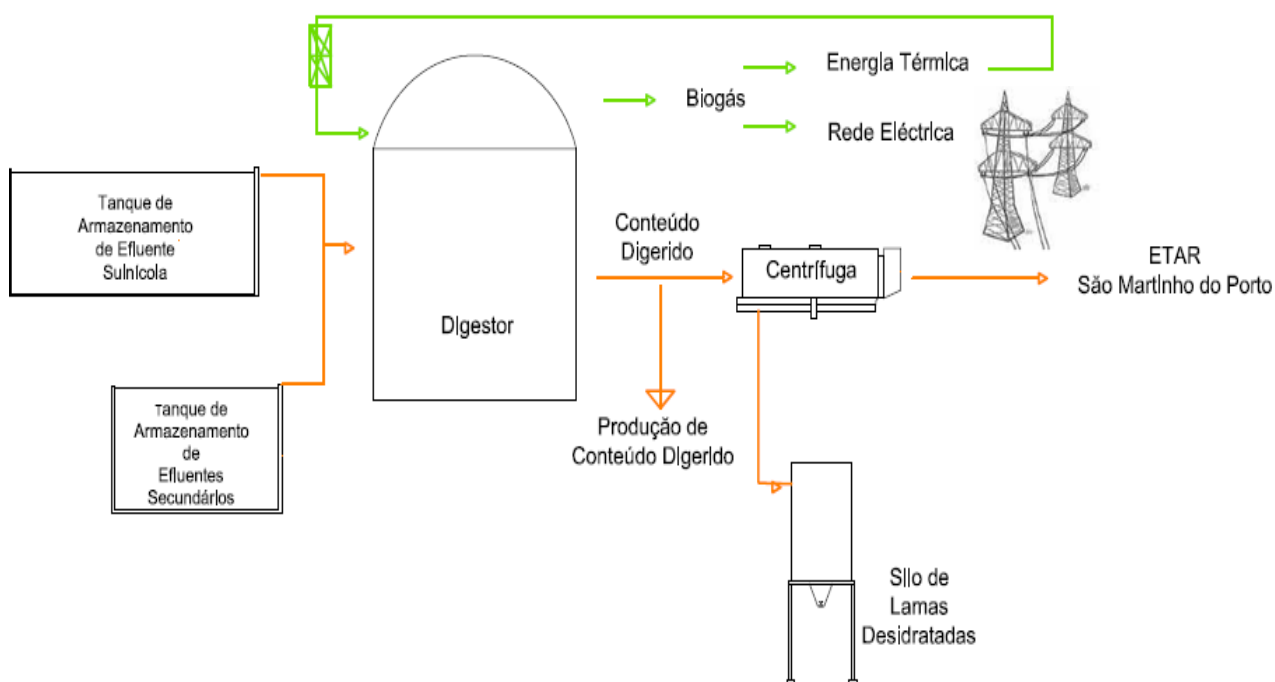


Figura 18 - Esquema do funcionamento do Modelo

Antes que o modelo comece a ser explorado, é necessário ter conhecimento de alguns factores preponderantes para o seu correcto funcionamento. Desta forma, é bastante importante avaliar a disponibilidade existente, no produtor de cada um dos efluentes que se pretende digerir.

❖ Disponibilidades

Dado que a recepção de efluentes secundários está estritamente relacionada com a disponibilidade no 'produtor', tornou-se necessária a criação de uma folha em que fosse possível registar qual a disponibilidade de cada um dos efluentes a cada dia do mês. Desta forma, e avaliando a sua produtividade e tarifa de recepção através de um gráfico, é possível fazer uma melhor gestão do que vai ser recepcionado e posteriormente adicionado ao digestor. Isto é, torna-se possível avaliar qual o efluente que tem maior produtividade e desta forma de acordo com a disponibilidade existente conseguir obter maiores produções de metano aquando da mistura com o efluente suínico no digestor.

Analisar as disponibilidades é uma fase bastante importante da gestão da ETES uma vez que pode desta forma existir uma maior e melhor articulação entre o produtor, que

pretende enviar o seu resíduo para tratamento e a optimização do processo de digestão.

No entanto, existem mais factores que são importantes conhecer antes de correr o modelo, tais como as disponibilidades de volume existente nos tanques de armazenamento de efluentes, bem como as cargas existente no tanque de efluente secundário, para que, quando a mistura for feita no digestor se conheçam as características reais existentes no tanque.

❖ Cargas do Tanque de Efluente Secundário

Uma vez que a alimentação do digestor de efluente secundário é feita a partir do tanque de armazenamento dos efluentes secundários, é bastante importante que exista um registo de quais as cargas existentes neste tanque. Desta forma, diariamente é actualizada a folha Cargas Tanque, de forma a garantir que a adição do dia 2, vai ter em conta as cargas que estão no dia 1, no tanque, tendo em conta as saídas para o digestor e as novas entradas que se verificam diariamente. Assim, é sempre garantido que as contas efectuadas a jusante, metano, estão a ter em conta as cargas reais existentes.

Estes valores de cargas do tanque são portanto gerados após o primeiro dia de utilização do modelo, uma vez que estas cargas passam a existir a partir do momento em que existe recepção de efluentes secundários, no entanto são estes valores que no dia+1 de simulação vão dar entrada no modelo, isto é, se por um lado a cada dia que há adição os valores são actualizados, são estes valores de carga que entram também no modelo para que a entrada de efluente secundário no digestor esteja também sempre actualizada.

❖ Tanque de armazenamento de efluente suinícola

A avaliação da disponibilidade do efluente suinícola é fundamental uma vez que é este o principal efluente a ser tratado na ETES. Assim sendo, para além do registo do caudal que entra a cada dia no tanque é também registado o caudal que sai para o digestor ficando diariamente registado o volume disponível deste efluente para que nunca sejam excedidas as capacidades do tanque. Por outro lado é também garantido

que não seja possível ocorrer o erro de haver maior adição de efluente ao digestor do que aquele que está no tanque de armazenamento.

Assim, é possível verificar quanto pode ser recepcionado para o tanque de armazenamento, tendo em conta o que foi adicionado ao digestor, permitindo também uma melhor comunicação com os produtores bem como uma mais eficiente gestão de recursos.

Mais uma vez, estes valores obtidos representam por um lado o fim do ciclo, são obtidos a partir da indicação do utilizador do que vai ser recepcionado e introduzido nos órgãos, no entanto são também estes valores que dão entrada no início de um novo ciclo para que, como já foi referido, não ser possível a ocorrência de qualquer excedência ou inconsistência aquando da utilização do modelo.

O volume que vai permanecendo disponível no tanque de armazenamento de efluente suinícola, é também representado na forma gráfica.

➤ Tanque de armazenamento de efluente secundário

Para fazer a gestão dos efluentes que dão entrada no tanque de armazenamento de efluentes secundários, tornou-se necessário criar uma folha que funciona como registo e como disponibilidade destes efluentes. Desta forma, é registado diariamente a entrada de caudal de cada um dos efluentes secundários, bem como feita a contabilização de qual o caudal disponível para ser adicionado ao digestor e conseqüentemente qual o volume ainda disponível para adição no dia seguinte, isto é: $\text{Volume do Tanque} - (\text{Caudal adicionado ao tanque} - \text{Caudal que foi introduzido no digestor})$.

Desta forma, está sempre actualizado o volume, que está disponível no tanque de armazenamento de efluentes secundários, para recepção destes efluentes no dia seguinte.

Tal como no caso do Tanque Suinicultura e Cargas Tanque, este é mais um parâmetro que funciona como fim de um ciclo e início de outro. Todos estes factores estão dependentes do que vai acontecer em cada 'corrida' do modelo, no entanto os valores resultantes de cada um dessas corridas vai dar entrada na corrida seguinte. Assim garante-se a constante actualização dos factores chave do modelo, bem como se mostra a dinâmica do programa.

Para além de todos estes passos que são necessários e fundamentais percorrer durante a utilização do programa, existem ainda duas etapas que antecedem todo este

processo e que são essenciais, que são a análise das Disponibilidades e o registo das Entregas de efluentes que são feitas na ETES.

Após estas etapas, é então possível fazer os testes e as corridas que se pretender no modelo, garantindo que as disponibilidades e volumes são respeitados.

❖ Primeira Fase

Na primeira fase do modelo, é permitido efectuar as simulações que o utilizador considerar necessárias, num máximo de 10, da mistura que pretende adicionar no digestor, de forma a optimizá-la.

Assim, quando o utilizador escolhe a opção de fazer alguma(s) simulação é-lhe pedido que preencha alguns parâmetros necessários para que o modelo corra:

1. Qual o caudal de suinicultura que quer introduzir no digestor;
2. O número de simulações que pretende fazer.
3. Que preencha os valores dos caudais, correspondendo ao número de simulações que pretende efectuar

O valor de caudal de suinicultura que o utilizador definiu, entra directamente no modelo, uma vez que é prioritário relativamente à mistura dos efluentes secundários.

No caso dos efluentes secundários, o procedimento é um pouco diferente, uma vez que, de acordo com as suas características, em termos de carga, a adição ao digestor vai ser de apenas uma percentagem relativamente ao total de caudal que está no tanque de armazenamento de efluentes secundários.

Assim, o modelo fixa os valores de carga do efluente suinícola, e devolve o máximo caudal que pode ser adicionado ao digestor de efluentes secundários de acordo com a folga de carga que existir.

Uma vez que, os parâmetros são diferentes em termos de efluentes e existem efluentes mais carregados que outros, não se obtém apenas um único valor de caudal, obtém-se um valor de caudal correspondente a cada parâmetro, escolhendo-se assim o menor destes, para que seja garantido que não há excedência de nenhum parâmetro. Desta forma, é sempre garantido que as cargas máximas, bem como o caudal, do digestor nunca são excedidas, dado que, o valor de caudal devolvido pelo modelo está a ter em conta apenas a folga existente no digestor.

Após esta fase, os valores de caudal introduzidos em cada simulação, isto é, o caudal de efluente suinícola a ser introduzido no digestor e de efluente secundário a ser

introduzido no tanque, são copiados para a folha 'Modelo' de forma a ser contabilizado a produção de metano e lamas, bem como concluir qual das misturas simuladas representa a melhor opção.

No primeiro caso pretende-se obter a mistura que permite a máxima adição de caudal ao digestor, uma vez que, assim se garante que o digestor para além de funcionar perto do limite em termos de carga também o faz em termo de caudal. Por outro lado, para garantir que existe alguma vazão do tanque de armazenamento o que permitirá uma maior recepção, se for caso disso, no dia seguinte. Em segundo lugar, a maior produção de metano. Uma mais elevada produção de metano traduzir-se-á em maior rendimento eléctrico e consequentemente em lucros associados a esta energia bastante superiores. Em terceiro lugar, considerou-se que também seria de extrema importância, perceber qual a mistura a partir da qual resultaria menor produção de lamas, dado que, desta produção resultam custos na desidratação, polielectrólito, e posteriormente na sua deposição em aterro. Por último, sempre que existe um efluente que para além de apresentar a mais elevada produção de metano simultaneamente apresentar a menor produção de lamas, este será dado como melhor opção, uma vez que é esta situação que é dada como ideal, uma vez que os custos são diminuídos ao passo que os lucros aumentam.

❖ Segunda Fase

Após serem determinados os caudais que vão ser de facto adicionados ao tanque, em primeiro lugar o utilizador tem de registar as entregas destes mesmos efluentes, para que o modelo possa utilizá-los na corrida.

❖ Entregas

De acordo com a recepção de cada um destes efluentes, contando também com o efluente suinícola, é obtido automaticamente o resultado da entrega em termos de tarifa de recepção, produtividade e consequente lucro proveniente desta.

Para além do facto de ficar registado diariamente as entregas dos diversos efluentes e os respectivos lucros associados este passo de gestão assume extrema importância. Isto deve-se ao facto de através desta análise de receita pela tarifa e receita pela venda da energia gerada por cada um dos efluentes permite um ajustamento mais justo e fidedigno das tarifas cobradas de acordo com o efluente. Isto é, se um efluente

apresenta níveis de produtividade bastante superiores a outros será mais lógico a sua tarifa ser mais baixa ou a dos outros efluentes ser mais alta. Desta forma é possível fazer uma melhor avaliação do que é de facto gerado no processo.

Por outro lado é também bastante importante ter em conta que, para além do facto de haver lucros em termos de tarifa de recepção e de venda de energia pela produtividade dos efluentes existem também custos associados, com o tratamento de lamas. Desta forma a fixação da tarifa terá também em conta os efluentes que, para além de produzirem mais metano, produzam menos lamas, sendo que estes serão beneficiados de acordo com o mesmo raciocínio já referido. Assim, é relativamente fácil, pela análise do gráfico, ter a percepção de qual ou quais efluentes são mais rentáveis e deverão pagar menor valor de tarifa, sendo que é necessário fazer o balanço entre, maior produtividade e menor produção de lamas.

Após esta etapa, o programa avalia as características existentes no tanque, fazer a adição de efluente secundário que o utilizador definir no digestor e dar os resultados em termos de produção de metano e lamas. Desta forma, torna-se necessário que o utilizador preencha alguns campos correspondentes a:

1. O caudal que, de facto, foi adicionado ao tanque de armazenamento de efluente secundário;
2. O caudal de suinicultura e secundário que, de facto, vai ser adicionado ao digestor.

Estes parâmetros dizem respeito já à fase de adição ao digestor, isto é, o utilizador pode optar por primeiro fazer as simulações que pretender e seguidamente passar para a execução do modelo já com a mistura definitiva, ou, por outro lado, se não tiver o efluente secundário disponível, ou se pretender efectuar uma mistura por ele pré-definida, pode saltar a fase de simulações e proceder desde logo à fase de execução do modelo.

Após o preenchimento dos campos necessários, o procedimento que é seguido é idêntico ao que se verifica nas simulações. O programa corre de acordo com as características que o utilizador definiu, sendo a resposta do programa dada já em termos da mistura que está no digestor.

Se ocorrer a excedência de algum parâmetro, o modelo pára de imediato e dá a indicação ao utilizador do que aconteceu. No entanto, a probabilidade deste facto acontecer é mínima devido ao facto de na fase de simulações o utilizador ter obtido os valores máximos que pode introduzir de acordo com a mistura que está no tanque, no

entanto pode ocorrer algum erro de introdução de dados ou alguma variação de outra ordem.

Assim sendo, se não houver nenhum parâmetro excedido, de acordo com as características de dimensionamento do digestor e os respectivos caudais, os valores obtidos em termos de cargas, caudais e produção de lamas e metano, são copiados para a folha Resultados. Nesta folha, vão ficar registados diariamente os parâmetros já referidos, tornando-se assim possível a análise gráfica mensal das produções de metano e lamas, de forma a avaliar-se a sua progressão e quais os valores médios das produções.

Posteriormente, e uma vez já tendo os registos da produção de metano é possível obter os valores de rendimento térmico e eléctrico, bem como a receita gerada pela venda da energia eléctrica Quadro 15, partindo dos valores base apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Rendimento térmico e eléctrico, valor de venda de energia eléctrica

	Eléctrico	Térmico	Fonte
η (%)	0,34	0,40	Trevoeste
€/kwh	0,10	-	EDP, 2008

Quadro 15 - Rendimento térmico e eléctrico, € energia eléctrica por 1 m³ de efluente adicionado ao digestor

Efluente	η Eléctrico (kwh/dia)	η Térmico (kwh/dia)	€ ele
Suicultura	30,59	35,99	3,06
Bovicultura	1,49	1,76	0,15
Matadouros	5,27	6,20	0,53
Maçã	185,99	218,81	18,60
Peixe	154,96	182,31	15,50

Estes cálculos têm de ser efectuados por efluente, uma vez que cada um deles apresenta produtividades diferentes, desta forma o valor mensal que se obtém de produção de metano resulta do somatório de todos os efluentes, e é deste valor que se vai obter o lucro mensal gerado em produção de energia eléctrica.

Tal como o metano, as lamas são o outro produto da digestão. Desta forma, os cálculos referentes à produção de lamas, revelam-se de extrema importância, uma vez que ao contrário do que acontece com a produção de metano que se traduz em lucro, as lamas produzidas vão traduzir-se em custos de tratamento e destino final.

Um outro factor que é bastante importante ter em conta é o facto de cada um dos efluentes introduzidos apresentam produções de lama diferentes, assim no Quadro 16 são apresentadas as produções de lama de cada um dos efluentes por metro cúbico introduzido no digestor:

Quadro 16- Produção de lamas por efluente por metro cúbico de efluente adicionado ao digestor

Efluentes	Produção de Lamas kgSST/m³
Suicultura	0,32
Bovicultura	0,04
Matadouros	0,15
Maçã	4,38
Peixe	4,81

Desta forma, de acordo com o caudal adicionado de cada efluente no tanque e posteriormente no digestor é possível, através de um somatório, obter a produção de lamas por cada dia de funcionamento do digestor, sendo também possível obter os custos associados ao tratamento destas, sendo que os custos são apresentados em termos de gasto por tonelada de lama produzida, o que não se verifica diariamente. Desta forma a contabilização dos custos de tratamento das lamas, que são dados em termos de polielectrólito adicionado para a sua desidratação (3,7€ (8kgpoli/tonelada)) e em termos de deposição em aterro (10€/tonelada), serão dados mensalmente.

❖ Análise Custo/Benefício

Após os cálculos das receitas associadas à produção de metano e aos custos associados ao tratamento das lamas, é possível efectuar uma análise custo benefício. Esta análise é mensal e é traduzida graficamente de forma a ser mais perceptível a relação entre os dois factores. Esta análise é feita com base nas características dos efluentes, isto é, cada tipo de efluente tem inerente a si uma determinada produtividade, bem como uma produção de lamas específica. Desta forma, uma outra análise que pode ser efectuada é em relação à escolha do 'melhor' efluente, isto é, fazendo uma análise às características dos efluentes e jogando com a adição faseada e doseada de cada um deles, pode-se chegar à conclusão que existe um determinado efluente que se revela 'melhor' tendo uma maior produção de metano associada e ao mesmo tempo uma baixa produção de lamas. Em termos económicos um efluente com estas características é mais rentável uma vez que vai apresentar maior valor de

lucros que de custos. No Quadro 17, estão apresentadas as características de cada efluente, relativamente à produtividade e à produção de lamas, por metro cúbico adicionado ao digestor.

Quadro 17- Produtividade e Produção de lama por metro cúbico de efluente adicionado no digestor

Efluente	Produtividade (m^3CH_4/m^3)	Produção Lama ($kgSST/m^3$)
Suicultura	13,93	0,32
Bovicultura	0,68	0,04
Matadouros	2,40	0,15
Maçã	84,68	4,38
Peixe	70,55	4,81

6.3 Vantagens e Limitações do Modelo

Este modelo apresenta algumas limitações sendo que a principal prende-se com o facto dos valores tidos como base de entrada no modelo serem meramente teóricos. Isto pode levar a que quando o modelo for aplicado na ETES de SMP os valores do modelo poderão não estar em consonância com os da ETES. Desta forma é de extrema importância, fazer a caracterização dos efluentes a digerir antes da sua entrada no digestor, introduzindo-os de novo no modelo, actualizando-o sempre que preciso.

O modelo proposto é um modelo dinâmico e esta é uma das vantagens que este modelo apresenta, uma vez que, estão previstas alterações a vários dados de entrada que poderão sofrer alterações ao longo do tempo, como por exemplo:

- Cargas Características do Digestor
- Caudais a introduzir nos tanques e no digestor
- Tarifas de recepção de efluentes
- Tarifas de energia eléctrica
- Custos de tratamento de lamas

No entanto, este modelo permite o ajustamento das tarifas de recepção dos diferentes efluentes, de acordo com os seus níveis de produtividade, permite ajustar os valores de taxas de produção de metano e permite acima de tudo, manter a gestão, não só a nível ambiental, dos efluentes, mas também a nível económico.

Quando o modelo for implementado, aparecerão mais limitações em termos de articulação entre etapas, ou situações que não foram previstas aquando da sua construção.

É ainda importante referir que, este modelo funciona principalmente como ferramenta de gestão, sendo que a possibilidade de aliar ou incorporar um modelo de processo da digestão anaeróbia, será uma mais valia, uma vez que é permitido avaliar de forma mais correcta o que acontece no decorrer do processo, como por exemplo, as reacções de inibição e a degradação que os substratos sofrem.

7 Resultados e Discussão

Para que fosse possível executar o modelo, foi necessário proceder à atribuição de valores ao longo das várias etapas. Os valores atribuídos estão dentro de alguns intervalos tidos como aceitáveis, no entanto existem alguns que possivelmente poderão ser melhorados quando o modelo for implementado.

Ao longo das várias etapas estão explicitadas as razões, algumas vezes apoiadas pelo próprio modelo, que levaram à atribuição dos diversos valores.

Em primeiro lugar é importante salientar que, para que o modelo “corra” sem qualquer problema, existe uma ordem de execução, isto é, não se podem saltar algumas etapas sem as quais o modelo não funciona.

Assim, quando se acede ao modelo, a primeira coisa que é pedida ao utilizador é que escolha o que pretende fazer com a apresentação de um menu inicial, Figura 19.

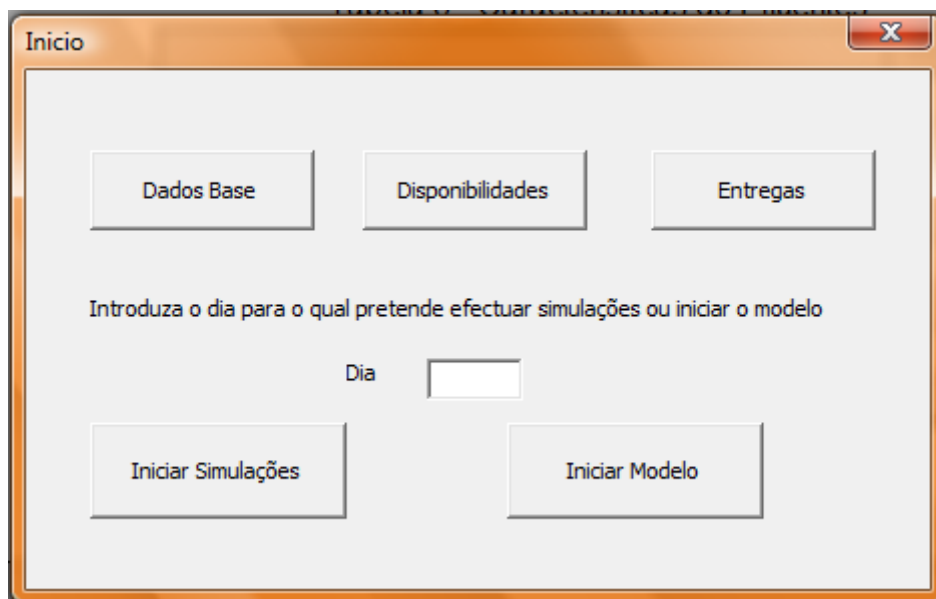


Figura 19 – Menu inicial do modelo

Como se pode verificar, existe a possibilidade de aceder a várias opções dependendo do que o utilizador pretender fazer.

No entanto, algumas destas opções representam apenas folhas de registo, enquanto que noutras é pedido ao utilizador que preencha alguns campos.

➤ Dados de Base

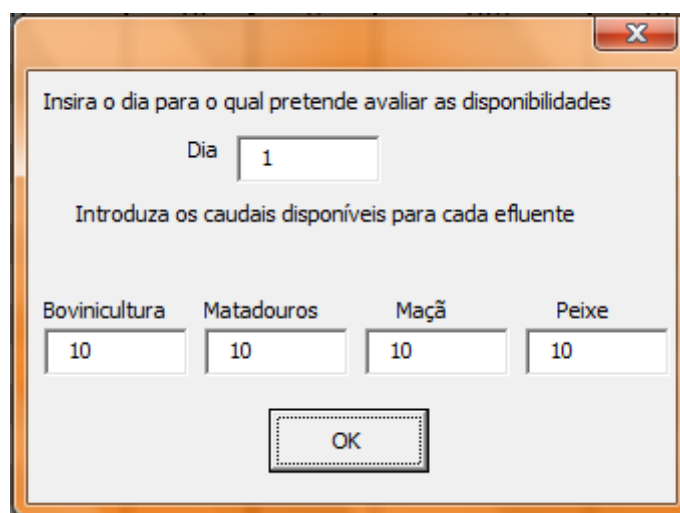
Se o utilizador seleccionar a folha dados de base, existe a possibilidade de alterar alguns factores determinantes para o correcto funcionamento do modelo, tal como já foi descrito no capítulo 6.

Com a alteração destes valores, o utilizador pode actualizar o modelo, sempre que quiser ou houver alguma alteração.

➤ Disponibilidades

Como já foi descrito no capítulo 6, esta folha permite que haja o registo de quais os efluentes secundários que estão disponíveis, e quais as suas principais características e como se revelarão estes efluentes em termos de produção de metano e em qual a produção eléctrica que pode resultar da sua adição ao digestor.

Assim, o utilizador preenche os espaços pedidos, caudais disponíveis e o dia para o qual pretende avaliar as disponibilidades, Figura 20.



Insira o dia para o qual pretende avaliar as disponibilidades

Dia

Introduza os caudais disponíveis para cada efluente

Bovinicultura	Matadouros	Maçã	Peixe
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>

Figura 20 – Menu das disponibilidades

Neste caso os valores adicionados foram de, 10 m³, para cada um dos efluentes para o dia 1. Com estes valores o programa, vai calcular os valores de produtividade associada a cada um destes efluentes, de acordo com este caudal, bem como vai calcular o valor da tarifa de recepção para cada um destes caudais, sendo que serão todos iguais, uma vez que a tarifa de recepção está fixada em 8€ para qualquer um destes efluentes.

Como se pode verificar, para um mesmo volume disponível de cada um dos efluentes, reflecte-se no mesmo valor obtido em termos de tarifa de recepção. No entanto, os valores de produtividade são bastante diferentes. A partir deste gráfico consegue-se ter a percepção dos efluentes que se traduzem em maior receita do que outros, como por exemplo a maçã e o peixe.

➤ Primeira Fase

Após o utilizador verificar quais as disponibilidades de efluentes que tem num determinado dia, pode então avaliar qual delas se revela a mais rentável, isto é qual das misturas que se fará no tanque de armazenamento de efluentes secundários se traduzirá numa melhor opção, em termos de maior caudal adicionado, maior produção de metano, menor produção de lamas ou maior produção de metano e menor produção de lamas, simultaneamente, quando for adicionada no digestor juntamente com o efluente suinícola.

O que é pedido primeiramente ao utilizador é que defina qual o dia e qual o número de simulações que pretende efectuar, Figura 23.

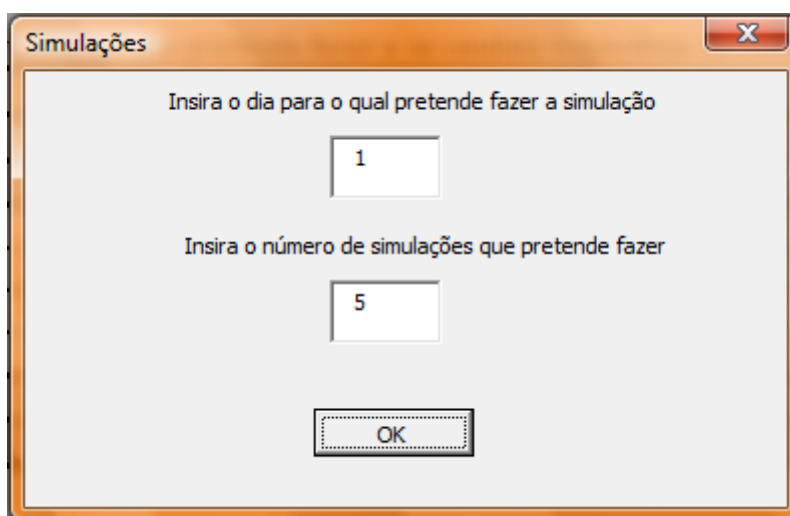


Figura 23 – Janela inicial da fase de simulações

A concepção deste modelo teve como pressuposto para esta fase, que no dia 1, houvesse recepção de efluentes secundários, uma vez que o que se pretende é a avaliação de como será a resposta em termos de produção de metano e de lamas que resulta da co-digestão destes efluentes com os suinícolas. De acordo com este facto são apresentados alguns avisos ao utilizador, para que quando fizer as simulações tenha em atenção alguns factores que são preponderantes, Figura 24 e Figura 25.

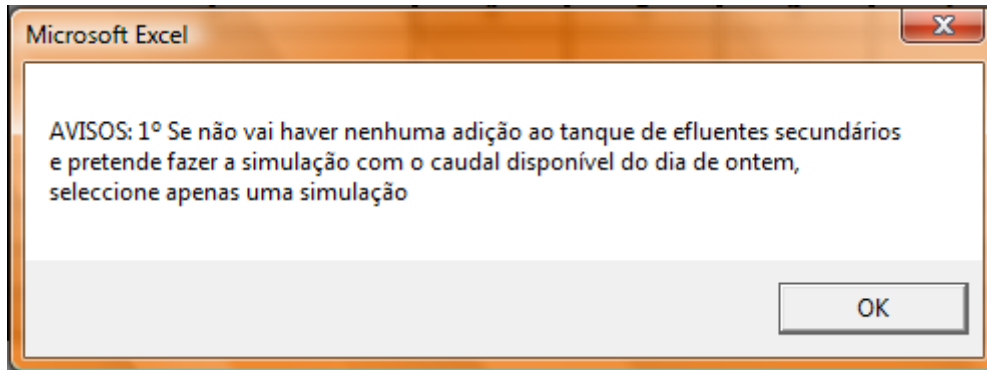


Figura 24 – Primeiro aviso ao utilizador

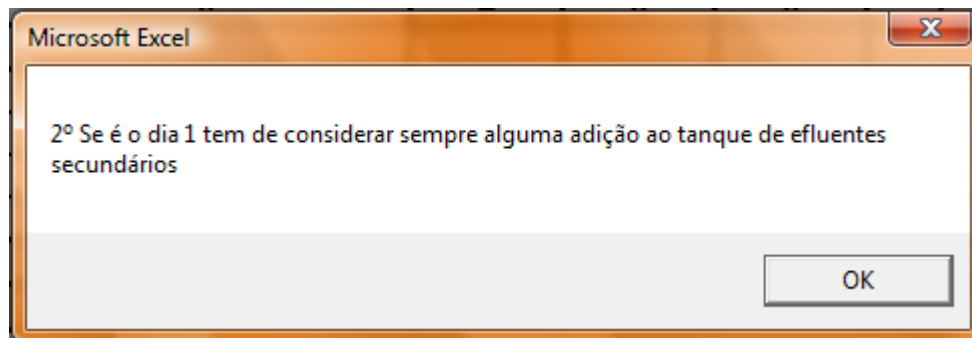


Figura 25 – Segundo aviso ao utilizador

Após de aparecerem estes dois avisos aparece ainda um terceiro com a indicação de que o utilizador tem que preencher os caudais que pretende simular até à coluna com o número correspondente ao das simulações que pretende, Figura 26.

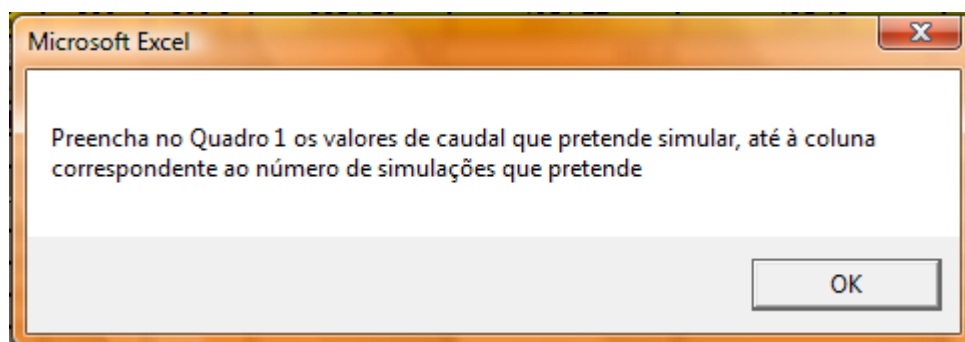


Figura 26 – Informação dada ao utilizador relativa ao passo seguinte

Depois destes dois passos, o que o utilizador obtém depois de inserir todos os valores pedidos, carregando no botão que se apresenta por baixo da tabela, Efectuar Simulações, Figura 27, o modelo corre sendo posteriormente devolvido o caudal máximo possível a inserir no digestor, Figura 28.

Dia	1
	5

Quadro 1 - Insira os valores referentes ao número de simulações que pretende fazer e os caudais respectivos de cada uma delas

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caudais	Efluente										
	Suicultura (m3/dia)	130	130	130	130	130					
	Bovicultura (m3/dia)	19	10	8	5	6					
	Matadouros (m3/dia)	19	10	8	4	6					
	Maçã (m3/dia)	1	10	8	3	6					
	Peixe (m3/dia)	1	10	16	8	6					
	Total E.S. (m3)	40	40	40	20	24					
Máximo Tanque (m3)	40	40	40	40	40						

Efectuar Simulações

Figura 27 – Inserção de valores na etapa de simulações

Como se pode observar na Figura 27, o dia que se pretende fazer a simulação é o dia 1, sendo que se pretende efectuar 5 simulações diferentes.

Assim, foi necessário preencher os campos correspondentes aos caudais dos respectivos efluentes.

O caudal de suicultura simulado foi em todos os casos de 130m³. Esta opção tomou-se por várias razões, a primeira porque possivelmente não haverá mais do que 10m³ de folga em termos de caudal para adicionar ao digestor, por outro lado, porque mantendo o caudal de suicultura sempre fixo é mais eficaz a avaliação de qual a melhor mistura em termos do tanque de armazenamento de secundários. Isto é, nesta primeira fase, o caudal de suicultura adicionado é aquele que de facto vai estar no digestor, no entanto como o que se pretende é uma resposta em termos de qual caudal de efluentes secundários pode ser adicionado ao digestor, os caudais introduzidos de bovinicultura, matadouros, maçã e peixe, são correspondentes ao caudal que estará no tanque de armazenamento.

Após a introdução destes valores, para cada uma das simulações é efectuada a mistura que poderá ir para o digestor, através do seguinte processo, Figura 28.

Parâmetro	Efluente	CQO	SST	SSV	P	N	N-NH4
Suicultura (kg/dia)		3036,8	4085,9	2785,9	97,5	269,1	185,9
Bovicultura (kg/dia)		15	107,4	21,48	7,2	21	8,4
Matadouros (kg/dia)		126	72	60	0,408	3,15	0,9
Maçã (kg/dia)		1710	1770	1680	0,6	0,6	0,6
Peixe (kg/dia)		403,2	2940	2886	9	16,44	2,88
Total Carga no Tanque (kg/dia)		2254	4889,40	4647,48	17,21	41,19	12,78
Concentração no Tanque (g/l)		93,925	203,725	193,645	0,717	310,29	198,68
Total Mistura (kg/dia)		5291,00	8975,30	7433,38	114,71	310,29	198,68
Total Digestor (kg/dia)		3270,4	4400,2	3000,2	105	290	200,2
Folga de carga no Digestor (kg/dia)		233,6	314,3	214,3	7,5	20,9	14,3
Caudal máximo possível (m3/dia)		2,4871	1,5428	1,1067	10,4603	12,1777	26,8545

Figura 28 – Primeira fase de simulações

A tabela apresentada na Figura 28, representa os valores obtidos para a última simulação, a número 5, sendo que neste caso o menor caudal admissível seria o 1,1m³ de forma a garantir que nenhum parâmetro seria excedido.

A etapa de simulações não termina com a obtenção do valor do caudal de efluente secundário que pode ser introduzido no digestor. Posteriormente a esta primeira fase, os valores inseridos pelo utilizador, Figura 27, são copiados para a folha com o nome 'Modelo' de forma a conseguir obter qual das simulações se traduz a melhor opção, de acordo com 4 factores diferentes já referidos.

Assim, como se pode verificar na Figura 29, a simulação 1 revela-se a que apresenta melhores resultados, uma vez que é a melhor opção em termos de adição de maior caudal e maior produção de metano.

Relativamente a menor produção de lamas o que se revela a melhor opção é a simulação 3.

Simulação n°	Q (m3/dia)	CQO (kg/dia)	SST (kg/dia)	SSV (kg/dia)	P (kg/dia)	N (kg/dia)	N-NH4 (kg/dia)	Biogás Produzido (m3CH4/dia)	Lamas Digeridas (kgSST/dia)	Melhor Opção (Maior Caudal)	Melhor Opção (Maior Biogás)	Melhor Opção (Menor Lamas)	Melhor Opção (Maior Biogás e Menor Lamas)
1	138,40	3204,610	4370,191	3000,000	102,898	285,764	192,209	150,429	3865,555	MELHOR OPÇÃO	MELHOR OPÇÃO		
2	131,64	3085,64	4310,99	3000,00	98,64	271,88	186,74	149,68	3768,21				
3	131,06	3077,80	4307,67	3000,00	98,41	271,12	186,43	149,62	3762,77			MELHOR OPÇÃO	
4	131,02	3083,81	4308,52	3000,00	98,44	271,23	186,49	149,70	3763,71				
5	131,58	3091,47	4311,00	3000,00	98,60	271,78	186,71	149,76	3768,14				

Figura 29 – Resposta aos dados introduzidos pelo utilizador

Desta forma, é possível o utilizador escolher de acordo com as necessidades imediatas da gestão da ETES, qual a opção que vai tomar. Por exemplo, se houver necessidade de escoar mais caudal, decerto o utilizador escolhe adicionar mais caudal em detrimento doutro factor qualquer. Se houver necessidade de aumentar a produção de metano, a escolha irá para a opção que se apresentar maior valor de produção. O mesmo se passa em termos de produção de lamas, se o objectivo principal for a sua minimização se não se revelar num decréscimo bastante acentuado em termos de metano possivelmente será mais rentável a escolha da opção que apresente a menor produção de lamas.

Para que seja mais perceptível os resultados obtidos, nas simulações, são executados dois gráficos. O primeiro é relativo à produção de metano e de lamas, Figura 30.

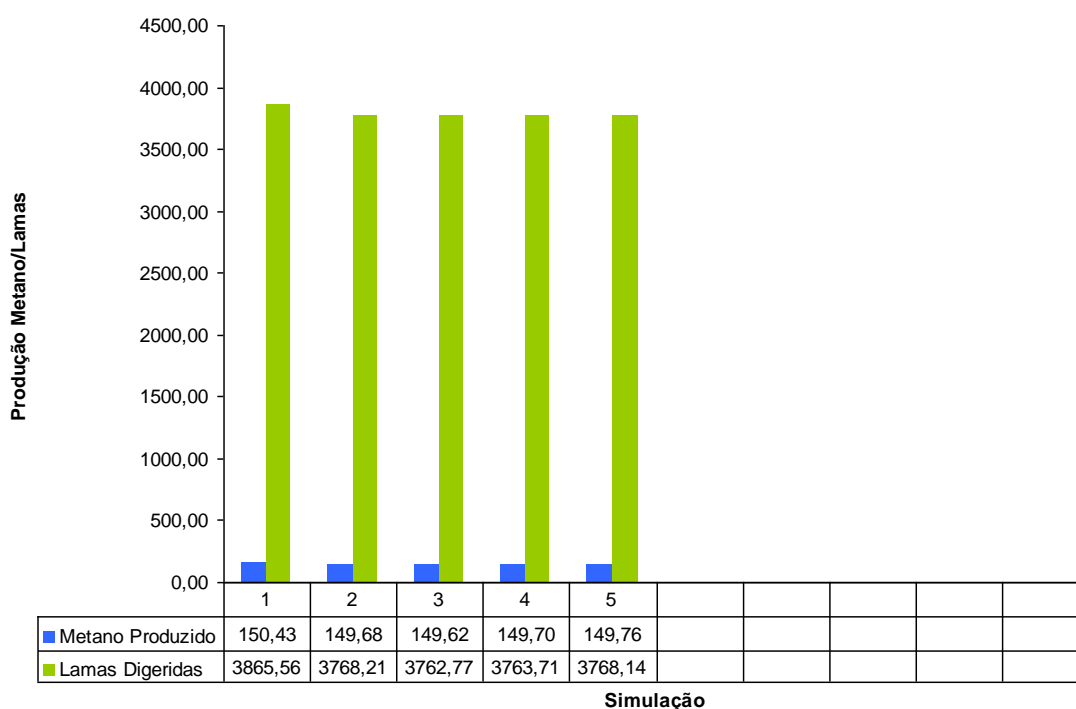


Figura 30 – Gráfico resultante das simulações efectuadas, produção de metano e lamas

Como se pode verificar os valores de produção de metano, bem como de produção de lamas são bastante próximos, uma vez que, como estas simulações são feitas com base no total de carga do tanque, as variações que vão existir, que são referentes às diferenças existentes em termos de efluente secundário no tanque de armazenamento, são mínimas, resultando assim nestas proximidades.

No entanto, como já tinha sido concluído, Figura 29, em termos de maior produção de metano temos a simulação 1 e em termos de menor produção de lamas temos a simulação 3.

O segundo gráfico construído é relativo ao caudal máximo que pode ser introduzido no digestor, Figura 31. Este parâmetro não foi introduzido no gráfico anterior, devido à grande diferença em termos de escala de valores, o que iria resultar na não percepção dos valores de caudal.

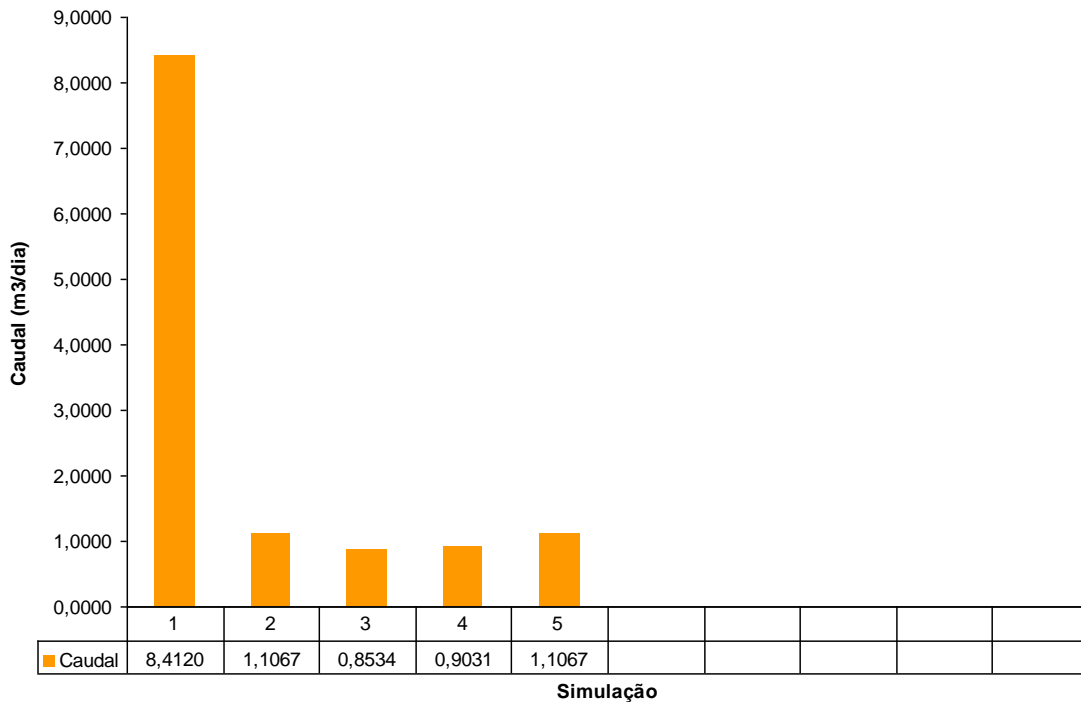


Figura 31 - Gráfico resultante das simulações efectuadas, caudal máximo admissível E.S.

Como se pode verificar, a simulação que permite maior adição de caudal de efluente secundário ao digestor é a número 1, sendo que a menor adição de caudal resulta da simulação número 3.

É perceptível então, porque a produção de lamas é a menor no caso da simulação 3, como a adição de efluente suinícola foi igual para todos, o que vai fazer a diferença será o caudal adicionado de efluentes secundários bem como a sua constituição.

Este passo de simulações foi, e será, repetido cada vez que seja necessária a recepção de mais efluentes secundários. Isto é, cada vez que a capacidade do tanque esteja bastante abaixo do seu máximo, ou que, por alguma razão seja necessário efectuar a recepção de efluentes secundários, esta etapa é preponderante para conhecer qual a mistura que se poderá tornar mais eficaz dependendo das disponibilidades que existem e são à partida conhecidas.

No exemplo em questão foram efectuadas para além desta primeira simulação, mais 5, correspondentes a mais 5 vezes ao longo destes 31 dias em que houve recepção

de efluentes secundários. Quando for abordada a parte especificamente do modelo, serão apresentados todos os valores recepcionados bem como todas as adições efectuadas ao digestor, Quadro 18.

➤ Entregas

Após efectuar as simulações, o utilizador tem então a possibilidade de optar quais os efluentes, e em que quantidades, pretende recepcionar cada um deles. Assim, após esta fase o utilizador acede à folha de Entregas onde irá dar entrada dos caudais recepcionados de todos os efluentes, incluindo o suinícola. Este procedimento é fundamental e tem de ser efectuado antes de o utilizador correr o modelo, uma vez que são estes valores que darão entrada neste, bem como é através destes que os caudais disponíveis no tanque de armazenamento de suinicultura e de efluentes secundários são diariamente actualizados.

É então apresentado um novo menu, Figura 32, onde é pedido que sejam introduzidos os caudais que são recepcionados diariamente dos diversos efluentes.

Suinicultura	Bovinicultura	Matadouros	Maçã	Peixe
400	19	19	1	1

Figura 32 – Menu de Entregas

Como se pode verificar, foram introduzidos 400 m³ de suinicultura, 19 m³ dos efluentes provenientes de matadouros e bovinicultura, e 1m³ de efluentes provenientes da indústria transformadora de peixe e de maçãs. O caudal recepcionado de suinicultura, será transferido para a folha que tem o nome de 'Tanque Suinicultura' enquanto que os restantes caudais darão entrada na folha 'Inicio Modelo'.

Com estes caudais, faz-se a análise da produtividade que corresponde a esta recepção, bem como é efectuada a conta de qual a receita obtida com cada um destes

efluentes. Assim, foram contabilizadas as receitas em termos de tarifa de recepção e em termos de energia eléctrica vendida. Com a construção de um gráfico, que poderá ser construído diariamente pelo utilizador, consegue-se avaliar de uma melhor forma as respostas esperadas de cada um destes efluentes.

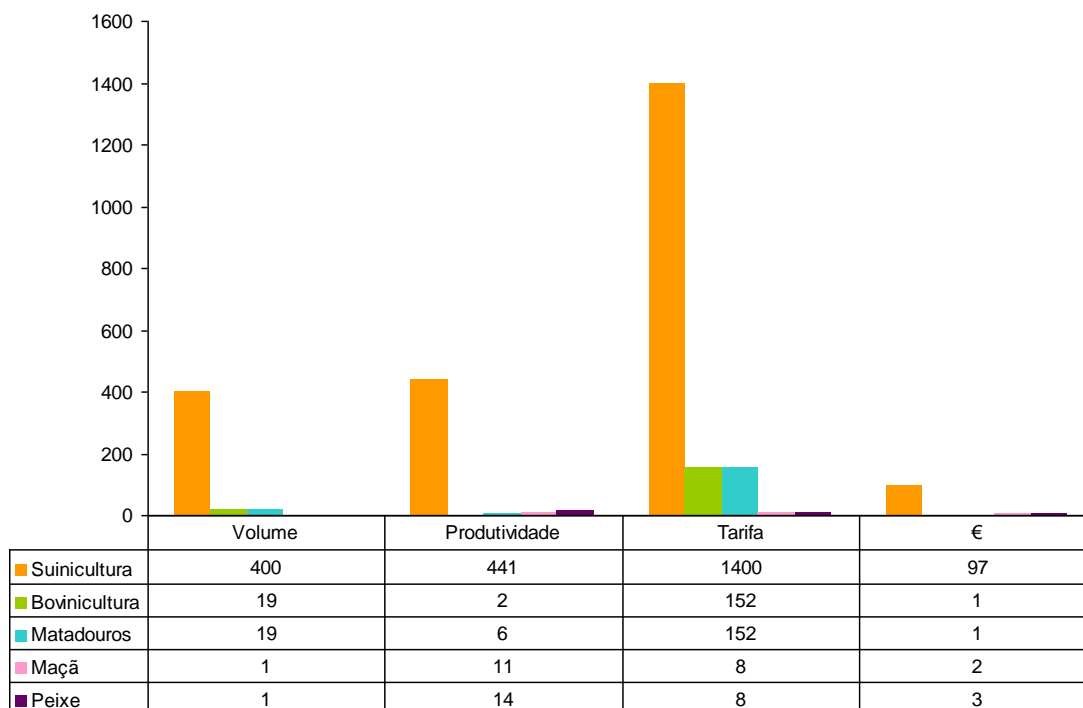


Figura 33 – Gráfico representativo das receitas que advém das entregas dos efluentes

Como se pode verificar, apesar de não ser possível a obtenção de grandes conclusões uma vez que as recepções de caudal não são idênticas, no entanto consegue-se verificar o mesmo que no gráfico da Figura 22, que o peixe e a maçã são efluentes bastante rentáveis.

➤ Segunda Fase

Nesta fase os caudais que estão nos tanques de armazenamento, de suinícola e secundários, são conhecidos e portanto é possível por o modelo a correr. É importante referir que quando existe a adição de efluente secundário ao digestor é necessário conhecer o caudal máximo que pode ser introduzido neste órgão. Neste sentido, o utilizador quando efectua as simulações, fica com o registo de qual o caudal máximo admissível, de acordo com a simulação que elegeu como melhor opção, de acordo com o parâmetro que achou preponderante. É esse valor de caudal que terá de ser introduzido no modelo, como o respectivo ao efluente secundário.

Aparece assim de novo o menu inicial, Figura 19, e o utilizador escolhe então a opção de correr o modelo, que após as etapas anteriores estritamente necessárias pode ser seleccionada a qualquer momento.

Assim, quando a opção tomada é esta, aparece um aviso para que o utilizador preencha todos os campos necessários, Figura 34.

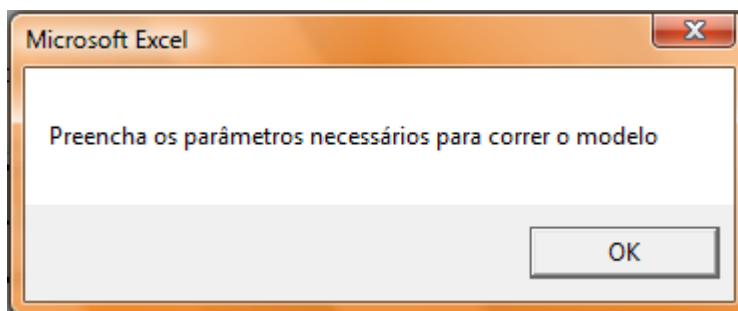


Figura 34 – Informação dada ao utilizador para correr o modelo

De acordo com as simulações feitas acima, decidiu-se que o parâmetro tido como prioritário seria o metano produzido. Desta forma a adição de caudal feita ao digestor foi de 8,41 m³ de efluente secundário.

Este valor introduzido acontece para o primeiro dia. Na tabela seguinte, apresentam-se os valores introduzidos para um mês, 31 dias, para que seja possível a percepção de todo o procedimento ao longo de um mês, bem como analisar a resposta destes valores em termos de produção de metano e lamas.

É de notar que os valores introduzidos no modelo para os 31 dias, foram arbitrados, de acordo com alguns factores importantes e limitativos, tais como os volumes disponíveis nos tanques de armazenamento e utilizando um pouco a lógica que possivelmente será adoptada quando a implementação do modelo numa estação de tratamento. No entanto é bastante importante referir, que possivelmente algumas das opções revelar-se-ão totalmente inadequadas na prática, bem como possivelmente a adição de efluente secundário ao digestor far-se-á de uma forma bastante mais faseada, isto é, com maiores tempos de intervalo entre elas e não como foi considerado neste caso, em que em muitos dos casos houve adição em mais do que um dia seguidos. Apesar destes factores, que na prática poderão ser inadequados, não limitativos, dado que o modelo está preparado para flexibilidades de admissão de caudal, este exemplo tem como principal objectivo mostrar o funcionamento do modelo, bem como as suas respostas às adições que se vão fazendo, sendo possível a sua análise ao fim de cada ciclo.

No final de cada ciclo estar completo, o modelo devolve gráficos referentes às produções de metano e lamas, sendo que foi considerado que a obtenção destes gráficos acontece a partir do dia 28 até ao 31, para garantir que, quando se estiver a operar o modelo em Fevereiro seja possível terminar o ciclo no dia 28 ou 29, passando-se o mesmo relativamente aos meses que possuem 30 ou 31 dias.

No Quadro 18, estão apresentados os valores de caudais dos vários efluentes, tanto adicionados aos tanques de armazenamento como ao digestor, ao longo dos 31 dias.

Quadro 18 – Caudais adicionados nos tanques e digestor no decorrer deste exemplo

Dia	Entregas Tanques de Armazenamento					Adicionado ao Digestor	
	S	B	Mt	Mç	P	Suicultura	Secundário
1	400	19	19	1	1	130	8,41
2	130	0	0	0	0	130	8,41
3	140	0	0	0	0	130	8,41
4	150	0	0	0	0	130	8,41
5	140	0	0	0	0	130	8,41
6	150	14	6	6	6	130	2,7
7	140	0	0	0	0	130	2,7
8	130	0	0	0	0	130	2,7
9	140	0	0	0	0	130	2,7
10	130	0	0	0	0	130	2,7
11	140	0	0	0	0	130	2,7
12	150	0	0	0	0	130	2,7
13	140	0	0	0	0	130	2,7
14	150	0	0	0	0	140	0,00
15	150	0	0	0	0	140	0,00
16	150	0	0	0	0	140	0,00
17	150	0	0	0	0	140	0,00
18	150	0	0	0	0	130	2,7
19	140	0	0	0	0	130	2,7
20	130	0	0	0	0	130	2,7
21	140	0	0	0	0	130	2,7
22	130	0	0	0	0	130	2,7
23	140	1	1	18	18	130	1,2
24	130	0	0	0	0	130	1,2
25	140	0	0	0	0	130	1,2
26	150	0	0	0	0	130	1,2
27	160	0	0	0	0	130	1,2
28	130	0	0	0	0	130	1,2
29	140	0	0	0	0	130	1,2
30	150	0	0	0	0	130	1,2
31	160	0	0	0	0	130	1,2

Com a introdução destes valores no modelo, foram obtidos diferentes valores de metano e de produção de lamas. Para além disso foi possível obter as curvas respectivas a cada uma destas produções bem como as médias destes valores.

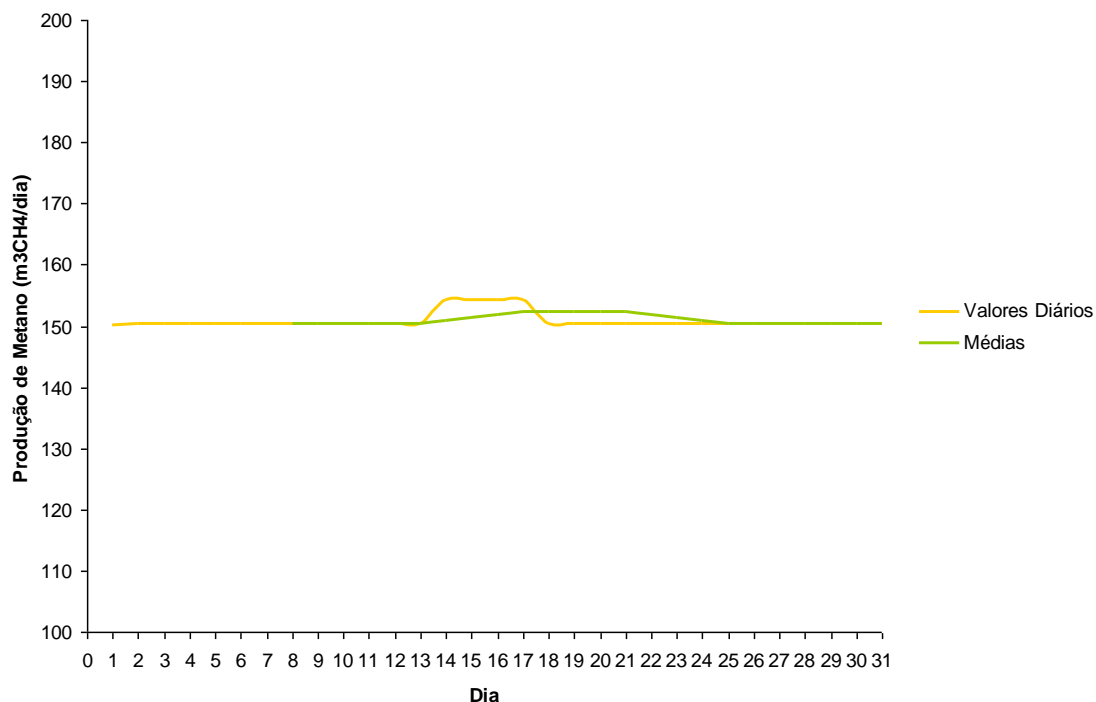


Figura 35 – Produção de metano ao longo do mês e respectivas médias

Como se pode verificar através do gráfico da Figura 35, os valores de produção de metano não sofrem grandes variações ao longo dos 31 dias estudados. Pode no entanto verificar-se que existem alguns picos onde se registam os valores de máxima produção, bem como uns decréscimos onde se registam as menores.

Assim sendo, pode-se verificar que nos dias 14, 15, 16 e 17 houve picos na produção de metano e dizem respeito a dias em que apenas o efluente suinícola foi introduzido no digestor.

O facto de haver aumento de produção de metano quando apenas é introduzido efluente suinícola no digestor, deve-se ao facto da produtividade específica deste efluente ser superior à dos restantes. Tendo como exemplo os valores obtidos na simulação acima efectuada, verificou-se que existia uma folga de 214,3 em termos de SSV, parâmetro utilizado para a determinação de metano. Para obter o valor de produção de metano multiplica-se o valor de carga em SSV pela produtividade específica, sendo desta forma perceptível que preenchendo esta folga com efluente suinícola os valores de produção de metano serão superiores sendo assim mais benéfico, do que preenchê-la com qualquer outro efluente, uma vez que o efluente suinícola apresenta um valor de produtividade específica mais elevado.

Relativamente aos pontos em que se registaram os decréscimos mais acentuados, estes vêem-se logo nos primeiros dias, e após algumas das adições de novas misturas no tanque de efluentes secundários. Este facto pode-se explicar, seguindo

um pouco a lógica já explicada para a produção de metano, pela introdução de efluentes secundários no digestor, tendo todos eles um potencial metanogénico inferior ao verificado para o efluente suinícola. Assim é expectável que quando são adicionados ao digestor se registre um decréscimo, embora não muito acentuado, da produção de metano.

Relativamente ao outro produto que resulta da digestão anaeróbia, pode-se verificar o mesmo comportamento, sendo que, se no caso da produção de metano é benéfico ter um valor o mais alto possível, na produção de lamas o que se pretende é a obtenção do valor mais baixo.

Através do gráfico da Figura 36 é possível tirar algumas conclusões que vão de encontro ao já visto relativamente à produção de metano.

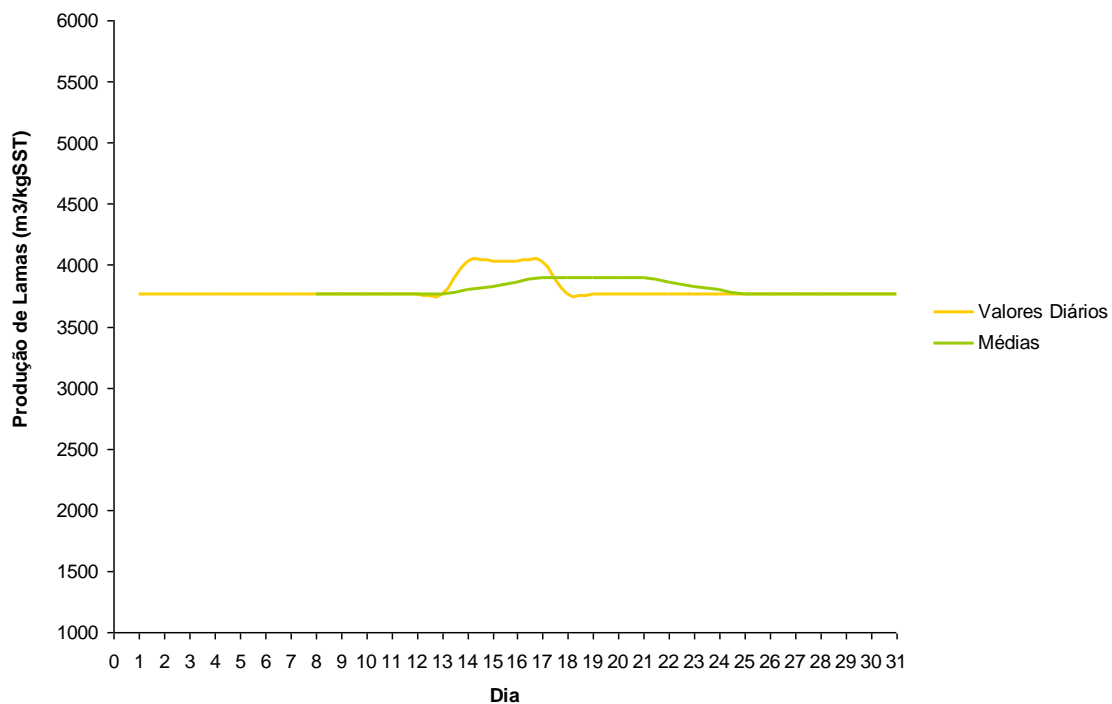


Figura 36 – Produção de lamas ao longo do mês e respectivas médias

Como se pode observar existem algumas semelhanças entre este gráfico e o da Figura 35, uma vez que se verificam os mesmos picos em ambas as figuras. No entanto, se os picos eram benéficos no caso de produção de metano, quando se fala de produção de lamas o mesmo não acontece.

Estes picos revelar-se-ão em maiores custos em termos de desidratação e deposição destas lamas, sendo que, este maior volume de lamas está directamente relacionado com o caudal que é adicionado ao digestor, para além das características do efluente também ter alguma relevância. No entanto, pode verificar-se que as maiores

produções de lamas foram obtidas quando foi somente adicionado efluente suinícola ao digestor.

No resto dos dias, não se verificam pontos de acentuados decréscimos sendo a produção de lamas mais ou menos constante ao longo do mês, como de resto se pode observar através da linha que representa a média das produções de lamas.

Os valores correspondentes a cada uma destas produções ficam diariamente registados, bem como os valores, em euros, que no caso da produção de metano se traduzirá em venda de energia eléctrica, e no caso da produção de lamas em custos em desidratação, polielectrólito, e de deposição das lamas em aterro. Estas folhas de registo serão fundamentais para mensalmente, no final de cada mês, ser feita uma análise custo/benefício para verificar e concluir quais as opções que se revelaram mais benéficas e quais as alterações que poderão vir a ser feitas em termos de funcionamento da instalação nos dias seguintes. Nesta fase será possível, no caso em exemplo, se mesmo apresentando valores superiores de metano quando adicionado somente efluente suinícola, se revela vantajoso ou não.

Para estabelecer uma comparação e apoiar as conclusões já retiradas da produção de lamas e metano, foram construídos dois gráficos em que é mostrado, em percentagem, o que foi adicionado ao digestor em termos de caudal e o que foi produzido em termos de metano, diferenciando os efluentes suinícolas dos secundários.

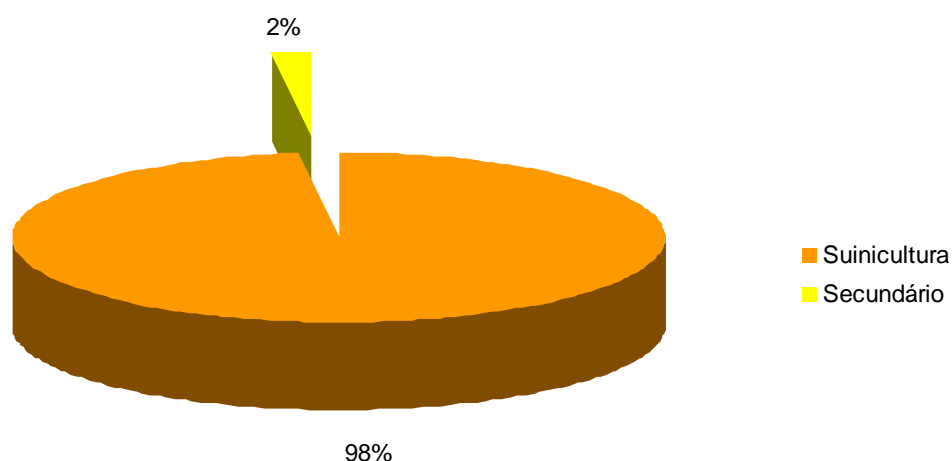


Figura 37 – Percentagem dos caudais que são introduzidos no digestor

Como se pode verificar a percentagem de caudal de efluente suinícola adicionado ao digestor representa quase a totalidade do caudal inserido, sendo que o caudal de efluente secundário é bastante reduzido, como já se verificou anteriormente.

No entanto, quando se faz a avaliação nos mesmos termos relativamente à produção de metano os resultados são um pouco diferentes, Figura 38.

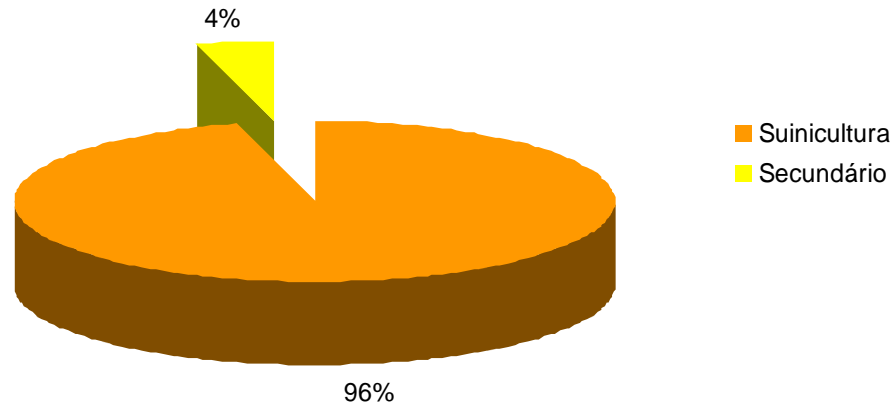


Figura 38 – Percentagem da produção de metano de acordo com os caudais introduzidos no digestor

Através desta figura, pode-se verificar que a produção de metano é maioritariamente proveniente do efluente suinícola, sendo que a percentagem de produção de metano referente ao efluente secundário é bastante reduzida.

No entanto, analisando em simultâneo os dois gráficos, pode-se concluir que apesar do caudal de efluente secundário ser bastante inferior ao de suinicultura, no que diz respeito à produção de metano é mais significativa. As proporções não se mantêm, do que se pode concluir que os efluentes secundários apesar de não apresentarem melhorias em termos de produção de metano, comparativamente ao caudal que é introduzido a produção de metano são francamente superiores. Pode ainda concluir-se que, se não houvesse a imposição de cumprimento das cargas máximas admissíveis do digestor, que foram tidas como limite, a presença de efluentes secundários é bastante benéfica para o processo, não só pela possibilidade de alimentar o digestor com nutrientes essenciais e com a atenuação de alguns efeitos inibitórios da digestão singular dos efluentes suinícolas, como também se poderiam traduzir numa melhoria bastante significativa da produção de metano,

➤ Tanques de Armazenamento de Efluente Suinícola e Secundários

Como já foi referido anteriormente, existem algumas folhas neste modelo, que tem apenas a função de funcionar como folha de registo de forma a ser possível um maior conhecimento das capacidades dos órgãos e de que caudais podem ser adicionados dependendo do dia em que se está a correr o modelo.

Desta forma foram criadas duas destas folhas, uma para gerir o efluente suinícola, e outra para gerir os efluentes secundários.

Estas folhas, representam simultaneamente o final e o início de cada ciclo, dado que, sempre que o utilizador quiser saber quanto pode recepcionar de cada um destes efluentes precisa primeiramente de conhecer quais as disponibilidades em termos de volume que existem nestes órgãos, ou por outro lado, saber qual a capacidade já preenchida de cada um destes órgãos. No entanto, sempre que corre um dia no modelo, são transcritos para estas folhas os valores de caudais adicionados ao digestor para que haja actualização para o dia seguinte.

Na Figura 39 pode-se verificar a folha de registo referente ao tanque de suinicultura e o respectivo gráfico que é criado sempre que o utilizador o requisite para que se torne mais perceptível o volume que está a ser utilizado do tanque e o volume que está disponível para ser adicionado ao digestor.

Dia	Volume Disponível	Caudal Recepcionado	Volume no Tanque	Caudal adicionado ao Digestor
1	400	400	400	130
2	130	120	390	130
3	140	120	380	130
4	150	140	390	130
5	140	120	380	130
6	150	140	390	130
7	140	140	400	130
8	130	120	390	130
9	140	140	400	130
10	130	120	390	130
11	140	120	380	130
12	150	140	390	130
13	140	120	380	130
14	150	140	390	140
15	150	140	390	140
16	150	140	390	140
17	150	140	390	140
18	150	140	390	130
19	140	140	400	130
20	130	120	390	130
21	140	140	400	130
22	130	120	390	130
23	140	140	400	130
24	130	120	390	130
25	140	120	380	130
26	150	120	370	130
27	160	160	400	130
28	130	120	390	130
29	140	120	380	130
30	150	120	370	130
31	160	160	400	130

Figura 39 – Folha de registo do tanque de armazenamento de efluente suinícola

Como se pode verificar nesta folha de registo foram tidos em conta todos os fluxos seguidos pelo efluente suinícola, isto é, contabiliza-se tudo desde o volume que está disponível para recepção no dia seguinte, a folga que existe no tanque. Após a

indicação por parte do utilizador que quanto foi a entrega de efluente em cada dia, esses valores são também registados para ser possível determinar diariamente qual o volume livre no tanque para nova recepção, mas também para conhecer qual o caudal disponível para adicionar ao digestor.

No gráfico da Figura 40, está informação está toda apresentada de uma forma mais compacta e de fácil percepção.

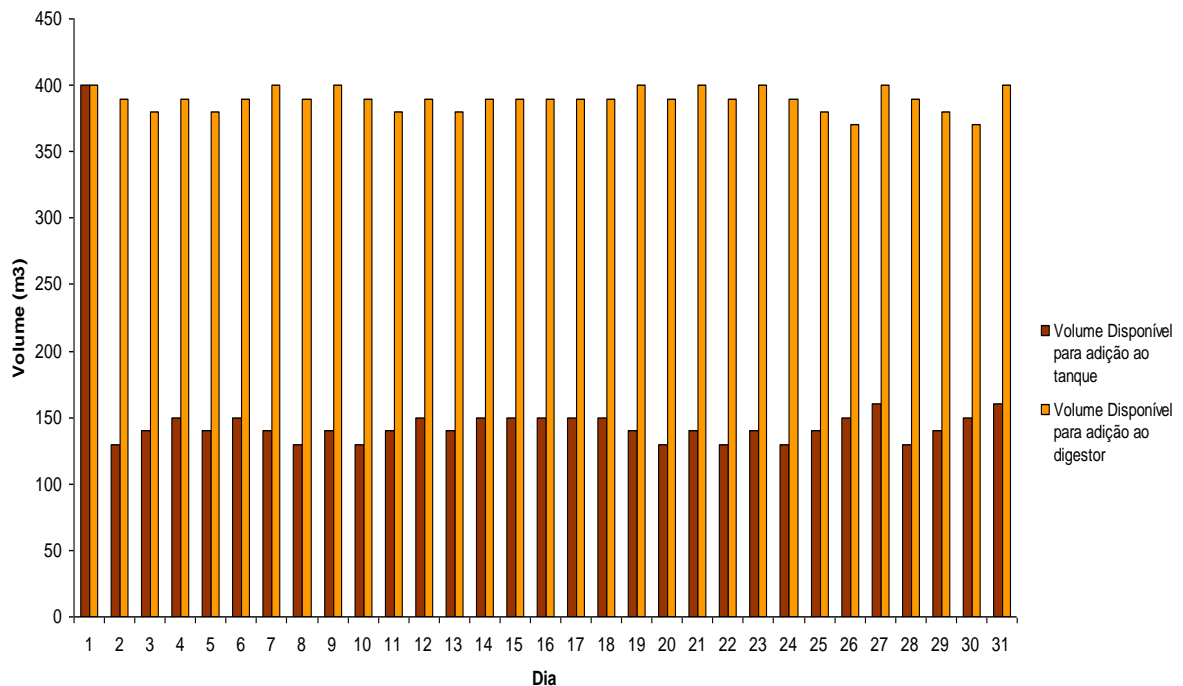


Figura 40 – Gráfico representativo do volume disponível no tanque de armazenamento de suinicultura e do caudal disponível para adição ao digestor

Como se pode verificar, houve sempre, no decorrer deste exemplo, preocupação em manter sempre o tanque de armazenamento de efluente suinícola com disponibilidade para adição ao digestor. Obviamente esta preocupação passou sempre pela recepção diária deste efluente, sendo este o principal alvo de tratamento desta estação, optou-se por se considerar que haveria sempre recepção, exceptuando um dia, bem como haveria sempre adição deste efluente ao digestor, o que na prática se revelará como certo.

Relativamente ao tanque de armazenamento de efluentes secundários, o procedimento é praticamente igual ao que se verifica no tanque de armazenamento de efluentes suinícolas. Existe o registo de qual a recepção diária de cada um dos efluentes, sendo que posteriormente se vão fazendo os cálculos para se obter quais

os volumes disponíveis para recepção de mais efluentes, e qual o volume disponível para adição ao digestor, Figura 41.

Dia	Bovinicultura	Matadouros	Maçã	Peixe	Folga disponível para recepção	Caudal disponível para adicionar ao digestor	Caudal adicionado ao digestor
1	19	19	1	1	40,00	40,00	8,41
2	0	0	0	0	8,41	31,59	8,41
3	0	0	0	0	16,82	23,18	8,41
4	0	0	0	0	25,23	14,77	8,41
5	14	6	6	6	33,64	38,36	2,70
6	0	0	0	0	4,34	35,66	2,70
7	0	0	0	0	7,04	32,96	2,70
8	0	0	0	0	9,74	30,26	2,70
9	0	0	0	0	12,44	27,56	2,70
10	0	0	0	0	15,14	24,86	2,70
11	0	0	0	0	17,84	22,16	2,70
12	0	0	0	0	20,54	19,46	2,70
13	0	0	0	0	23,24	16,76	2,70
14	0	0	0	0	25,94	14,06	0,00
15	0	0	0	0	25,94	14,06	0,00
16	0	0	0	0	25,94	14,06	0,00
17	0	0	0	0	25,94	14,06	0,00
18	0	0	0	0	25,94	14,06	2,70
19	0	0	0	0	28,64	11,36	2,70
20	0	0	0	0	31,34	8,66	2,70
21	0	0	0	0	34,04	5,96	2,70
22	0	0	0	0	36,74	3,26	2,70
23	1	1	18	18	39,44	38,56	1,20
24	0	0	0	0	2,64	37,36	1,20
25	0	0	0	0	3,84	36,16	1,20
26	0	0	0	0	5,04	34,96	1,20
27	0	0	0	0	6,24	33,76	1,20
28	0	0	0	0	7,44	32,56	1,20
29	0	0	0	0	8,64	31,36	1,20
30	0	0	0	0	9,84	30,16	1,20
31	0	0	0	0	11,04	28,96	1,20

Figura 41 – Folha de registo do tanque de armazenamento de efluente secundário

Como se pode verificar, em maior parte dos dias não houve qualquer recepção de efluentes secundários, sendo que o volume disponível para tal era também bastante pequeno. Estes resultados tomam maior expressividade quando representados graficamente, Figura 41.

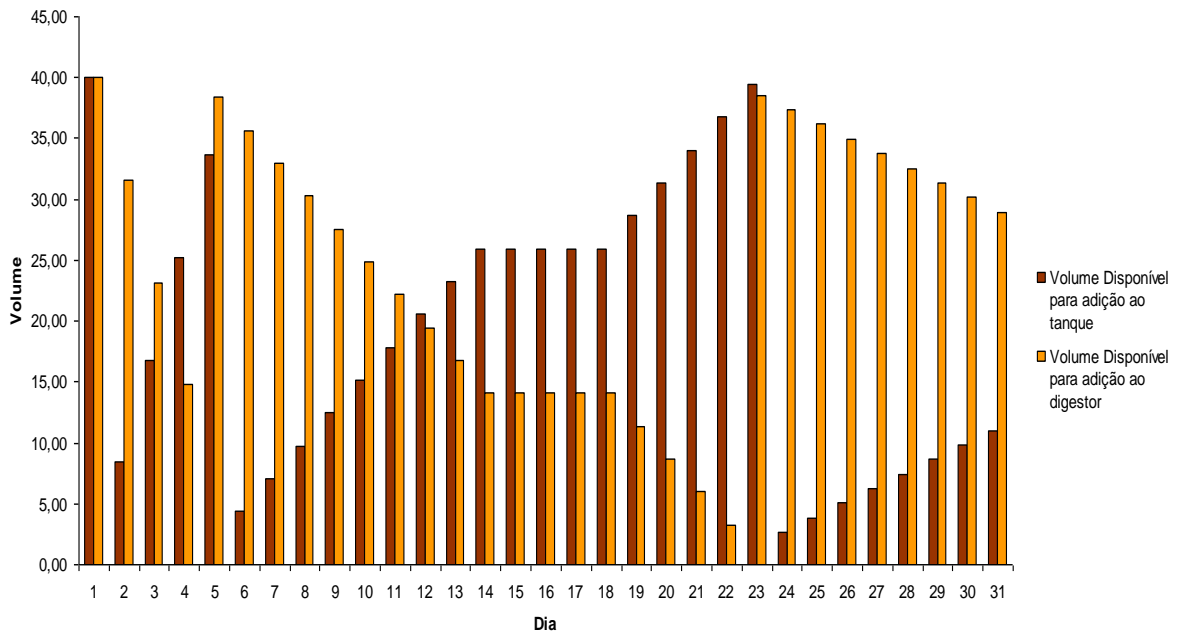


Figura 42 – Gráfico dos volumes disponíveis no tanque de efluentes secundários

Como estava a ser descrito, o volume diário disponível para recepção de efluentes, no decorrer deste exemplo, foi quase sempre mínimo. Este facto, deve-se às adições que são feitas ao digestor provenientes deste tanque serem bastante diminutas, o que não possibilita a existência de grandes folgas para mais recepções. Também por este facto se foi optando por haver sempre alguma adição de efluente secundário ao tanque, uma vez que à medida que o tempo passa e os efluentes permanecem armazenados, o seu potencial metanogénico baixa, o que deixa de ser tão benéfico para o processo. Tal como no caso do tanque de suinicultura, é esta folha de registo que o utilizador terá de consultar antes de aceitar fazer qualquer recepção destes efluentes.

Estas folhas de registo, para além de servirem como ponto de partida para o utilizador e também para o modelo, caso haja alguma falha em termos de percepção ou alguma falha do utilizador, é a estas folhas que o modelo vem buscar os limites de caudais que podem ser adicionados aos tanques e posteriormente ao digestor. Caso se registe algum valor superior, o modelo pára e dá o aviso de qual o parâmetro que está a ser excedido, dando assim oportunidade ao utilizador de voltar atrás com o processo e voltar a corrê-lo quando tudo estiver certo.

8 Análise de Sensibilidade

Como já foi descrito, a melhor maneira de entender o comportamento do modelo, é fazer variar os dados de entrada e perceber de que forma esta alteração se traduz nos dados de saída. Desta forma, optou-se por fazer variar os parâmetros de entrada, o caudal de suinicultura adicionado ao digestor, +/- 2% e +/-7%. Estes valores foram arbitrados tendo em conta os máximos de caudal que podem ser atingidos, sendo assim necessária especial atenção às variações de maior caudal, tendo-se atingido um máximo de variação possível com um incremento de 7% ao caudal testado no capítulo dos resultados.

A análise de sensibilidades foi efectuada de acordo com alguns pressupostos:

1. Apenas o caudal de efluente suinícola adicionado ao digestor sofreu as variações;
2. Foram consideradas adições de efluentes secundários ao tanque de armazenamento destes efluentes, apenas quando já não era possível nenhuma adição ao digestor;
3. Nos casos em que a adição de caudal suinícola é máximo no caso em exemplo, considerou-se também o valor de 140 m³, nos casos da análise de sensibilidade;
4. Tal como na fase de resultados, foram consideradas adições quase diárias de efluente secundário ao digestor;
5. A gestão de efluentes secundários foi feita numa base proporcional relativamente à referência.

Variando apenas o caudal suinícola de entrada do digestor, conseqüentemente altera-se também o caudal de efluente secundário que poderá dar entrada neste órgão. No entanto, quando se trata da adição do máximo de caudal admissível no digestor de efluente suinícola, este não sofreu alterações, uma vez que não é suposto haver adições ao digestor de valores muito inferiores ao máximo admissível, e quando as há, são devidas à adição de efluentes secundários bastante carregados. Desta forma, o que se pretendeu testar foi qual o resultado da adição de um caudal diferente de efluente suinícola em termos de caudal de efluente secundário que é possível adicionar, bem como quais os resultados relativamente à produção de metano e lamas que se fazem sentir.

Os caudais de suinicultura adicionados, foram variados de acordo com os valores já referidos, apresentando a distribuição que se pode observar na Figura 43.

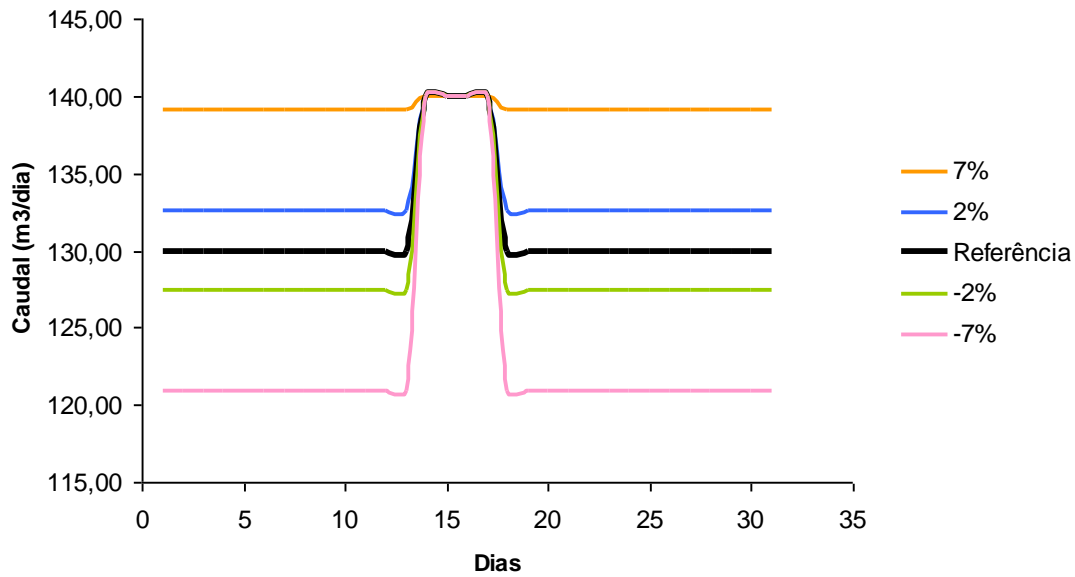


Figura 43 – Caudal de suinicultura adicionado ao digestor de acordo com cada uma das variações

A linha a preto designada como de referência diz respeito ao exemplo explorado no capítulo de Resultados, sendo que as variações foram todas feitas tendo como base esses mesmos valores. Como seria de esperar a distribuição destes caudais é similar em todos os casos havendo o cruzamento dos valores, nos 140 m³, que como já foi referido foi assumido como máximo independentemente da variação no resto dos valores.

Para que fosse possível manter algum critério em todos as diferentes situações exploradas, optou-se por assumir que apenas haveria adição de mais caudal de efluentes secundários no seu tanque de armazenamento, quando existisse impossibilidade de adicionar o caudal máximo possível deste efluente ao digestor. Com esta medida é possível avaliar de que forma, a alteração da adição do caudal suinícola ao digestor, altera grandemente, ou não, a gestão da recepção de efluentes secundários. No entanto, e como já foi referido, o pressuposto que se admite em termos de adição de efluentes secundários ao digestor, está bastante desfasado com o que acontecerá na realidade, onde possivelmente se adoptará por fazer a adição de efluente secundário de uma forma mais espaçada, sendo também preponderante conhecer qual o comportamento do digestor á adição destes, factores que não são ainda conhecidos, tendo-se optado por fazer a adição quase diariamente.

Finalmente é importante referir que, com as diferentes adições de efluente suinícola ao digestor, uma das primeiras grandes diferenças que se fazem sentir, é relativa à adição de efluente secundário. Nos casos em que se diminuiu os valores de caudal de

efluente suinícola adicionado ao digestor, a folga para a adição do caudal secundário aumentou, Figura 43. Desta forma, a gestão de efluentes secundários foi diferente dependendo das adições que se faziam ao digestor, no entanto foram mantidas proporcionais as adições no tanque de armazenamento de efluente secundário. Isto é, de um caso para outro não houve adições totalmente diferentes de efluentes no tanque, uma vez que se assim fosse não seria possível estabelecer uma base de comparação. Pretendeu-se desta forma que as características do tanque de armazenamento se mantivessem idênticas, tendo este factor sido possível pela adição de efluentes secundários em pesos idênticos ao verificado na situação referência. Para que seja perceptível este último pressuposto, no Quadro 19, estão apresentados os valores de caudal adicionado ao tanque de armazenamento de efluentes secundários, bem como os dias em que houve adição.

Quadro 19 - Valores de caudal de efluentes secundários introduzidos no tanque de armazenamento

Dia	Bovinicultura	Matadouros	Maçã	Peixe
Referência				
1	19	19	1	1
5	14	6	6	6
23	1	1	18	18
-2%				
1	19	19	1	1
4	14	6	6	6
19	1	1	18	18
+2%				
1	19	19	1	1
7	14	6	6	6
28	1	1	18	18
-7%				
1	19	19	1	1
3	14	6	6	6
10	18	18	0	0
19	0	0	18	18
31	0	18	18	0
+7%				
1	19	19	1	1

Como se pode verificar, em termos de gestão da recepção dos efluentes secundários para o tanque de armazenamento destes houve bastantes alterações. Na situação de adição de +/- 2% de caudal suinícola ao digestor, pode-se concluir que a maior diferença reside no facto de os dias de recepção se alteram. No entanto, há a referir que, no segundo dia de recepção no caso de -2%, havia a possibilidade de adicionar mais caudal do que aquele que de facto foi recepcionado. Este facto não ocorreu, uma vez que, com esta adição é possível estabelecer uma comparação mais correcta entre as variações de caudal, isto é, mantendo o valor de recepção idêntico as variações que se farão sentir a jusante do digestor poderão ser melhor avaliadas. Com a variação de -2% de caudal suinícola a entrar no digestor, conclui-se que a adição de efluente secundário que pode ocorrer é cerca de 1,3 vezes superior à que se verificou na situação de referência. É devido a este aumento, que se verifica a necessidade de antecipação de recepção de efluentes secundários.

No caso de haver adição de mais 2% de caudal de efluente suinícola ao digestor, de acordo com o que foi referido no caso anterior, as recepções de efluentes secundários ao tanque foram realizadas mais tarde. A adição de efluente secundário ao digestor diminuiu sendo que era apenas cerca de 74% do caudal adicionado na situação inicial. Relativamente às variações de +/-7% do caudal de efluente suinícola a introduzir no digestor, já existem variações bastante acentuadas.

No caso de -7%, são necessárias mais duas adições, sendo ainda relevante referir que as primeiras adições são bastante mais cedo. Como seria de esperar, com uma diminuição tão considerável de adição de efluente secundário, a adição de efluente suinícola sofre um aumento bastante significativo, sendo praticamente o dobro, passando de 8,41m³ na situação inicial para 16 m³, nesta situação. Com este aumento, foi necessária a adição de caudal de efluentes secundários cinco vezes, não tendo sido possível neste caso, manter algum nível de comparação com os casos anteriores uma vez que em nenhum deles existe mais do que três adições.

No caso de adicionar mais 7% de caudal suinícola ao digestor, pode-se concluir que esta situação é praticamente a situação em que haverá todos os dias a adição de caudal na totalidade de efluente suinícola. Apenas existe folga no digestor para a adição de 0,75m³ de caudal de efluente secundário ao digestor, o que representa cerca de 8,9% do caudal adicionado na situação de referência.

Na Figura 44, estão apresentados os valores de caudal secundário introduzido no digestor.

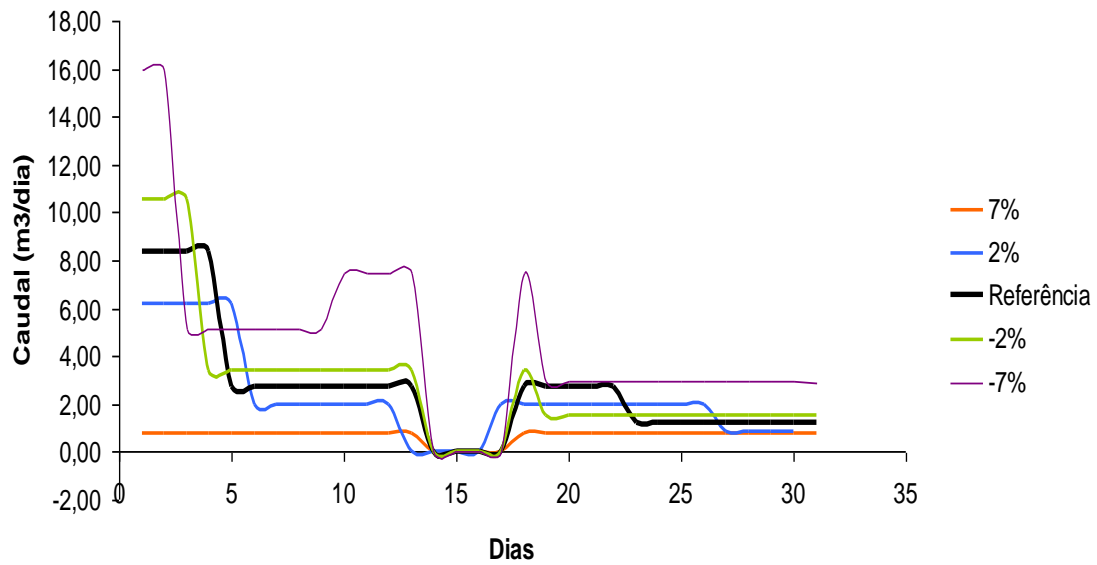


Figura 44 – Caudal de efluente secundário adicionado ao digestor de acordo com cada uma das variações

Tal como já foi descrito através deste gráfico é possível ter a percepção de que quanto menor é o caudal de efluente suínicola adicionado ao digestor, maior é o caudal de efluente secundário que é introduzido, sendo que a situação contrária também se verifica.

Após a avaliação dos caudais de suinicultura e secundários introduzidos no digestor de forma independente na Figura 45, apresentam-se os caudais totais que foram adicionados ao digestor, de acordo com as variações que se fizeram.

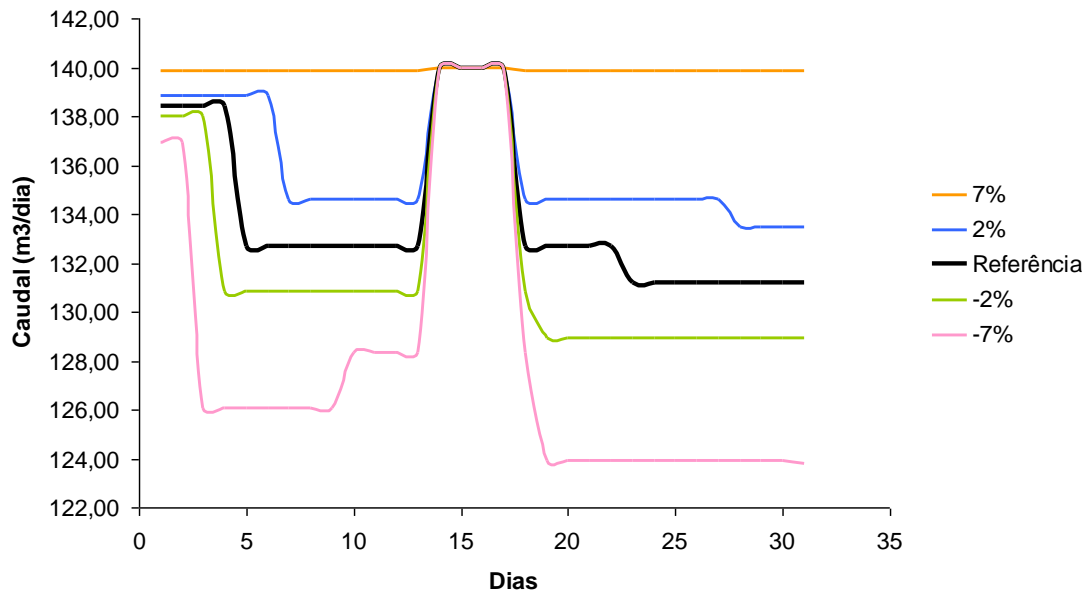


Figura 45 – Caudal total inserido no digestor de acordo com as variações

Como se pode verificar, o padrão que se obtém é bastante semelhante ao que se verifica no gráfico de caudal de efluente suinícola. Isto deve-se ao facto de, como o efluente suinícola é o efluente principal e o que é maioritariamente introduzido no tanque, a sua presença é a que tem mais peso, podendo apenas verificar-se algumas oscilações nas curvas apresentadas devido às diferentes adições de efluentes secundários.

Relativamente à produção de metano, as oscilações verificaram-se praticamente directamente proporcionais à adição de caudal de efluente suinícola diferenciado, Figura 46.

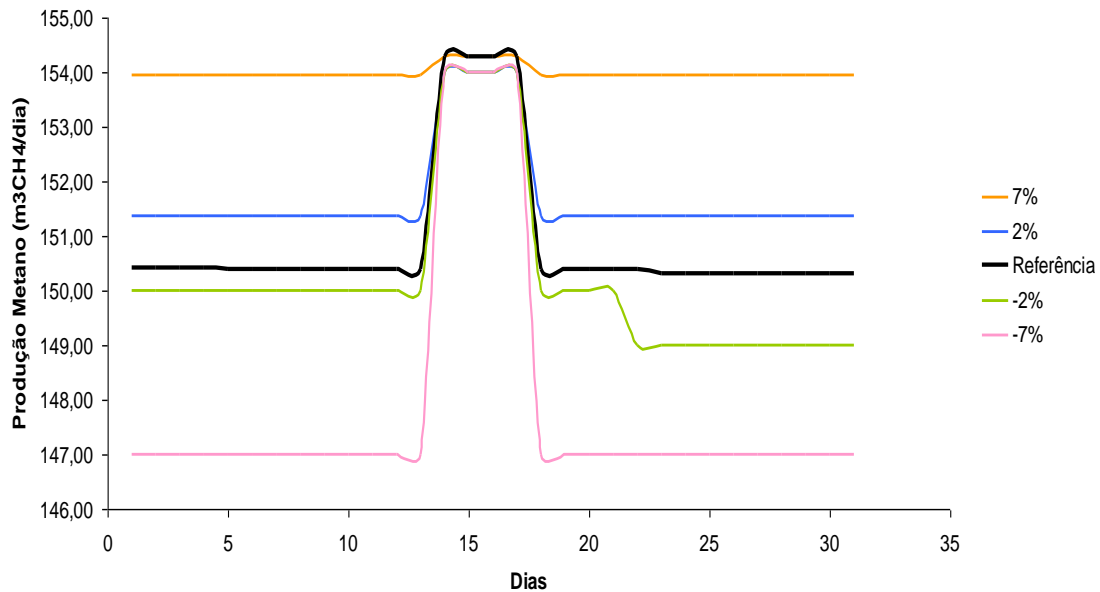


Figura 46 – Produção de metano de acordo com as variações feitas a nível do caudal

Começando por avaliar a variação de +7%, pode-se verificar que a produção de metano se manteve constante ao longo de todo o mês, sendo que este resultado já era esperado uma vez que as adições foram as mesmas ao longo de todo o tempo, exceptuado os dias 14,15, 16 e 17, que há semelhança de todos os outros casos foi adicionado o caudal máximo de efluente suinícola, não tendo havido adição de efluente secundário. Os valores de produção de metano apresentam-se bastante próximo do máximo, isto é, próximo da produção que é obtida quando são adicionados 140m^3 de caudal de efluente suinícola.

No caso da adição de +2%, pode-se já notar algumas oscilações, que dizem respeito a novas adições de efluentes secundários ao tanque de armazenamento, o que provoca a alteração das características da mistura. Assim, pode-se concluir que com a adição do dia 4 efectuada ao tanque de armazenamento de efluentes secundários, a mistura modificou-se ficando mais carregada. Este aumento de carga deve-se à adição de um caudal bastante superior ao verificado na adição do dia 1, de efluentes provenientes de indústrias de peixe e maçã. Desta forma, apesar destes efluentes apresentarem elevado potencial metanogénico, o caudal que pode ser introduzido no digestor diminuiu significativamente, tendo passado de 6 para 2 m^3 . Esta alteração faz com que a produção de metano diminua, no entanto é importante referir que esta diminuição é mínima, a produção de metano passa de 151,42 para 151,43 (m^3/dia). Isto é explicado pelo facto do caudal que é dado como máximo possível de efluente secundário é calculado a partir da carga máxima do digestor, o que leva a que, independentemente da mistura presente no tanque, o modelo responde sempre de

forma a aproximar as características da mistura que dará entrada no digestor ao limite aceitável no digestor. No entanto esta diminuição é importante para concluir que apesar de haver efluentes com maior potencial metanogénico, por vezes adicionando maior caudal de efluentes com menor potencial se revela da mesma forma benéfico.

No que diz respeito à adição de -2%, como se pode verificar a produção de metano mantém-se relativamente constante, sendo que nos primeiros dias se verificou uma pequena descida da produção, o que foi influenciado por uma nova adição ao dia 7, o que levou a um decréscimo bastante acentuado do caudal secundário que dá entrada no digestor, passou de 10,6 para 3,4m³. No entanto, e como se pode verificar pela análise do gráfico, esta alteração bastante grande de caudal, não se revelou numa grande alteração em termos de produção de metano, justamente pelo facto de este caudal secundário ter uma composição bastante mais carregada, o que leva a uma menor adição de caudal, mas a valores de carga idênticos, neste caso específico, o valor de SSV presentes na mistura que dá entrada no digestor após o dia 4 é praticamente idêntica à presente nos dias anteriores.

Finalmente, no caso de adição de -7% de caudal de efluente suinícola ao digestor, a produção de metano apresenta também um comportamento relativamente linear. No entanto, neste caso existem alguns pontos que revelam algum interesse. Apesar de não ser perceptível através da análise do gráfico, a produção de metano aumentou, ligeiramente, após a nova adição de efluentes secundários ao tanque no dia 3. Este facto é interessante uma vez que o caudal adicionado ao digestor diminuiu para menos de metade do verificado inicialmente, passou de 16 para 5,17m³. No entanto as características da mistura do tanque alteraram-se com a introdução de efluentes mais carregados o que levou a um aumento de metano apesar da diminuição de caudal a dar entrada no digestor. A produção de metano apresentou ainda mais um aumento aquando de nova adição de efluentes ao tanque, só que neste caso a razão para este aumento deveu-se a também um aumento de caudal inserido no digestor. No dia 31, volta a obter-se uma subida na produção de metano, esta que se pode verificar como uma subida ligeira na curva presente no gráfico da ue se deveu a uma nova alteração nas características da mistura, com adição de efluente de matadouros e maçã o que elevou um pouco a carga da mistura e se traduziu neste aumento de produção de metano apesar da diminuição, também bastante pequena, de caudal introduzido no digestor.

Uma vez realizada a análise relativamente à produção de metano é também relevante avaliar as alterações em termos de produção de lamas.

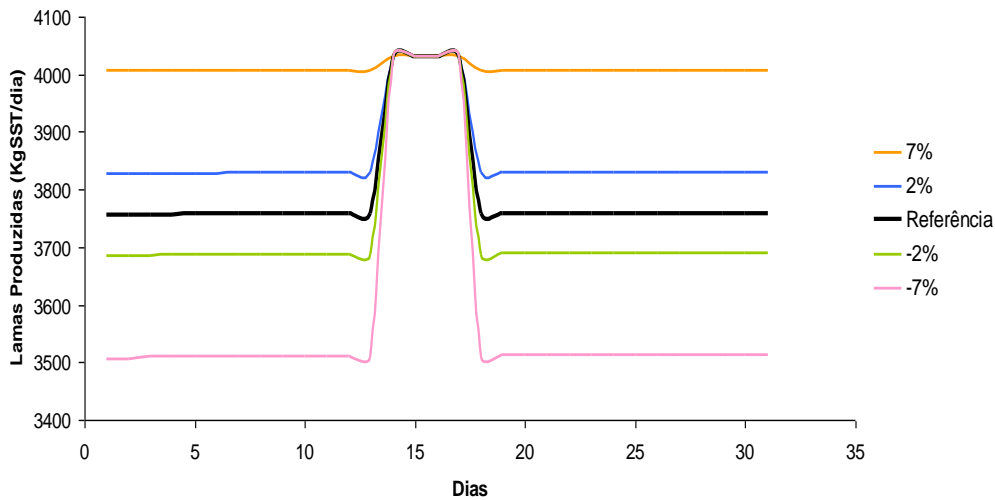


Figura 47 – Produção de Lamas de acordo com as variações feitas a nível do caudal

A produção de lamas está directamente relacionada com as características dos efluentes que vão ser digeridos, sendo que neste caso, os efluentes que apresentam menor potencial metanogénico apresentam também menor produção de lamas. No entanto analisando as curvas da Figura 47, pode-se concluir que tem estreita relação com os caudais adicionados de suinicultura. Pode-se verificar que apesar das características diferentes das misturas que são adicionadas ao digestor no caso da adição de +7% e +2% de caudal suinícola ao digestor a produção de lamas se mantém relativamente constante. Apesar de no segundo caso haver uma ligeira subida de produção de lamas no dia 7, que apesar de ter havido diminuição de caudal secundário introduzido no digestor a mistura ficou mais carregada levando a um aumento de produção de lamas.

No caso de adição de -2% pode-se verificar um ligeiro aumento de produção de lamas no dia 4, devido à mistura ter ficado mais carregada. Tal como aconteceu no caso anterior, este aumento de produção de lamas coincide com uma redução bastante acentuada de caudal secundário introduzido no digestor. Este facto repete-se no dia 19, no qual houve nova alteração nas características da mistura, e o caudal foi novamente diminuído.

Pode-se assim concluir que, apesar do caudal introduzido no digestor seja preponderante para a produção de lamas, quanto mais caudal introduzido maior é a produção, no caso de haver a digestão com co-substratos esta lógica altera-se um pouco, uma vez que o caudal por vezes é menor havendo um aumento, por muito pouco que seja, de produção de lamas.

Relativamente ao caso em que a adição de efluente suinícola foi diminuído 7%, a situação é idêntica ao já referido. Por duas vezes ocorreu aumento da produção de lamas e em ambos os casos este aumento deveu-se a um aumento de carga, em SST, na mistura que deu entrada no tanque. Também em ambos os casos este aumento se verificou quando houve diminuição de caudal secundário introduzido no digestor.

Após esta análise torna-se então bastante claro que, as variações que se fazem sentir no caudal de efluente suinícola que dá entrada no digestor é francamente compensada pela variação que se dá, conseqüentemente, na variação de adição de efluente secundário ao digestor. Este facto permite concluir que, apesar de muitas vezes a capacidade do digestor não ser totalmente preenchida em termos de caudal, traduz-se em resultados bastante equivalentes que são compensados pelo potencial metanogénico não muito inferior em alguns casos, de alguns dos efluentes secundários presentes na mistura.

É também de extrema relevância referir que, as variações que se fazem sentir nunca são muito acentuadas, porque o efluente suinícola é o efluente principal e tem quase a totalidade de representatividade no digestor, apresentando também a maior produtividade específica de todos os efluentes co-digeridos.

Pode-se no entanto concluir que, as variações de caudal não são a principal razão de alteração dos valores de produção de metano e lamas, sendo sim as características dos efluentes que são adicionados ao digestor o factor principal para estas alterações.

Apesar de em termos de produção de metano no processo de digestão não aumentar com a adição de substrato, não significa que os co-substratos não sejam melhores produtores de metano do que os efluentes suinícolas. Devido a este facto, optou-se por fazer a análise à produção de metano e lamas, comparando em termos de volume, isto é, para o mesmo volume de cada efluente, quais os resultados obtidos. O mesmo foi efectuado relativamente à produção de lamas, Figura 48.

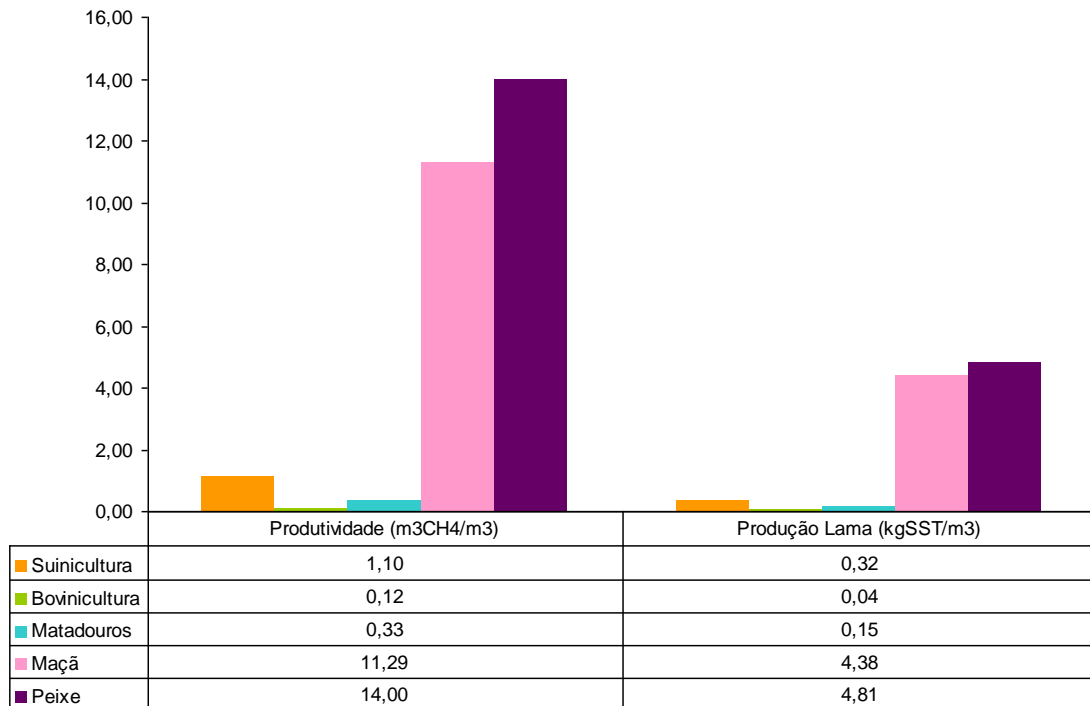


Figura 48 – Gráfico comparativo da produtividade e produção de lamas por tipo de efluente

Esta análise é relativa apenas a 1m³ dos diferentes efluentes, sendo que, tendo em conta primeiramente, apenas a produtividade, pode-se verificar que o efluente que apresenta maior produtividade é o proveniente de indústrias transformadoras de peixe, seguido do efluente de maçã. O que apresenta menor produtividade é o efluente proveniente das explorações bovinas, sendo que os efluentes provenientes de matadouros também não apresentam uma produtividade muito elevada. Assim, analisando apenas este factor, pode-se concluir que os efluentes mais rentáveis serão os de peixe e maçã. No entanto, e como já foi referido, é também bastante importante avaliar a produção de lamas associada a cada um dos efluentes. Como se pode verificar, os efluentes que neste caso se revelam mais produtivos em termos de metano, também o são em termos de produção de lamas, devido a serem bastante carregados, neste caso em SST.

Desta forma, pode-se concluir que existem efluentes, que foram co-digeridos, que apresentam maior produção de metano por m³ do que o efluente suinícola.

Para que seja possível avaliar o efeito da junção do efluente suinícola com cada um dos outros, estes casos estão apresentados nas figuras abaixo apresentadas.

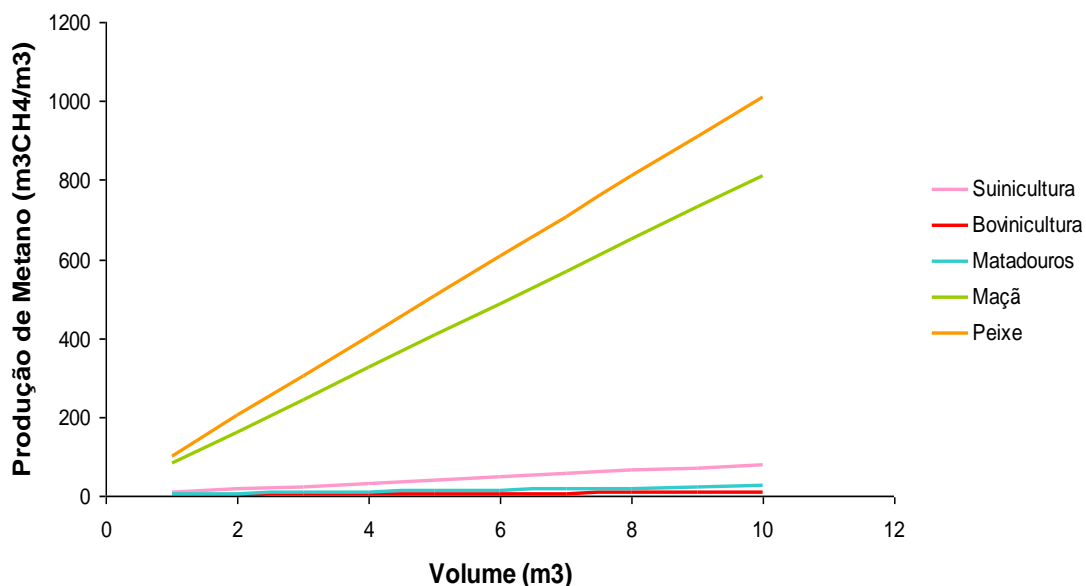


Figura 49 – Gráfico comparativo da produtividade por tipo de efluente por m³

Na Figura 49, pode-se observar a produções de metano referente a cada efluente, fazendo variar o caudal para todos eles de 1 a 10m³. Desta forma, como já tinha sido observado no gráfico da Figura 48, o efluente que apresenta maior produção de metano por m³, é o proveniente de indústria transformadora de peixe, sendo o que apresenta menor produtividade, o proveniente de boviniculturas.

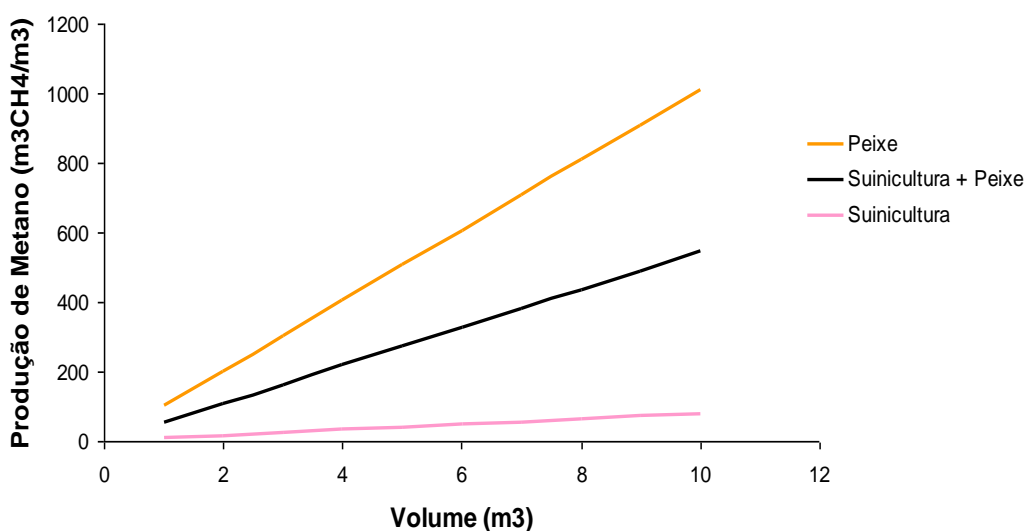


Figura 50 – Gráfico comparativo da produtividade do peixe e do efluente suinícola

Relativamente à junção do efluente suinícola, $0,5\text{m}^3$, com o proveniente da indústria exploradora de peixe, $0,5\text{m}^3$, pode verificar-se que existe um aumento da produção de metano comparativamente à adição de 1m^3 de efluente suinícola, Figura 50. Este facto acontece devido à produção de metano do peixe por m^3 ser cerca de 100 vezes superior à do efluente suinícola.

O mesmo comportamento verifica-se relativamente à maçã, que por m^3 , apresenta também valores de produção de metano bastante superiores aos do efluente suinícola isoladamente, como se pode verificar na Figura 51.

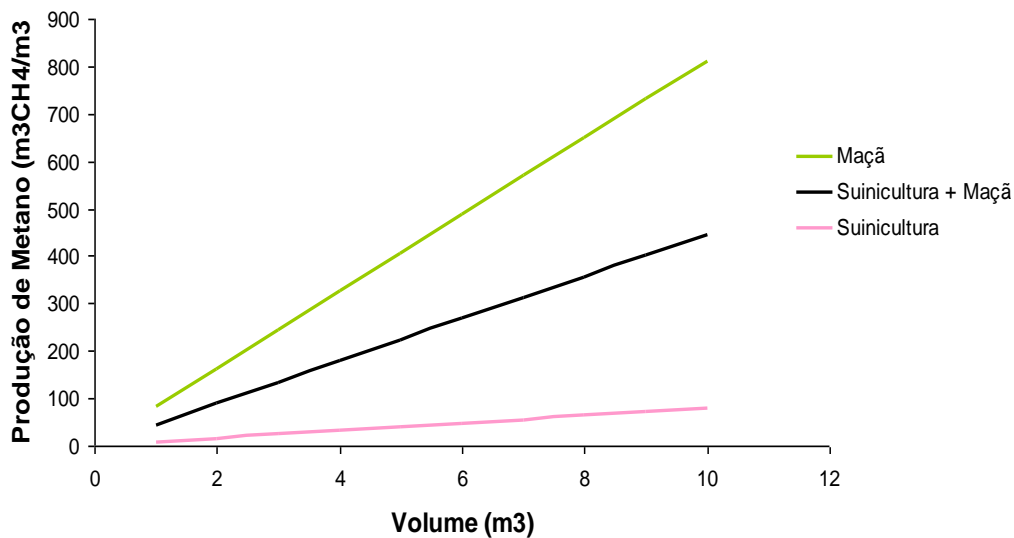


Figura 51 – Gráfico comparativo da produtividade da maçã com o efluente suinícola

No entanto, quando esta comparação é efectuada com efluentes que apresentam menor produção de metano do que o efluente suinícola, o comportamento é inverso, Figura 52.

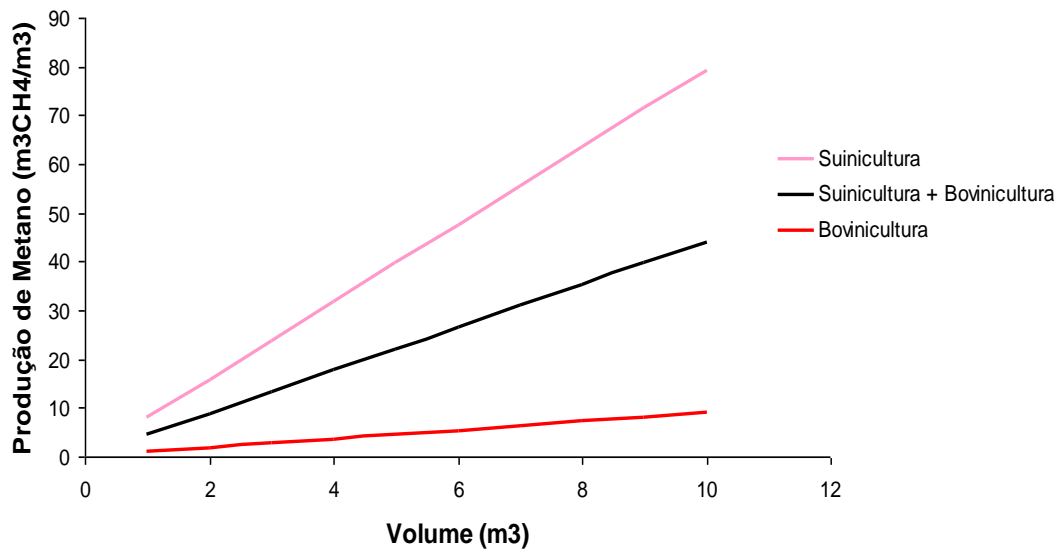


Figura 52 – Gráfico comparativo da produtividade da bovinicultura com o efluente suinícola

Como se pode verificar, a adição de 1m³ de efluente suinícola ao digestor produz bastante mais metano do que a adição do mesmo volume de efluente proveniente de boviniculturas. Desta forma, quando se faz a junção de ambos, a produtividade diminui comparativamente à que se verifica do efluente suinícola isoladamente.

A mesma situação se verifica para o efluente proveniente de matadouros, dado que também possui produção de metano inferior à existente relativamente ao efluente suinícola, Figura 53.

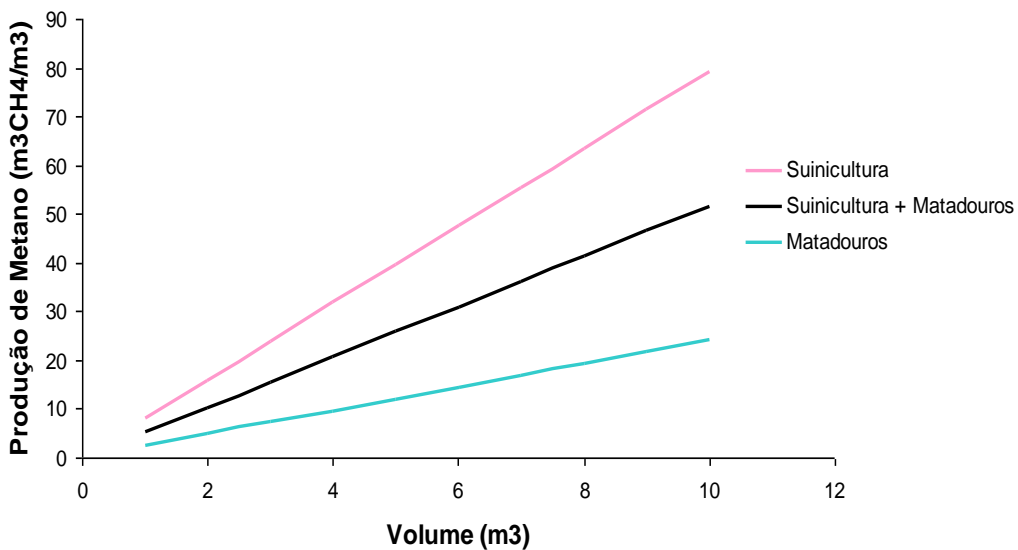


Figura 53 – Gráfico comparativo da produtividade de efluente proveniente de matadouros com o efluente suinícola

Desta forma, pode-se concluir que, apesar da adição destes co-substratos não se ter traduzido numa melhoria de produção de metano no processo de co-digestão simulado, através desta análise é possível determinar que a junção de certos efluentes com o suinícola, provocam um aumento de produção de metano, para a mesma cubicagem.

9 Análise Custo/Benefício

Após a análise da produção de metano e de lamas é de extrema importância fazer a avaliação em termos de custos e receitas gerados a partir destes produtos da digestão. Com uma análise custo benefício é possível fazer alguns ajustes ao modelo operacional da ETES, balançando entre as tarifas de recepção, os custos de desidratação e deposição em aterro das lamas e também da receita gerada a partir da venda de energia eléctrica. Em termos de energia eléctrica, esta é vendida depois de utilizada a necessária na instalação, o objectivo é então fazer a análise que permita avaliar quais os lucros brutos obtidos em cada mês. É também analisada a energia térmica produzida, no entanto como este tipo de energia não é vendável, a análise vai ser feita em termos de quais as necessidades para aquecimento das lamas e do digestor, o que só ocorre no Inverno, e qual a energia que é produzida mensalmente para fazer o balanço.

Assim, optou-se também por integrar nesta análise os valores referentes às variações de caudal de efluente suinícola efectuados no ponto de análise de sensibilidade, de forma a ser possível chegar a alguma conclusão de qual das opções abordadas neste trabalho pode surgir como melhor opção de gestão.

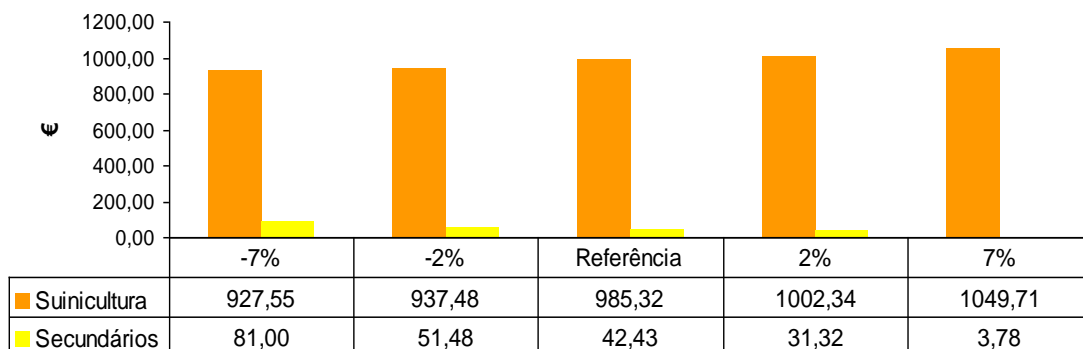


Figura 54 – Receita da venda de energia eléctrica a partir da produção de metano

Em termos de energia eléctrica, analisando separadamente a que é proveniente da produção de metano apenas do efluente suinícola e de efluente secundário separadamente, como seria de esperar à medida que o caudal adicionado ao digestor de efluente suinícola aumenta, as receitas associadas ao efluente suinícola aumenta sendo o comportamento das receitas obtidas associadas ao efluente secundário inversamente proporcional. No entanto, na Figura 55, pode-se observar os totais em cada uma das situações apresentadas.

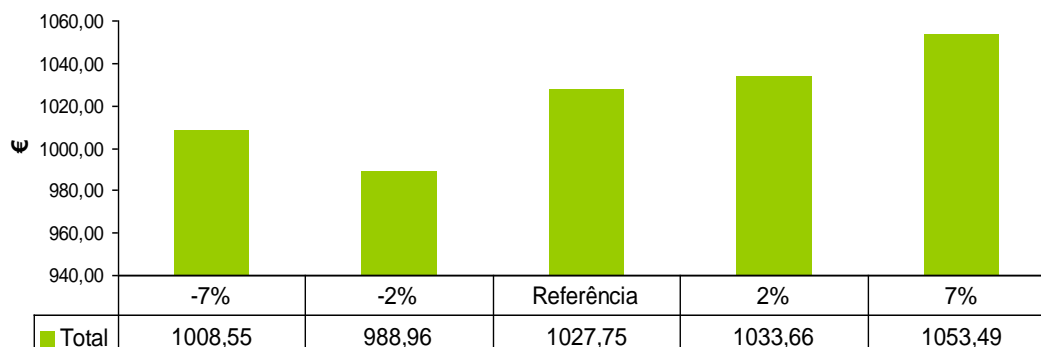


Figura 55 – Valores totais de valor de energia eléctrica

De todas as hipóteses testadas a que se revela menos rentável, é onde se adiciona menos 2% de efluente suinícola ao digestor. Este facto possivelmente ocorre devido à diminuição do caudal de efluente suinícola não ter sido muito considerável, tendo sido a folga deixada para adição de efluente secundário bastante pequena aliando ao facto de os potenciais metanogénicos dos efluentes secundários serem inferiores ao de suinicultura. Por esta mesma razão, no caso de adição de -7%, os valores já se verificam mais elevados, apesar de inferiores aos casos em que se adicionou mais caudal de suinicultura. Assim, neste caso, apesar do rendimento eléctrico proveniente do efluente suinícola ter sido bastante reduzido, permitiu que houvesse a adição de caudais mais significativos de efluente secundário o que permitiu a obtenção de valores mais elevados do que no caso descrito anteriormente.

Para além das receitas geradas a partir da energia eléctrica proveniente da produção de metano, existem ainda receitas inerentes às tarifas de recepção dos diferentes efluentes. As tarifas admitidas neste estudo foram de 3,5€ para o efluente suinícola e de 8€ para cada um dos restantes efluentes.

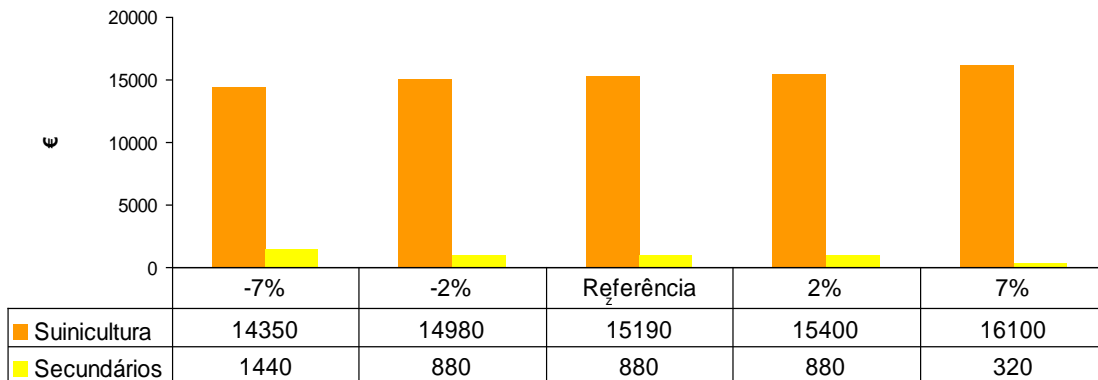


Figura 56 – Receitas obtidas através das tarifas de recepção

Como se pode verificar através da análise da Figura 56, as tarifas referentes à recepção de efluente suinícola aumentam à medida que a sua adição ao digestor também aumenta. A gestão da recepção deste efluente é um pouco diferente de acordo com o que se adiciona ao digestor, considerou-se sempre que o tanque de armazenamento de efluente suinícola estava a receber efluente diariamente e que a capacidade do tanque era em maior parte dos dias suplantada. Desta forma, é natural verificar que a tarifa referente a este efluente aumente à medida que o caudal adicionado ao digestor também aumenta. Por outro lado seria também normal que o comportamento relativamente aos efluentes secundários seguissem um padrão inversamente proporcional, no entanto não é exactamente isto que se verifica. No caso de ocorrer maior adição de efluente secundário ao digestor, -7%, e como já foi referido a recepção de efluentes suinícolas no tanque de armazenamento foi bastante superior ao que aconteceu no resto dos casos, uma vez que foi necessário fazer cinco adições em detrimento das três e uma que se verificaram no resto dos casos. Assim, é normal que as tarifas referentes aos efluentes secundários neste caso sejam bastante superior ao que se verifica nos restantes. Na mesma linha de pensamento, o mesmo ocorre no caso em que se dá a menor adição de efluente secundário ao digestor, +7%, uma vez que o caudal de efluente secundário era tão diminuto que apenas foi necessário proceder a uma recepção destes efluentes. Seria assim expectável obter o valor menor que se verifica.

No entanto, no caso utilizado como referencia e no caso de adição de +/- 2% de caudal de efluente secundário ao digestor, as tarifas apresentam-se idênticas uma vez que foi necessário exactamente o mesmo número de recepção de efluentes secundários. Desta forma, e como foi referido no ponto da análise de sensibilidade, a gestão de recepção de efluentes secundários manteve-se, na medida do possível,

sempre igual, ou pelo menos idêntica. Este facto suporta assim os valores iguais de tarifa obtidos nestes casos.

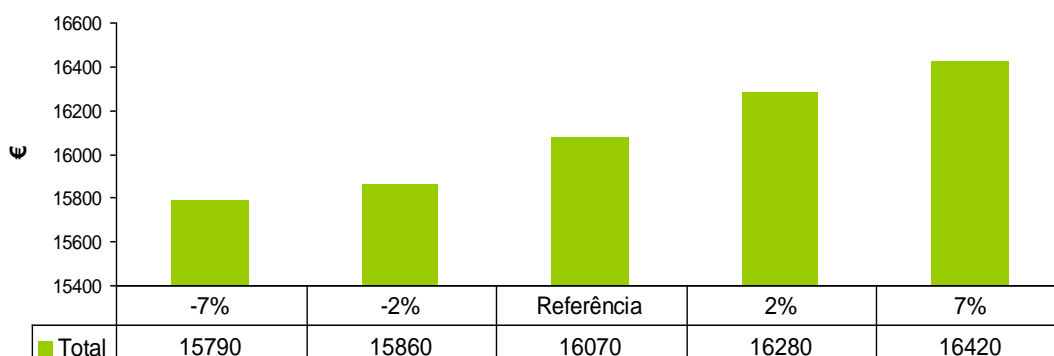


Figura 57 – Total das receitas provenientes das tarifas de recepção

Os resultados que se podem observar no gráfico da Figura 57, podem revelar-se um pouco enganadores da situação real. Isto é, o volume recepcionado de efluente suinícola é bastante superior do que o de efluentes secundário. Como já foi referido, a recepção de efluente suinícola foi realizada diariamente, enquanto que as de efluentes secundários variaram entre a uma e as 5 vezes. Assim, os resultados apresentados reflectem exactamente este facto, à medida que a adição de efluente suinícola ao digestor aumenta, aumenta também a necessidade da sua recepção, e como caudal inserido no digestor deste efluente varia entre os 120 e os 140 m³, é necessária a recepção diariamente de um elevado volume deste efluente, sendo a sua tarifa total bastante superior à que se verifica dos efluentes secundários.

Para além das receitas geradas é também necessário fazer a abordagem relativamente aos custos associados à desidratação e deposição em aterro das lamas.

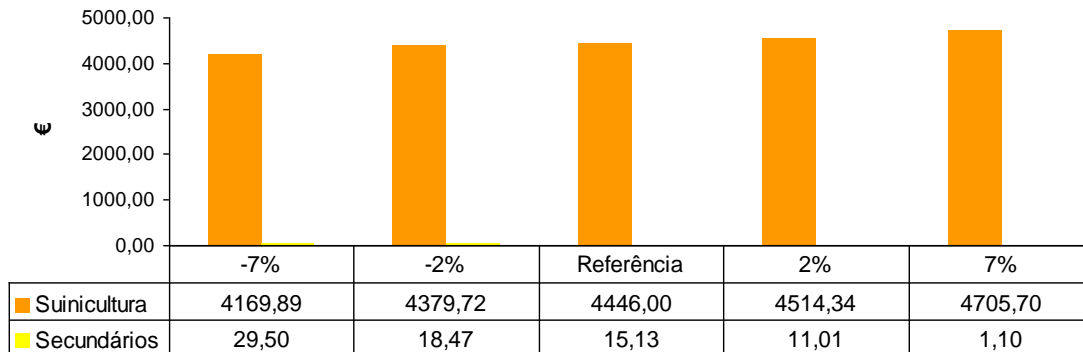


Figura 58 - Custos associados à desidratação e deposição das lamas em aterro

Dado que, a adição de efluente suinícola ao digester é prioritária e também maioritária os custos de tratamento das lamas é bastante superior neste caso do que relativamente aos efluentes secundários. Assim, pode-se verificar que à medida que a adição de efluente suinícola ao digester foi aumentando os custos associados ao tratamento das lamas aumento, sendo que o comportamento dos custos associados ao efluente secundário segue o trajecto contrário.

Relativamente aos custos avaliados em separado isto é, os custos de desidratação e de deposição em aterros estão apresentados na Figura 59.

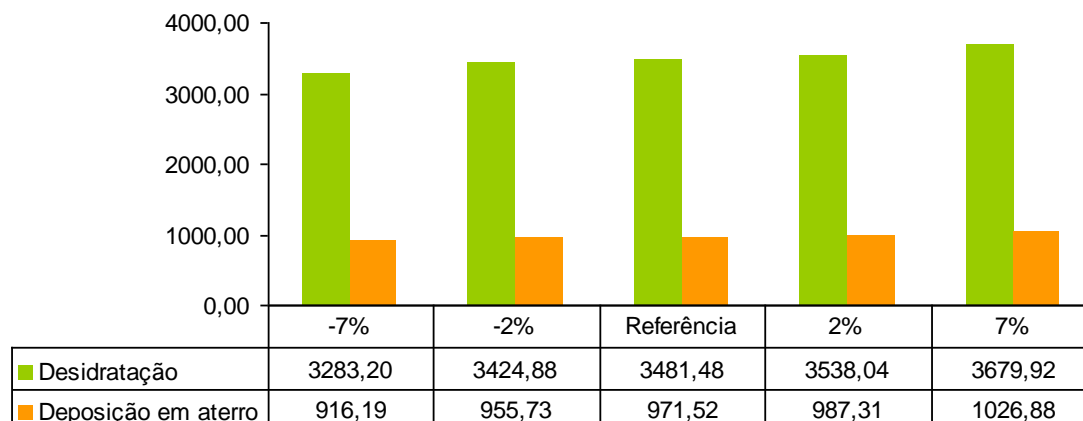


Figura 59 – Custos diferenciados de tratamento de lamas

Os custos associados à desidratação das lamas são bastante superiores aos associados à deposição em aterro. Relativamente às diferenças entre as diferentes situações testadas, pode-se verificar que o padrão é de aumento tanto de um custo como de outro à medida que vai aumentando a entrada no digester de caudal de efluente suinícola. No entanto o aumento não é linear, o que acontece devido à adição

de efluentes secundários com características diferentes e com maior produção de lamas nos diferentes casos, em proporções diferentes, sendo que em alguns casos as características da mistura é também diferente, no caso por exemplo de -7%.

Na Figura 60, estão apresentados os custos totais de tratamento das lamas, de acordo com as variações de caudal.

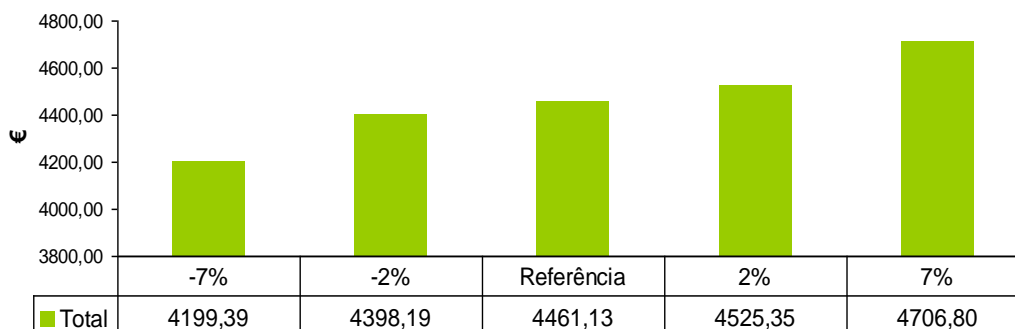


Figura 60 – Custo Total associado ao tratamento de lamas

Através da análise deste gráfico é possível, de forma sucinta, concluir o que os gráficos anteriores permitiram avaliar. À medida que foi aumentado o caudal de suinicultura a dar entrada no digestor os custos totais associados ao tratamento das lamas foi aumentando.

De forma resumida, no gráfico da Figura 61, estão apresentados todos os custos e receitas, bem como o lucro associado a cada um dos casos estudados.

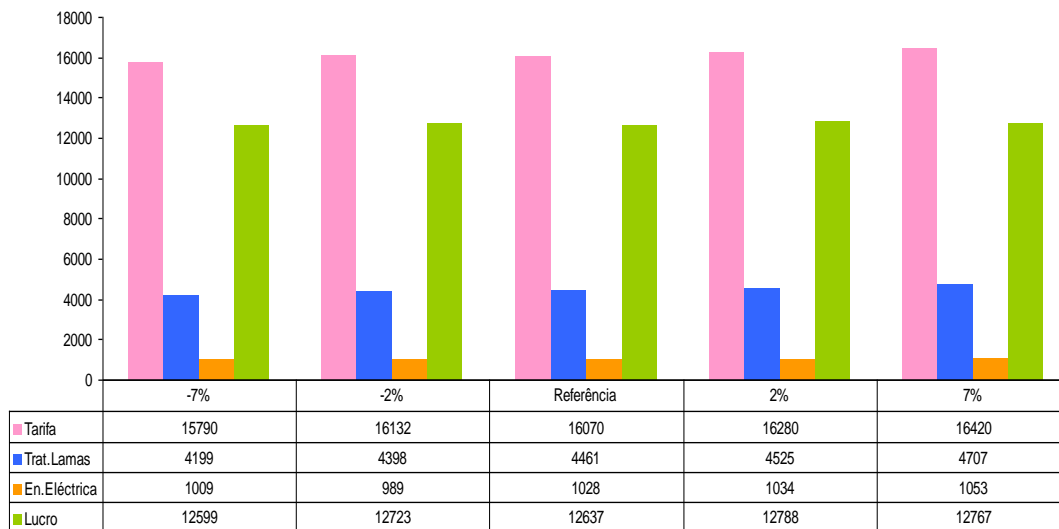


Figura 61 – Receitas e Custos associados a cada uma das situações

Como se pode verificar, de todas as situações estudadas a que se revela como tendo mais lucro associado é a referente a mais 7% de adição de caudal de efluente suinícola.

Uma vez que a análise das receitas e custos gerados durante o processo de tratamento destes efluentes foi avaliada em termos do que dava entrada no digestor, os valores por vezes podem tornar-se um pouco dúbios no que diz respeito, por exemplo, aos valores obtidos em termos do efluente suinícola, que como se verificou em termos de tarifa revela valores muito superiores aos demais devido ao volume recepcionado ser bastante superior.

Assim, optou-se por fazer a avaliação das receitas e custos gerados considerando cada efluente singularmente, relativamente a 1m^3 , Figura 62.

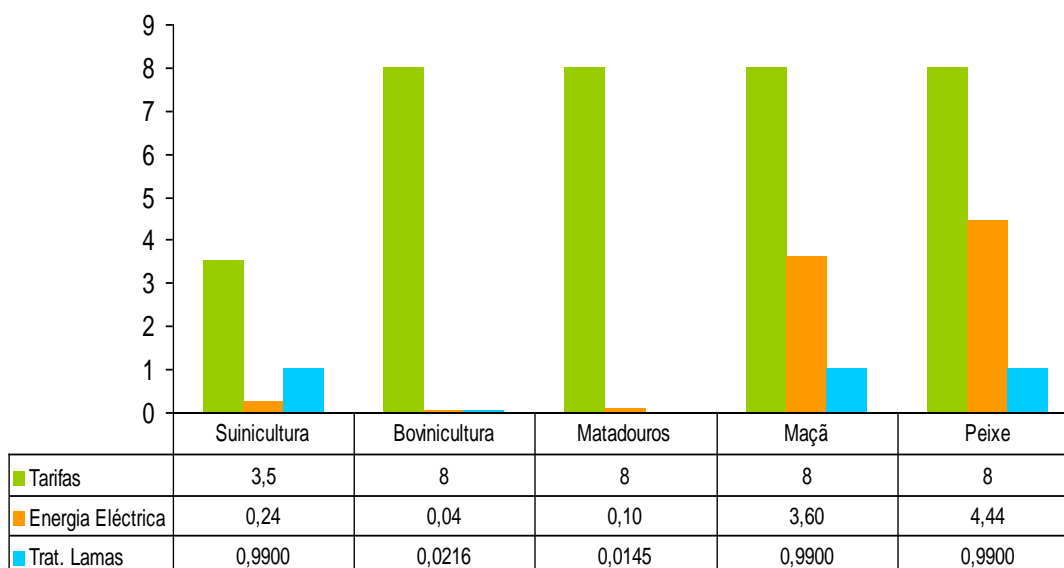


Figura 62 – Custos e receitas geradas a partir de cada um dos efluentes

Analisando cada efluente independentemente, as conclusões que podem ser tiradas são um pouco diferentes das que se obtém quando a avaliação é feita num conjunto. Em termos de tarifas, as diferenças não são acentuadas porque apenas o efluente suinícola apresenta um valor diferente. No entanto, começando por avaliar a receita proveniente da energia eléctrica produzida, pode-se verificar que existem grandes diferenças. À semelhança do que já tinha sido referido no ponto das entregas, o efluente que produz mais metano e conseqüente energia eléctrica é o proveniente da indústria do peixe, sendo que a produção de metano e lamas é também mais elevada do que a de bovinicultura e matadouros. O efluente proveniente da indústria da maçã revela-se também um bom produtor de metano sendo que a produção de lamas se equipara à dos resíduos de peixe. Estes dois efluentes são os que apresentam carga em termos de SSV superior à do efluente suinícola, sendo que conseqüentemente a produção de metano e a receita gerada pela venda de energia eléctrica é bastante superior à do efluente prioritário. Por outro lado, os resíduos provenientes de matadouros e de boviniculturas apresentam um potencial metanogénico inferior ao do efluente suinícola, representando assim uma fatia bastante inferior de receitas em termos de venda de energia eléctrica. No entanto, estes efluentes têm uma mais valia que se prende com o facto de produzirem poucas lamas. No entanto, os efluentes provenientes de matadouros representam um efluente mais rentável do que os de bovinicultura.

Após a avaliação independente dos custos e receitas geradas através dos produtos da digestão relativamente a todos as situações exploradas no decorrer deste trabalho, fez-se a avaliação para o caso referência em modos gerais.

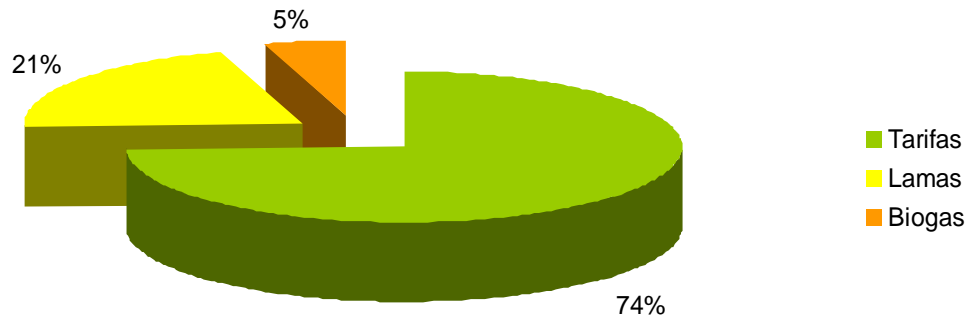


Figura 63 – Custos e Receitas Totais gerados de acordo com a fonte, tarifa, energia eléctrica e tratamento de lamas

Através da análise do gráfico da Figura 63, pode-se concluir que maior parte das receitas geradas provem das tarifas de recepção de efluente, sendo que a venda de energia eléctrica também se traduz numa grande fatia de receita.

No entanto, é importante avaliar o total de receitas e custos de forma a obter o valor de lucro que resulta no final de cada mês de exploração.

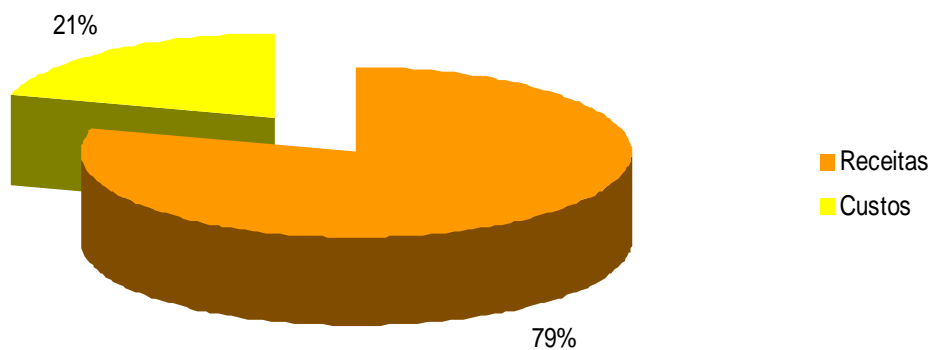


Figura 64 – Total de receitas e custos

As receitas obtidas, em grande parte devido às tarifas, são bastante superiores aos custos associados ao tratamento de lamas. Desta forma, conclui-se desde já que o lucro associado ao mês de exploração testado e designado com referência será bastante elevado.

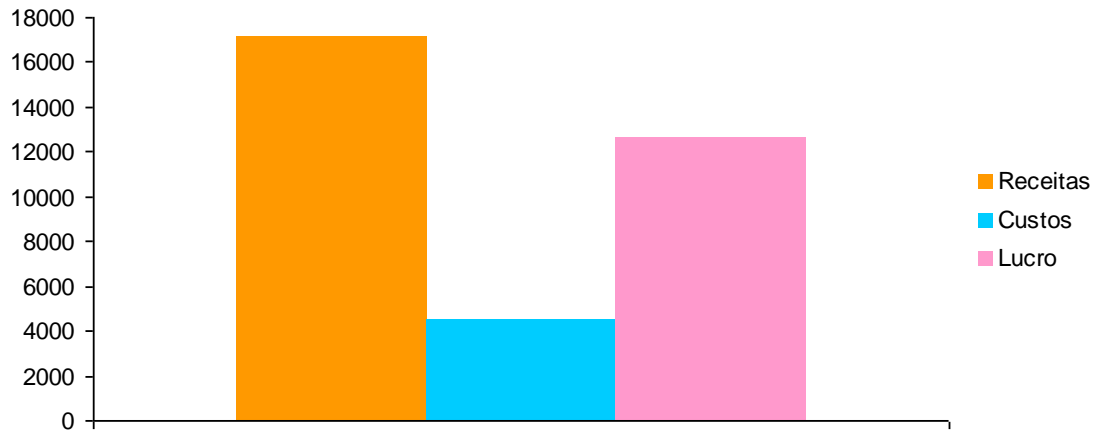


Figura 65 – Receitas e custos gerados através da venda de energia eléctrica e do tratamento de lamas

Como já se esperava o valor de lucro é bastante considerável, representando cerca de 12 800€, sendo o valor total de receitas de 17 300€ e os custos 4 500€.

Existe ainda um outro produto que resulta da produção do metano que é a energia térmica. Esta energia ao contrário da energia eléctrica não é vendável e por isso a análise da sua produção vai ser feita em termos do que é gerado a partir do efluente suinícola e do efluente secundário separadamente e analisado o total de energia térmica que é gerada no processo de digestão, relativamente a todas as situações abordadas em termos de variação do caudal de efluente suinícola que é adicionado ao digestor, +/-7%, +/-2% e a situação de referência. Posteriormente é efectuada a análise, comparando as necessidades térmicas que a instalação terá com os valores que são obtidos na situação de referência.

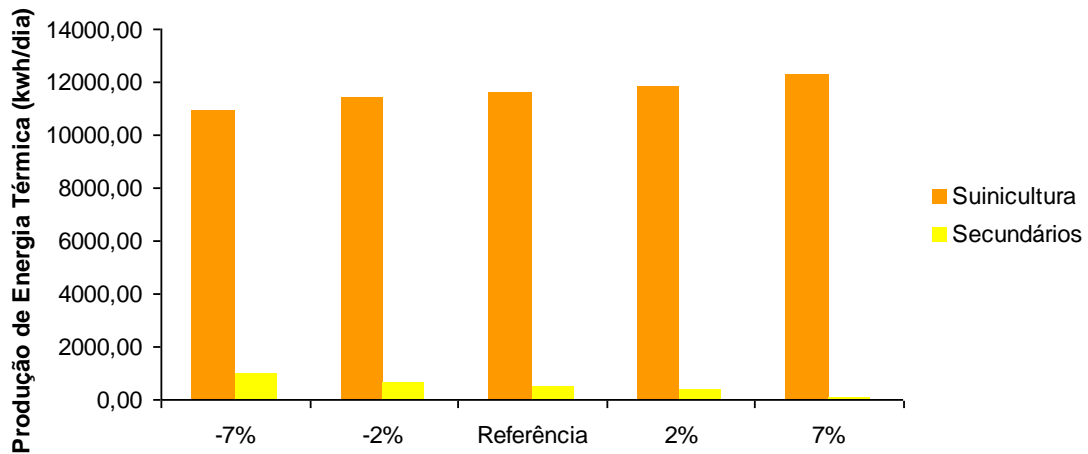


Figura 66 – Produção de energia térmica de acordo com o efluente

O padrão que se observa no gráfico da Figura 66, segue um pouco os já vistos, por exemplo na produção de energia eléctrica. À medida que o efluente de suinicultura aumenta no digestor a obtenção de energia térmica aumenta também, sendo que relativamente ao efluente secundário o comportamento é inverso.

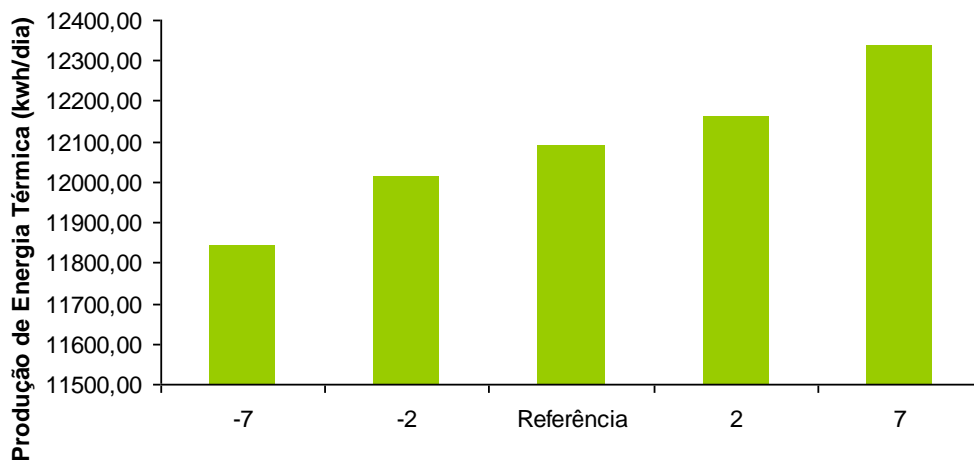


Figura 67 – Produção total de energia térmica

De acordo com o observado na figura anterior, a obtenção de valores mais elevados de energia eléctrica ocorrem quando o caudal de efluente suinícola aumenta.

Finalmente, é importante avaliar qual a produção de energia térmica no decorrer do mês de exploração, no caso de referência, e qual a representatividade em termos do total de energia térmica necessária na exploração da ETES.

O aquecimento das lamas, vai-se fazer apenas nos meses de Inverno em que existe a impossibilidade de garantir que a temperatura do digestor se mantém. A necessidade

térmica mensal da ETES é de 192 324kwh, sendo que a produção mensal obtida, avaliando apenas o caso de referência, é de 12 100kwh. Assim, pode-se concluir que a energia térmica gerada não é suficiente para garantir a auto-gestão da ETES, neste ponto, sendo necessário recorrer a uma fonte externa de energia, que poderá ser da rede, ou pode ser aproveitada a energia eléctrica produzida também no decorrer deste processo.

Esta poderá ser uma óptima opção, no entanto é preciso avaliar as necessidades de energia eléctrica da instalação para ser possível determinar se a energia eléctrica produzida é suficiente para transformar a ETES numa instalação auto-suficiente.

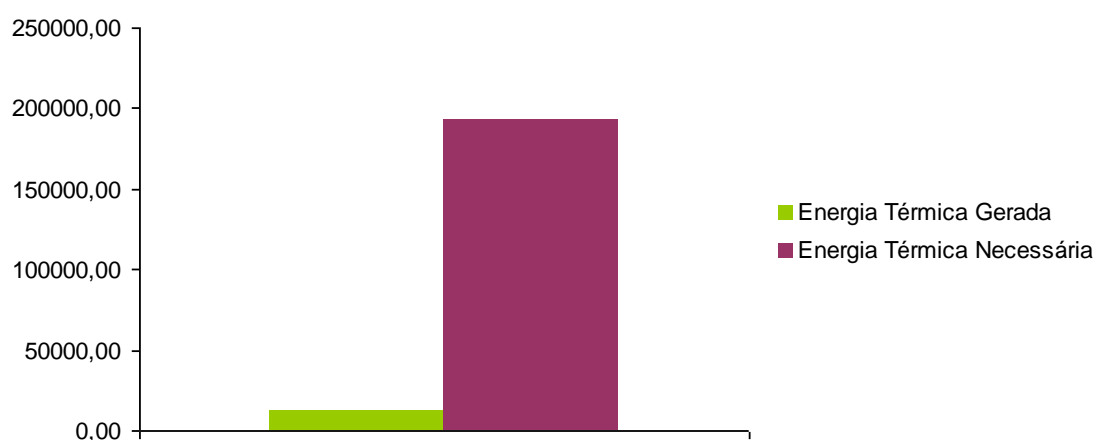


Figura 68 – Energia térmica gerada no processo e necessária para manutenção da ETES

Como se pode verificar, ainda é necessária bastante energia térmica para o aquecimento do digestor, representando a energia gerada no processo cerca de 6% da totalidade.

9.1 Sugestão de Tarifas a aplicar

Uma das primeiras utilidades que este modelo poderá ter, é no estabelecimento de tarifas de recepção de efluentes mais justas. Isto é, no decorrer deste trabalho foi assumido que todos os efluentes secundários seriam taxados da mesma forma, independentemente das suas características, mais ou menos benéficas para o tratamento. No entanto, após a análise efectuada às produções de lamas e metano é possível ter alguma base de comparação e diminuir o preço da tarifa para os efluentes que representem melhores características em termos de maior produção de metano e menor produção de lamas simultaneamente, ou apenas maior produção de metano,

sendo que os efluentes com as características diversas serão taxados com valores mais elevados.

É no entanto importante referir que, apesar de existirem efluentes mais rentáveis que o suinícola, o seu preço de recepção nunca será inferior aos deste efluente, uma vez que a instalação foi concebida para que sejam tratados os efluentes suinícolas e faz parte de um plano em que os próprios produtores de suínos são integrados.

Desta forma foram sugeridas tarifas de acordo com dois pressupostos diferentes:

1. Efluente com maior produção de metano e menor produção de lamas
2. Maior produção de metano

Para a obtenção dos valores de tarifas de acordo com o primeiro pressuposto, foi feita a razão entre produção de metano e produção de lamas de forma a perceber qual a relação entre eles. Assim, quanto maior a relação obtida melhor será o efluente, uma vez que apresentará uma maior produção de metano e uma menor produção de lamas, Quadro 20.

Quadro 20 – Relação entre a produção de metano e lamas	
Efluente	Relação
Bovinicultura	24,67
Matadouros	21,94
Maçã	16,00
Peixe	18,54

Ao contrário do que possivelmente seria de esperar, o efluente que se demonstra mais rentável é o proveniente da bovinicultura, que apresenta maior relação. Apesar de entre todos os efluentes ser o que produz menos biogás é também o que apresenta menor produção de lamas. Assim sendo a ordem de rentabilidade dos efluentes é a seguinte:

Bovinicultura > Matadouros > Peixe > Maçã

Desta forma, as tarifas que poderás ser mais justas de acordo com este critério são as apresentadas no Quadro 21.

Quadro 21 – Tarifa proposta de acordo com o primeiro pressuposto

Efluente	Tarifa (€)
Bovinicultura	6,00
Matadouros	7,40
Maçã	8,00
Peixe	7,70

De acordo com o segundo pressuposto foi necessário recorrer a uma escala logarítmica para ser possível estabelecer comparação entre os valores, uma vez que estes são bastante díspares.

Segundo este critério, a ordem de rentabilidade dos efluentes seria a seguinte:

Peixe > Maçã > Matadouros > Bovinicultura

Utilizando este critério as tarifas sofreram mais alterações e será mais díspares entre si, uma vez que as produtividades dos efluentes são bastante diferentes, assim as tarifas propostas de acordo com este pressuposto são as apresentadas no Quadro 22.

Quadro 22 – Tarifa proposta de acordo com o segundo pressuposto

Efluente	Tarifa (€)
Bovinicultura	8,00
Matadouros	7,70
Maçã	6,15
Peixe	6,05

Com qualquer destes pressupostos aplicados, o preço das tarifas ficam mais justos de acordo com as características dos efluentes, no entanto é necessário primeiro serem estabelecidas prioridades para que a tarifa seja aplicada de acordo com o critério que tiver mais importância e resultados positivos aquando da exploração da ETES.

10 Conclusões

Após a elaboração deste trabalho, pode concluir-se que, este tipo de modelos podem vir a ser uma ferramenta bastante útil na gestão de vários efluentes.

Com este modelo, torna-se mais fácil avaliar quais os efluentes que se pretende recepcionar de acordo com as suas características e com o que resulta da sua adição ao digestor, principalmente em termos de produção de lamas e lamas.

Desta forma, torna-se mais eficaz a articulação entre os exploradores das instalações de tratamento e os produtores de cada tipo de efluente que dará entrada no sistema de tratamento. Fica também mais fácil o ajuste das tarifas, uma vez que à partida pode ser feita a análise do que cada efluente produzirá quer em termos de metano quer de lamas. Para além destes factores, estes modelos podem fazer com que todo o processo decorra de uma forma mais rápida, uma vez que ficam registados todos os valores que dão entrada e saída do sistema, sendo também contabilizados automaticamente os volumes disponíveis nos órgãos à cabeça da digestão, que fazem a alimentação do digestor, bem como controla se existem excedências de cargas ou caudais de acordo com o que o utilizador pretende fazer.

Este modelo pretende ser uma ferramenta útil na optimização de produção de metano quando existe a adição de vários co-substratos. Neste sentido, pode-se concluir que, de acordo com o exemplo explorado, designado como referência, as maiores produções de metano são obtidas quando existe maior adição de caudal de efluente suinícola, sendo que quando existe uma folga devido a uma menor adição deste caudal existe a possibilidade de adicionar outros efluentes. No entanto, a produção de metano nunca atingiu os valores obtidos aquando da digestão singular do efluente suinícola sendo que em todos os casos foram obtidos os valores óptimos de acordo com a mistura presente no tanque de armazenamento de efluentes secundários.

A não obtenção de valores de produção de metano idênticos ou superiores aos verificados com o efluente suinícola singularmente, deve-se ao facto de a adição de efluente secundário ao digestor estar limitado pela folga de carga existente e os efluentes secundários apresentarem todos, produtividade específica inferior ao efluente suinícola. Desta forma, para a mesma carga de SSV torna-se mais rentável em termos de produção de metano a adição do efluente com maior produtividade específica, neste caso o suinícola. No entanto, apesar de não se terem verificado valores superiores de produção de metano com a co-digestão, avaliando esta produção em termos de cubicagem, pode-se concluir que as diferenças são bastante significativas, sendo que a junção de efluente suinícola com o proveniente de fábricas transformadoras de peixe se revela num aumento bastante grande da produção de

metano. O mesmo se verifica com o efluente de maçã, sendo que no caso da bovinicultura e matadouros, uma vez que a sua produção em termos do mesmo volume é inferior à do efluente suinícola, levando a uma diminuição da produção de metano.

Através da análise de sensibilidade ao modelo, pode-se concluir que à medida que o caudal adicionado ao digestor aumentava, levando também ao aumento da produção de metano e de lamas. Existe ainda um factor bastante importante que é o facto de o caudal secundário adicionado ao digestor é uma mistura de todos os efluentes que estão dentro do tanque de armazenamento de efluentes secundários e as suas características são preponderantes para um aumento da produção de metano. Casos houve, em que uma diminuição drástica do caudal secundário introduzido no tanque não se traduziu em nenhuma alteração em termos de metano. Verificou-se também, em alguns pontos, que a diminuição do caudal introduzido no digestor se traduzia numa maior produção de metano.

Com a análise custo benefício, foi possível avaliar quais as receitas e custos gerados ao longo do processo e conseqüentemente obter o lucro correspondente. Assim, para todos os casos da análise de sensibilidade foi feita esta análise onde se pode concluir que o lucro ia subindo à medida que o incremento de caudal suinícola ia aumentando. A análise custo benefício, foi mais aprofundada para o caso referência donde se concluiu que as receitas provenientes das tarifas de recepção eram a grande parte. As receitas obtidas, 79%, foram francamente superiores aos custos de tratamento de lamas, 21%, o que conseqüentemente se traduziu num lucro bastante considerável, cerca de 12 300€. Será de extremo interesse avaliar quais os gastos totais da ETES, quando esta entrar em funcionamento, para concluir se a instalação pode ser auto-suficiente, não necessitando de recorrer à energia eléctrica da rede.

Para além da obtenção de energia eléctrica, há também a produção de energia térmica, sendo que esta não é vendável, concluiu-se que mensalmente a energia térmica gerada é cerca de 6% do total necessário para o aquecimento de lamas na ETES. Assim sendo, existe a possibilidade de utilizar a energia eléctrica gerada na ETES, evitando a necessidade de comprar energia à rede.

Dado que, este modelo pode ser bastante útil para a decisão das tarifas de recepção a aplicar aos diferentes efluentes, foram sugeridos dois conjuntos de tarifas partindo cada um deles de um pressuposto diferente. De acordo com o primeiro em que se pretendia valorizar a maior relação entre produção de metano e lamas, as tarifas seriam mais baixas para a bovinicultura, 6€, e mais caras para a maçã, 8€. Relativamente ao segundo pressuposto, a característica tida como mais importante foi

a produção de metano referente a cada efluente, sendo que neste caso a bovinicultura apresentaria a maior tarifa, 8€, e o resíduo proveniente do peixe a menor, 6,05€.

É de extrema relevância referir que os dados que são considerados como base deste modelo, são teóricos e os valores utilizados no capítulo de resultados e discussão, exemplo referência, são arbitrados. Assim sendo, o distanciamento da realidade pode ser bastante grande, havendo a necessidade de caracterizar os efluentes que se pretendem co-digerir previamente à utilização deste modelo. Se por um lado esta pode ser uma desvantagem deste modelo, a possibilidade de alterar estes valores sem que ocorra nenhuma anomalia no funcionamento do modelo, surge como uma vantagem, tendo também em conta a actualização de taxas de tratamento de lamas, tarifas de recepção, etc. Pode-se considerar que este factor é uma vantagem, uma vez que com esta possibilidade, pode haver recepção de mais co-substratos, bem como modificar os que estão agora definidos e permite que o modelo esteja sempre actualizado, isto é que sempre que haja alguma alteração em termos de valores de mercado o modelo pode ser actualizado.

Finalmente pode-se concluir que o modelo construído no decorrer deste trabalho apresenta algumas limitações, em termos de articulação de etapas e de pressupostos adoptados, que no futuro poderão ser melhoradas de acordo com as necessidades que surgirem na exploração das instalações.

11 Referências Bibliográficas

Agência Dinamarquesa de Energia, (1995).

Águas do Oeste (2001), Protocolo de cooperação para a despoluição das bacias hidrográficas dos rios real, arnóia e tornada.

AL-MASRI, M.R., (2001) Changes in biogás production due to different ratios of some animal and agricultural wastes, *Bioresource Technology*, 77, 97-100

ALVAREZ, R., LIDÉN, G., (2007) Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste, *Renewable Energy*, 33, 726-734

AMON, T., AMON, B., KRYVORUCHKO, V., ZOLLITSCH, W., MAYER, K., GRUBER, L., (2007). Biogas production from maize and dairy cattle manure—influence of biomass composition on the methane yield. *Agricultural Ecosystem Environmental* 118, 173–182.

ANGELIDAKI, I., ELLEGAARD, L., AHRING, B.K., (1993) A mathematical model for dynamic simulation of anaerobic digestion of complex substrates: focusing on ammonia inhibition. *Biotechnology and Bioengineering* 42, 159–166.

BATSONE, D.J., KELLER, J., NEWELL, R.B., NEWLAND, M., (2000). Modelling anaerobic degradation of complex wastewater. Part II: parameter estimation and validation using slaughterhouse effluent. *Bioresource and Technology* 75 (1), 75–85.

BRAUN (2002), Potential of Co-Digestion Limits and Merits

BROUGHTON, M.J., THIELE, J.H., BIRCH, E.J., COHEN, A., (1998). Anaerobic batch digestion of sheep tallow. *Water Research* 32, 1423–1428.

BRYANT, MP (1979) Microbial methane production – theoretical aspects. *J Anim Sci* 48: 193±201

BRABER, K., (1995) Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough. *Biomass and Bioenergy* 9 (1–5), 365–376.

CALLAGHAN, F.J., WASE, D.A.J., THAYANITHY, K., FORSTER, C.F. (1999) Co-digestion of waste organic solids: batch studies. *Bioresource Technology* 67, 117-122.

CAPELA, I., RODRIGUES, A., SILVA, F., NADAIS, H., ARROJA, L., (2007) Impact of industrial sludge and cattle manure on anaerobic digestion of the OFMSW under mesophilic conditions, *Biomass and Bioenergy*

CHEN Y., CHENG J.J., CREAMER K.S., (2008) Inhibition of anaerobic digestion process: A review, *Bioresource Technology*, 99, 4044-4064

CHYNOEETH, D.P.; OWENS, J.M.; LEGRAND, R., (2001). Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. *Renewable Energy*, 22, 1–8.

CLASSEN, P.A.M., VAN LIER, J. B., LOPEZ, C.A.M., VAN NIEL, E.W., SIJTSMA, J., STAMS, A.J.M.V., WEUSTHUIS, R.A., (1999). Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Applied Microbiology and Biotechnology* 52, 741–755.

COSTELLO, D.J., LEE, P.L., GREENFIELD, P.F., (1991). Dynamic modelling of a single-stage high-rate anaerobic reactor. I Model derivation. *Water Research*. 25 (7), 847±855.

CUETOS M., GÓMEZ X., OTERO M., MORÁN A., (2007) Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW), *Biochemical Engineering Journal*

DE BAERE L., (2000) *Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art*, *Water Science and Technology*, 41 (3), 283-290.

Decreto-Lei 149/2004 de 22 de Junho, transpõe o Decreto-lei 157/97 de 19 de Junho, referente ao tratamento de águas residuais urbanas.

DIAS, S., TEIXEIRA, E., LAIA, C., KROFF, P., NOGUEIRA, R., BRITO, A.G., (2008). Bio4gas: Evaluation and analysis of wastewater treatment facilities in the scope of biogas production maximization and energy production optimization. International Conference and Exhibition on Bioenergy, 6 a 9 de Abril de 2008, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

Directiva n.º 1999/31/CE, de 26 de Abril

Estratégia Nacional para os efluentes agro-pecuários e agro-industriais (ENEAPAI), 2007

European Biogas Workshop and Study Trip The Future of Biogás in Europe, (2007).

GALLERT, C., BAUER, S., WINTER, J., (1998) Effect of ammonia on the anaerobic degradation of protein by a mesophilic and thermophilic biowaste population. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 50, 495 - 501

GEBAUER, R., (2004). Mesophilic anaerobic treatment of sludge from saline fish farm effluents with biogas production. *Bioresource Technology* 93 , 155–167.

GUNASEELAN, V., (1997). Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review, *Biomass and Bioenergy*, 13, 83-114

GUNASEELAN, V., (2004). Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks, *Biomass and Bioenergy*, 26, 389-399

HANSEN, K.H., ANGELIDAKI, I., AHRING, B.K., (1997). Anaerobic Digestion of swine manure: inhibition by ammonia, *Water Research*, 32, 5-12

HARTMANN, H., Ahring B., (2005). Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure, *Water Research*, 39, 1543-1552

HASHIMOTO A.G. (1983). Thermophilic and mesophilic anaerobic fermentation of swine manure. *Agricultural Wastes*, 6, 175-191.

HEDEGAARD, M., JAENSCH, V., (1999). Anaerobic co-digestion of urban and rural wastes. *Renewable Energy* 16, 1064–1069.

HOLM-NIELSEN, (2007). Biogas in Europe – a general overview, South Jutland University Centre

HOLM-NIELSEN (2007). The future of biogas in Europe: Visions and Targets 2020.

IOWA (2004). Final Report Anaerobic Digestion Feasibility Study for the Bluestem Solid Waste.

JOHNS, M.R. (1995). Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: a review. *Bioresource Technology* 54, 203-216.

JORGENSEN, S.E., (1994). *Fundamentals of Ecological Modelling* 2nd Edition, Elsevier

KAPARAJU, P.L.N., RINTALA, J.A., (2008). Effects of solid-liquid separation on recovering residual methane and nitrogen from digested dairy cow manure, *Bioresource Technology* 99, 120 – 127

KIELY, G., TAYFUR, G., DOLAN, C., TANJI, K., (1996). Physical and mathematical modelling of anaerobic digestion of organic wastes. *Water Research* 31, 534-540.

LEMA, J.M., OMIL, F., (2001). Anaerobic treatment: a key technology for a sustainable management of wastes in Europe. *Water Science and Technology* 44 (8), 133–140.

MANO, A. P., (2006). Apontamentos de Sistemas de Tratamento de Águas e Efluentes – Remoção de Nutrientes. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e tecnologia, Monte de Caparica

MATA-ALVAREZ, J., (2002). Biomethanization of the organic fraction of municipal solid waste, *Water 21 Magazine*, IWA editors, 59-61.

METCALF & EDDY, (2003), *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, 4th Edition. McGraw-Hill, New York.

MCCARTY, P.L., MOSEY, F.E., (1991). Modelling of anaerobic digestion process (a discussion of concepts). *Water Science and Technology* 24, 17–33.

MIRANDA, L.A.S., HENRIQUES, J.A.P., MONTEGGIA, L.O., (2005). A full-scale UASB reactor for treatment of pig and cattle slaughterhouse wastewater with a high oil and grease content. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22, 601-610.

MURTO, M., BJÖRSSON, L., MATTIASSON, B., (2004) Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure, *Journal of Environmental Management*, 70, 101-107.

MSHANDETE, A., KIVAIISI, A., RUBINDAMAYUGI, M., MATTIASSON, B., (2004) Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish wastes, *Bioresource Technology* 95, 19-24.

PAVLOSTATHIS, S.G., GOSSETT, J.M., (1986). A kinetic model for anaerobic digestion of biological sludge. *Biotechnology and Bioenergy* 28, 1519–1530.

RAYNAL, J, DELGENES, JP, MOLETTA, R., (1998). Two-phase anaerobic digestion of solid wastes by a multiple liquefaction reactors process. *Bioresource Technology*, 65:97–103.

RIVARD, C.J., VINZANT, T.B., ADNEY, W.S., GROHMANN, K., HIMMEL, M.E., (1990). Anaerobic digestibility of 2 processes municipal solid waste materials. *Biomass* 23 (3), 201–214.

ROZZI, A., REMIGI, E., BUCKLEY, C., (2001). Methanogenic activity measurements by the MAIA biosensor: instructions guide. *Water Science and Technology* 44, 287–294.

SIEGRIST, H., VOGT, D., GARCIA-HERAS, J., GUJER, W., (2002). Mathematical model for meso and thermophilic anaerobic sewage sludge digestion. *Environmental Science and Technology*, 36, 1113-1123.

Trevoeste, Memória de Processo da ETES de SMP, Conceção -Construção da estação de tratamento de efluentes de suinicultura de São Martinho do Porto.

VAVILIN, V.A., RYTOV, S.V., LOKSHINA, L. Ya., (1996). A description of the hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic matter. *Biol. Res. Technol.* 56, 229–237.

ZEEMAN, G., MIRON, Y., VAN LIER, J.B., LETTINGA, G., (2000). The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems. *Water Research*, 34, 1705-1713.

ZAHER, U.E., (2005) Modelling and monitoring the anaerobic digestion process in view of optimisation and smooth operation of WWTP's, Faculty of Bioscience Engineering.

Referências Bibliográficas na Internet

Associação de Municípios do Oeste, <http://www.amo.oestedigital.pt>, Maio 2008

Oeste Digital, www.oesteonline.pt, Maio 2008

Estudo Europeu de Produção de Biogás,
<http://news.mongabay.com/bioenergy/2007/07/study-eu-biogas-production-grew-136-in.html>, Dezembro 2008

Biogas Planet, <http://www.planet-biogas.ca/>, Novembro 2008

Euro Observer, <http://www.euroobserv-er.org/downloads.asp>, Janeiro 2009

ANEXOS

1ª Fase

Sub Simulacoes()

' Escreve o dia na célula correspondente ao dia que o utilizador colocou

Dim Dia As Double

Dia = Simulacao_2.Dia.Value

If Dia > 31 Then

 Err.Raise 1, "", "ERROR: Dia Inválido"

Else

End If

Worksheets("Modelo").Activate

 Range("C3:Q7").Select

 Selection.ClearContents

 Range("B15:P24").Select

 Selection.ClearContents

 Selection.Interior.ColorIndex = 15

Worksheets("Resposta a Simulacao").Activate

 Range("B18:J27").Select

 Selection.ClearContents

Worksheets("Dados Base").Activate

CQO_Suicultura = Cells(7, 7).Value

CQO_Bovicultura = Cells(7, 8).Value

CQO_Matadouros = Cells(7, 9).Value

CQO_Maca = Cells(7, 10).Value

CQO_peixe = Cells(7, 11).Value

SST_Suicultura = Cells(8, 7).Value

SST_Bovicultura = Cells(8, 8).Value

SST_Matadouros = Cells(8, 9).Value
SST_Maca = Cells(8, 10).Value
SST_peixe = Cells(8, 11).Value
SSV_Suicultura = Cells(9, 7).Value
SSV_Bovicultura = Cells(9, 8).Value
SSV_Matadouros = Cells(9, 9).Value
SSV_Maca = Cells(9, 10).Value
SSV_peixe = Cells(9, 11).Value
P_Suicultura = Cells(10, 7).Value
P_Bovicultura = Cells(10, 8).Value
P_Matadouros = Cells(10, 9).Value
P_Maca = Cells(10, 10).Value
P_peixe = Cells(10, 11).Value
N_Suicultura = Cells(11, 7).Value
N_Bovicultura = Cells(11, 8).Value
N_Matadouros = Cells(11, 9).Value
N_Maca = Cells(11, 10).Value
N_peixe = Cells(11, 11).Value
NH4_Suicultura = Cells(12, 7).Value
NH4_Bovicultura = Cells(12, 8).Value
NH4_Matadouros = Cells(12, 9).Value
NH4_Maca = Cells(12, 10).Value
NH4_peixe = Cells(12, 11).Value
CQO_Digestor = Cells(13, 3).Value
SST_Digestor = Cells(14, 3).Value
SSV_Digestor = Cells(15, 3).Value
P_Digestor = Cells(16, 3).Value
N_Digestor = Cells(17, 3).Value
NH4_Digestor = Cells(18, 3).Value
producao_biogas_suini = Cells(13, 7).Value
producao_biogas_bovini = Cells(13, 8).Value
producao_biogas_mata = Cells(13, 9).Value
producao_biogas_maca = Cells(13, 10).Value
producao_biogas_peixe = Cells(13, 11).Value
producao_lamas = Cells(46, 3).Value
energ_esp = Cells(14, 7).Value
rend_elec = Cells(23, 8).Value
rend_term = Cells(23, 9).Value
€ = Cells(24, 8).Value
Conc_lamas = Cells(47, 3).Value

```
€_poli = Cells(59, 5).Value
perc_lama_desi = Cells(48, 3).Value
€_dep = Cells(60, 5).Value
limite_tanque = Cells(6, 3).Value
limite_caudal_total = Cells(7, 3).Value
```

```
Reducao_SV_digestão = Cells(44, 3).Value
```

```
Worksheets("Cargas_Tanque").Activate
```

```
CQO_Tanque_Ontem = Cells(1 + Dia, 3).Value
SST_Tanque_Ontem = Cells(1 + Dia, 4).Value
SSV_Tanque_Ontem = Cells(1 + Dia, 5).Value
P_Tanque_Ontem = Cells(1 + Dia, 6).Value
N_Tanque_Ontem = Cells(1 + Dia, 7).Value
NH4_Tanque_Ontem = Cells(1 + Dia, 8).Value
```

```
*****
```

```
Worksheets("Entregas").Activate
```

```
Caudal_Bovicultura = Cells(3 + Dia, 26).Value
Caudal_Matadouros = Cells(3 + Dia, 27).Value
Caudal_Maca = Cells(3 + Dia, 28).Value
Caudal_Peixe = Cells(3 + Dia, 29).Value
```

```
Worksheets("Resultados").Activate
```

```
caudal_introduzido_secundario_ontem = Cells(2 + Dia, 15).Value
```

```
Worksheets("Caudais adicionados no tanque").Activate
```

```
volume_disponivel_no_tanque = Cells(2 + Dia, 7).Value
volume_disponivel_para_digestor_sec = Cells(2 + Dia, 8).Value
```

```
Worksheets("Simulações 2").Activate
```

Cells(3, 7).Value = Dia

numero_simulacoes = Simulacao_2.numero_sim.Value

If IsNumeric(numero_sim) = False Then

 Err.Raise 96, "", "ERROR: -----"

End If

Cells(4, 7).Value = numero_simulacoes

Simulacao_2.Hide

'Fazer a simulação dos vários caudais para o dia a simular

For i = 1 To numero_simulacoes

 ' Define o limite de caudal para o tanque para o dia i (variavel ou nao)

 Worksheets("Simulações 2").Activate

 If Dia <> 1 Then

 Worksheets("Resultados").Activate

 b = Cells(2 + Dia, 15).Value

 y = (b / (Caudal_Bovinicultura + Caudal_Matadouros + Caudal_Maca + Caudal_Peixe))

 Else

 End If

 Worksheets("Simulações 2").Activate

 caudal_suinicultura = Cells(9, 3 + i).Value

Cells(15, 3 + i).Value = volume_disponivel_no_tanque

If Dia <> 1 Then

Caudal_Bovinicultura_a = Caudal_Bovinicultura * (1 - y)

Caudal_Matadouros_a = Caudal_Matadouros * (1 - y)

Caudal_Maca_a = Caudal_Maca * (1 - y)

Caudal_Peixe_a = Caudal_Peixe * (1 - y)

Cells(10, 3 + i).Value = Caudal_Bovinicultura_a

Cells(11, 3 + i).Value = Caudal_Matadouros_a

Cells(12, 3 + i).Value = Caudal_Maca_a

Cells(13, 3 + i).Value = Caudal_Peixe_a

Else

Caudal_Bovinicultura = Cells(10, 3 + i).Value

Caudal_Matadouros = Cells(11, 3 + i).Value

Caudal_Maçã = Cells(12, 3 + i).Value

Caudal_Peixe = Cells(13, 3 + i).Value

End If

Cells(14, 3 + i).Value = Cells(10, 3 + i).Value + Cells(11, 3 + i).Value + Cells(12, 3 + i).Value
+ Cells(13, 3 + i).Value

total_caudais = Cells(14, 3 + i).Value

'Agora começa a cópia para o sitio certo

Worksheets("Simulações 2").Activate

Cells(23, 7).Value = caudal_suinicultura * CQO_Suinicultura

Cells(23, 8).Value = caudal_suinicultura * SST_Suinicultura

Cells(23, 9).Value = caudal_suicultura * SSV_Suicultura
Cells(23, 10).Value = caudal_suicultura * P_Suicultura
Cells(23, 11).Value = caudal_suicultura * N_Suicultura
Cells(23, 12).Value = caudal_suicultura * NH4_Suicultura

If Dia <> 1 Then

Cells(25, 7).Value = Caudal_Bovicultura_a * CQO_Bovicultura
Cells(25, 8).Value = Caudal_Bovicultura_a * SST_Bovicultura
Cells(25, 9).Value = Caudal_Bovicultura_a * SSV_Bovicultura
Cells(25, 10).Value = Caudal_Bovicultura_a * P_Bovicultura
Cells(25, 11).Value = Caudal_Bovicultura_a * N_Bovicultura
Cells(25, 12).Value = Caudal_Bovicultura_a * NH4_Bovicultura

Else

Cells(25, 7).Value = Caudal_Bovicultura * CQO_Bovicultura
Cells(25, 8).Value = Caudal_Bovicultura * SST_Bovicultura
Cells(25, 9).Value = Caudal_Bovicultura * SSV_Bovicultura
Cells(25, 10).Value = Caudal_Bovicultura * P_Bovicultura
Cells(25, 11).Value = Caudal_Bovicultura * N_Bovicultura
Cells(25, 12).Value = Caudal_Bovicultura * NH4_Bovicultura

End If

If Dia <> 1 Then

Cells(26, 7).Value = Caudal_Matadouros_a * CQO_Matadouros
Cells(26, 8).Value = Caudal_Matadouros_a * SST_Matadouros
Cells(26, 9).Value = Caudal_Matadouros_a * SSV_Matadouros
Cells(26, 10).Value = Caudal_Matadouros_a * P_Matadouros
Cells(26, 11).Value = Caudal_Matadouros_a * N_Matadouros
Cells(26, 12).Value = Caudal_Matadouros_a * NH4_Matadouros

Else

Cells(26, 7).Value = Caudal_Matadouros * CQO_Matadouros
Cells(26, 8).Value = Caudal_Matadouros * SST_Matadouros

Cells(26, 9).Value = Caudal_Matadouros * SSV_Matadouros
Cells(26, 10).Value = Caudal_Matadouros * P_Matadouros
Cells(26, 11).Value = Caudal_Matadouros * N_Matadouros
Cells(26, 12).Value = Caudal_Matadouros * NH4_Matadouros

End If

If Dia <> 1 Then

Cells(27, 7).Value = Caudal_Maca_a * CQO_Maca
Cells(27, 8).Value = Caudal_Maca_a * SST_Maca
Cells(27, 9).Value = Caudal_Maca_a * SSV_Maca
Cells(27, 10).Value = Caudal_Maca_a * P_Maca
Cells(27, 11).Value = Caudal_Maca_a * N_Maca
Cells(27, 12).Value = Caudal_Maca_a * NH4_Maca

Else

Cells(27, 7).Value = Caudal_Maca * CQO_Maca
Cells(27, 8).Value = Caudal_Maca * SST_Maca
Cells(27, 9).Value = Caudal_Maca * SSV_Maca
Cells(27, 10).Value = Caudal_Maca * P_Maca
Cells(27, 11).Value = Caudal_Maca * N_Maca
Cells(27, 12).Value = Caudal_Maca * NH4_Maca

End If

If Dia <> 1 Then

Cells(28, 7).Value = Caudal_Peixe_a * CQO_peixe
Cells(28, 8).Value = Caudal_Peixe_a * SST_peixe
Cells(28, 9).Value = Caudal_Peixe_a * SSV_peixe
Cells(28, 10).Value = Caudal_Peixe_a * P_peixe
Cells(28, 11).Value = Caudal_Peixe_a * N_peixe
Cells(28, 12).Value = Caudal_Peixe_a * NH4_peixe

Else

Cells(28, 7).Value = Caudal_Peixe * CQO_peixe

Cells(28, 8).Value = Caudal_Peixe * SST_peixe

Cells(28, 9).Value = Caudal_Peixe * SSV_peixe

Cells(28, 10).Value = Caudal_Peixe * P_peixe

Cells(28, 11).Value = Caudal_Peixe * N_peixe

Cells(28, 12).Value = Caudal_Peixe * NH4_peixe

End If

Cells(30, 7).Value = (Cells(28, 7).Value + Cells(27, 7).Value + Cells(26, 7).Value + Cells(25, 7).Value)

Cells(30, 8).Value = (Cells(28, 8).Value + Cells(27, 8).Value + Cells(26, 8).Value + Cells(25, 8).Value)

Cells(30, 9).Value = (Cells(28, 9).Value + Cells(27, 9).Value + Cells(26, 9).Value + Cells(25, 9).Value)

Cells(30, 10).Value = (Cells(28, 10).Value + Cells(27, 10).Value + Cells(26, 10).Value + Cells(25, 10).Value)

Cells(30, 11).Value = (Cells(28, 11).Value + Cells(27, 11).Value + Cells(26, 11).Value + Cells(25, 11).Value)

Cells(30, 12).Value = (Cells(28, 12).Value + Cells(27, 12).Value + Cells(26, 12).Value + Cells(25, 12).Value)

' Concentração no tanque

Cells(32, 7).Value = (Cells(30, 7).Value / Cells(14, 3 + i).Value)

Cells(32, 8).Value = (Cells(30, 8).Value / Cells(14, 3 + i).Value)

Cells(32, 9).Value = (Cells(30, 9).Value / Cells(14, 3 + i).Value)

Cells(32, 10).Value = (Cells(30, 10).Value / Cells(14, 3 + i).Value)

Cells(32, 11).Value = (Cells(30, 11).Value / Cells(14, 3 + i).Value)

Cells(32, 12).Value = (Cells(30, 12).Value / Cells(14, 3 + i).Value)

'Total da Mistura

Cells(34, 7).Value = Cells(30, 7).Value + Cells(23, 7).Value

Cells(34, 8).Value = Cells(30, 8).Value + Cells(23, 8).Value

Cells(34, 9).Value = Cells(30, 9).Value + Cells(23, 9).Value

Cells(34, 10).Value = Cells(30, 10).Value + Cells(23, 10).Value

Cells(34, 11).Value = Cells(30, 11).Value + Cells(23, 11).Value

Cells(34, 12).Value = Cells(30, 12).Value + Cells(23, 12).Value

' Total Digestor

Cells(35, 7).Value = CQO_Digestor

Cells(35, 8).Value = SST_Digestor

Cells(35, 9).Value = SSV_Digestor

Cells(35, 10).Value = P_Digestor

Cells(35, 11).Value = N_Digestor

Cells(35, 12).Value = NH4_Digestor

'Folga de Carga no Digestor

Cells(37, 7).Value = CQO_Digestor - Cells(23, 7).Value

Cells(37, 8).Value = SST_Digestor - Cells(23, 8).Value

Cells(37, 9).Value = SSV_Digestor - Cells(23, 9).Value

Cells(37, 10).Value = P_Digestor - Cells(23, 10).Value

Cells(37, 11).Value = N_Digestor - Cells(23, 11).Value

Cells(37, 12).Value = NH4_Digestor - Cells(23, 12).Value

'Caudal máximo de efluente secundário

Cells(39, 7).Value = Cells(37, 7).Value / Cells(32, 7).Value

Cells(39, 8).Value = Cells(37, 8).Value / Cells(32, 8).Value

Cells(39, 9).Value = Cells(37, 9).Value / Cells(32, 9).Value

Cells(39, 10).Value = Cells(37, 10).Value / Cells(32, 10).Value

Cells(39, 11).Value = Cells(37, 11).Value / Cells(32, 11).Value

Cells(39, 12).Value = Cells(37, 12).Value / Cells(32, 12).Value

'Devolve o Caudal minimo

caudal_minimo = Cells(35, 1).Value

Worksheets("Modelo").Activate

If Dia <> 1 Then

Cells(3, 3).Value = caudal_suicultura
Cells(4, 3).Value = Caudal_Bovicultura_a
Cells(5, 3).Value = Caudal_Matadouros_a
Cells(6, 3).Value = Caudal_Maca_a
Cells(7, 3).Value = Caudal_Peixe_a

Else

Cells(3, 3).Value = caudal_suicultura
Cells(4, 3).Value = Caudal_Bovicultura
Cells(5, 3).Value = Caudal_Matadouros
Cells(6, 3).Value = Caudal_Maca
Cells(7, 3).Value = Caudal_Peixe

End If

Cells(14 + i, 2).Value = i

'Características Suicultura

Cells(3, 4).Value = caudal_suicultura * CQO_Suicultura
Cells(3, 5).Value = caudal_suicultura * SST_Suicultura
Cells(3, 6).Value = caudal_suicultura * SSV_Suicultura
Cells(3, 7).Value = caudal_suicultura * P_Suicultura
Cells(3, 8).Value = caudal_suicultura * N_Suicultura
Cells(3, 9).Value = caudal_suicultura * NH4_Suicultura

'Características Bovicultura

If Dia <> 1 Then

Cells(4, 4).Value = Caudal_Bovicultura_a * CQO_Bovicultura
Cells(4, 5).Value = Caudal_Bovicultura_a * SST_Bovicultura
Cells(4, 6).Value = Caudal_Bovicultura_a * SSV_Bovicultura
Cells(4, 7).Value = Caudal_Bovicultura_a * P_Bovicultura

Cells(4, 8).Value = Caudal_Bovinicultura_a * N_Bovinicultura
Cells(4, 9).Value = Caudal_Bovinicultura_a * NH4_Bovinicultura

'Características Matadouros

Cells(5, 4).Value = Caudal_Matadouros_a * CQO_Matadouros
Cells(5, 5).Value = Caudal_Matadouros_a * SST_Matadouros
Cells(5, 6).Value = Caudal_Matadouros_a * SSV_Matadouros
Cells(5, 7).Value = Caudal_Matadouros_a * P_Matadouros
Cells(5, 8).Value = Caudal_Matadouros_a * N_Matadouros
Cells(5, 9).Value = Caudal_Matadouros_a * NH4_Matadouros

'Características Maçã

Cells(6, 4).Value = Caudal_Maca_a * CQO_Maca
Cells(6, 5).Value = Caudal_Maca_a * SST_Maca
Cells(6, 6).Value = Caudal_Maca_a * SSV_Maca
Cells(6, 7).Value = Caudal_Maca_a * P_Maca
Cells(6, 8).Value = Caudal_Maca_a * N_Maca
Cells(6, 9).Value = Caudal_Maca_a * NH4_Maca

'Características Peixe

Cells(7, 4).Value = Caudal_Peixe_a * CQO_peixe
Cells(7, 5).Value = Caudal_Peixe_a * SST_peixe
Cells(7, 6).Value = Caudal_Peixe_a * SSV_peixe
Cells(7, 7).Value = Caudal_Peixe_a * P_peixe
Cells(7, 8).Value = Caudal_Peixe_a * N_peixe
Cells(7, 9).Value = Caudal_Peixe_a * NH4_peixe

Else

Cells(4, 4).Value = Caudal_Bovinicultura * CQO_Bovinicultura
Cells(4, 5).Value = Caudal_Bovinicultura * SST_Bovinicultura

Cells(4, 6).Value = Caudal_Bovinicultura * SSV_Bovinicultura
Cells(4, 7).Value = Caudal_Bovinicultura * P_Bovinicultura
Cells(4, 8).Value = Caudal_Bovinicultura * N_Bovinicultura
Cells(4, 9).Value = Caudal_Bovinicultura * NH4_Bovinicultura

'Características Matadouros

Cells(5, 4).Value = Caudal_Matadouros * CQO_Matadouros
Cells(5, 5).Value = Caudal_Matadouros * SST_Matadouros
Cells(5, 6).Value = Caudal_Matadouros * SSV_Matadouros
Cells(5, 7).Value = Caudal_Matadouros * P_Matadouros
Cells(5, 8).Value = Caudal_Matadouros * N_Matadouros
Cells(5, 9).Value = Caudal_Matadouros * NH4_Matadouros

'Características Maçã

Cells(6, 4).Value = Caudal_Maca * CQO_Maca
Cells(6, 5).Value = Caudal_Maca * SST_Maca
Cells(6, 6).Value = Caudal_Maca * SSV_Maca
Cells(6, 7).Value = Caudal_Maca * P_Maca
Cells(6, 8).Value = Caudal_Maca * N_Maca
Cells(6, 9).Value = Caudal_Maca * NH4_Maca

'Características Peixe

Cells(7, 4).Value = Caudal_Peixe * CQO_peixe
Cells(7, 5).Value = Caudal_Peixe * SST_peixe
Cells(7, 6).Value = Caudal_Peixe * SSV_peixe
Cells(7, 7).Value = Caudal_Peixe * P_peixe
Cells(7, 8).Value = Caudal_Peixe * N_peixe
Cells(7, 9).Value = Caudal_Peixe * NH4_peixe

End If

'Características Digestor

Cells(8, 3).Value = limite_tanque
Cells(9, 3).Value = limite_caudal_total
Cells(9, 4).Value = CQO_Digestor
Cells(9, 5).Value = SST_Digestor
Cells(9, 6).Value = SSV_Digestor
Cells(9, 7).Value = P_Digestor
Cells(9, 8).Value = N_Digestor
Cells(9, 9).Value = NH4_Digestor

'Produção Biogás

Cells(3, 10).Value = Cells(3, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_suini
Cells(4, 10).Value = Cells(4, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_bovini
Cells(5, 10).Value = Cells(5, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_mata
Cells(6, 10).Value = Cells(6, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_maca
Cells(7, 10).Value = Cells(7, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_peixe

Cells(9, 10).Value = Cells(3, 10).Value + Cells(4, 10).Value + Cells(5, 10).Value + Cells(6,
10).Value + Cells(7, 10).Value

'Rendimento Electrico

Cells(3, 11).Value = (Cells(3, 10).Value * energ_esp) * rend_elec
Cells(4, 11).Value = (Cells(4, 10).Value * energ_esp) * rend_elec
Cells(5, 11).Value = (Cells(5, 10).Value * energ_esp) * rend_elec
Cells(6, 11).Value = (Cells(6, 10).Value * energ_esp) * rend_elec
Cells(7, 11).Value = (Cells(7, 10).Value * energ_esp) * rend_elec

Cells(9, 11).Value = Cells(3, 11).Value + Cells(4, 11).Value + Cells(5, 11).Value + Cells(6,
11).Value + Cells(7, 11).Value

'Rendimento Térmico

Cells(3, 12).Value = (Cells(3, 10).Value * energ_esp) * rend_term
Cells(4, 12).Value = (Cells(4, 10).Value * energ_esp) * rend_term
Cells(5, 12).Value = (Cells(5, 10).Value * energ_esp) * rend_term
Cells(6, 12).Value = (Cells(6, 10).Value * energ_esp) * rend_term

Cells(7, 12).Value = (Cells(7, 10).Value * energ_esp) * rend_term

Cells(9, 12).Value = Cells(3, 12).Value + Cells(4, 12).Value + Cells(5, 12).Value + Cells(6, 12).Value + Cells(7, 12).Value

'€ electrica

Cells(3, 13).Value = Cells(3, 11).Value * €

Cells(4, 13).Value = Cells(4, 11).Value * €

Cells(5, 13).Value = Cells(5, 11).Value * €

Cells(6, 13).Value = Cells(6, 11).Value * €

Cells(7, 13).Value = Cells(7, 11).Value * €

Cells(9, 13).Value = Cells(3, 13).Value + Cells(4, 13).Value + Cells(5, 13).Value + Cells(6, 13).Value + Cells(7, 13).Value

'Lamas Digeridas

If (Cells(3, 5).Value * producao_lamas) / Conc_lamas > Cells(3, 3).Value Then

Cells(3, 14) = (Cells(3, 3).Value * Conc_lamas)

Else

Cells(3, 14).Value = (Cells(3, 5).Value * producao_lamas)

End If

If (Cells(4, 5) * producao_lamas) / Conc_lamas > Cells(4, 3).Value Then

Cells(4, 14).Value = (Cells(4, 3).Value * Conc_lamas)

Else

Cells(4, 14).Value = (Cells(4, 5).Value * producao_lamas)

End If

If (Cells(5, 5) * producao_lamas) / Conc_lamas > Cells(5, 3).Value Then

Cells(5, 14).Value = (Cells(5, 3).Value * Conc_lamas)

Else

Cells(5, 14).Value = (Cells(5, 5).Value * producao_lamas)

End If

If (Cells(6, 5) * producao_lamas) / Conc_lamas > Cells(6, 3).Value Then

Cells(6, 14).Value = (Cells(6, 3).Value * Conc_lamas)

Else

Cells(6, 14).Value = (Cells(6, 5).Value * producao_lamas)

End If

If (Cells(7, 5) * producao_lamas) / Conc_lamas > Cells(7, 3).Value Then

Cells(7, 14).Value = (Cells(7, 3).Value * Conc_lamas)

Else

Cells(7, 14).Value = (Cells(7, 5).Value * producao_lamas)

End If

Cells(9, 14).Value = Cells(3, 14).Value + Cells(4, 14).Value + Cells(5, 14).Value + Cells(6,
14).Value + Cells(7, 14).Value

€ polielectrolito

Cells(3, 15).Value = Cells(3, 14).Value * €_poli

Cells(4, 15).Value = Cells(4, 14).Value * €_poli

Cells(5, 15).Value = Cells(5, 14).Value * €_poli

Cells(6, 15).Value = Cells(6, 14).Value * €_poli

Cells(7, 15).Value = Cells(7, 14).Value * €_poli

Cells(9, 15).Value = Cells(3, 15).Value + Cells(4, 15).Value + Cells(5, 15).Value + Cells(6, 15).Value + Cells(7, 15).Value

Lamas Desidratadas

Cells(3, 16).Value = Cells(3, 14).Value * perc_lama_desi

Cells(4, 16).Value = Cells(4, 14).Value * perc_lama_desi

Cells(5, 16).Value = Cells(5, 14).Value * perc_lama_desi

Cells(6, 16).Value = Cells(6, 14).Value * perc_lama_desi

Cells(7, 16).Value = Cells(7, 14).Value * perc_lama_desi

Cells(9, 16).Value = Cells(3, 16).Value + Cells(4, 16).Value + Cells(5, 16).Value + Cells(6, 16).Value + Cells(7, 16).Value

€ Deposição

Cells(3, 17).Value = Cells(3, 16).Value * €_dep

Cells(4, 17).Value = Cells(4, 16).Value * €_dep

Cells(5, 17).Value = Cells(5, 16).Value * €_dep

Cells(6, 17).Value = Cells(6, 16).Value * €_dep

Cells(7, 17).Value = Cells(7, 16).Value * €_dep

Cells(9, 17).Value = Cells(3, 17).Value + Cells(4, 17).Value + Cells(5, 17).Value + Cells(6, 17).Value + Cells(7, 17).Value

Cells(11, 3).Value = Cells(4, 3).Value + Cells(5, 3).Value + Cells(6, 3).Value + Cells(7, 3).Value

Cells(11, 4).Value = Cells(4, 4).Value + Cells(5, 4).Value + Cells(6, 4).Value + Cells(7, 4).Value

Cells(11, 5).Value = Cells(4, 5).Value + Cells(5, 5).Value + Cells(6, 5).Value + Cells(7, 5).Value

Cells(11, 6).Value = Cells(4, 6).Value + Cells(5, 6).Value + Cells(6, 6).Value + Cells(7, 6).Value

Cells(11, 7).Value = Cells(4, 7).Value + Cells(5, 7).Value + Cells(6, 7).Value + Cells(7, 7).Value

Cells(11, 8).Value = Cells(4, 8).Value + Cells(5, 8).Value + Cells(6, 8).Value + Cells(7, 8).Value

Cells(11, 9).Value = Cells(4, 9).Value + Cells(5, 9).Value + Cells(6, 9).Value + Cells(7, 9).Value

Cells(11, 10).Value = Cells(4, 10).Value + Cells(5, 10).Value + Cells(6, 10).Value + Cells(7, 10).Value

Cells(11, 11).Value = Cells(4, 11).Value + Cells(5, 11).Value + Cells(6, 11).Value + Cells(7, 11).Value

Cells(11, 12).Value = Cells(4, 12).Value + Cells(5, 12).Value + Cells(6, 12).Value + Cells(7, 12).Value

Cells(11, 13).Value = Cells(4, 13).Value + Cells(5, 13).Value + Cells(6, 13).Value + Cells(7, 13).Value

Cells(11, 14).Value = Cells(4, 14).Value + Cells(5, 14).Value + Cells(6, 14).Value + Cells(7, 14).Value

Cells(11, 15).Value = Cells(4, 15).Value + Cells(5, 15).Value + Cells(6, 15).Value + Cells(7, 15).Value

Cells(11, 16).Value = Cells(4, 16).Value + Cells(5, 16).Value + Cells(6, 16).Value + Cells(7, 16).Value

Cells(11, 17).Value = Cells(4, 17).Value + Cells(5, 17).Value + Cells(6, 17).Value + Cells(7, 17).Value

Cells(12, 3).Value = caudal_minimo

Cells(12, 4).Value = Cells(11, 4).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

Cells(12, 5).Value = Cells(11, 5).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

Cells(12, 6).Value = Cells(11, 6).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

Cells(12, 7).Value = Cells(11, 7).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

Cells(12, 8).Value = Cells(11, 8).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

Cells(12, 9).Value = Cells(11, 9).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

Cells(12, 10).Value = Cells(11, 10).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

Cells(12, 11).Value = Cells(11, 11).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

Cells(12, 12).Value = Cells(11, 12).Value * (caudal_minimo / total_caudais)

```
Cells(12, 13).Value = Cells(11, 13).Value * (caudal_minimo / total_caudais)
Cells(12, 14).Value = Cells(11, 14).Value * (caudal_minimo / total_caudais)
Cells(12, 15).Value = Cells(11, 15).Value * (caudal_minimo / total_caudais)
Cells(12, 16).Value = Cells(11, 16).Value * (caudal_minimo / total_caudais)
Cells(12, 17).Value = Cells(11, 17).Value * (caudal_minimo / total_caudais)
```

```
Cells(14 + i, 2).Value = i
```

```
Cells(14 + i, 3).Value = Cells(3, 3).Value + caudal_minimo
```

```
Worksheets("Modelo").Activate
```

```
Dim x As Integer
```

```
For x = 1 To 7
```

```
Cells(14 + i, 3 + x).Value = Cells(3, 3 + x).Value + Cells(12, 3 + x).Value
```

```
Next x
```

```
Cells(14 + i, 11).Value = Cells(12, 14).Value + Cells(3, 14).Value
```

```
Cells(14 + i, 12).Value = Cells(12, 16).Value + Cells(3, 16).Value
```

```
'Atualiza a soma dos caudais
```

```
Caudal_Total = Cells(14 + i, 3).Value
```

```
If Caudal_Total > limite_caudal_total Then
```

```
Err.Raise 4, "", "ERROR: Caudal Total Excedido"
```

```
Else
```

```
End If
```

```
Worksheets("Resposta a Simulacao").Activate
```

Cells(2, 6).Value = Dia

Cells(7, 2 + i).Value = caudal_suinicultura

Cells(8, 2 + i).Value = Caudal_Bovicultura

Cells(9, 2 + i).Value = Caudal_Matadouros

Cells(10, 2 + i).Value = Caudal_Maca

Cells(11, 2 + i).Value = Caudal_Peixe

Cells(12, 2 + i).Value = Caudal_Bovicultura + Caudal_Matadouros + Caudal_Maca +
Caudal_Peixe

Next i

Worksheets("Modelo").Activate

' Procura a melhor opção (se existir)

For k = 1 To numero_simulacoes 'k corresponde a cada linha (cada simulação)

Worksheets("Modelo").Activate

'Melhor Opção, Maior Caudal

If Cells(14 + k, 3) = Cells(25, 3).Value Then

 Cells(14 + k, 13).Value = "MELHOR OPÇÃO"

 Cells(14 + k, 13).Select

 Selection.Interior.ColorIndex = 43

End If

'Melhor Opção, Maior Biogás

If Cells(14 + k, 10) = Cells(25, 10).Value Then

 Cells(14 + k, 14).Value = "MELHOR OPÇÃO"

```
Cells(14 + k, 14).Select  
Selection.Interior.ColorIndex = 43
```

```
End If
```

```
'Melhor Opção, Menor Lamas (Digeridas)
```

```
If Cells(14 + k, 11).Value = Cells(25, 11).Value Then
```

```
Cells(14 + k, 15).Value = "MELHOR OPÇÃO"
```

```
Cells(14 + k, 15).Select  
Selection.Interior.ColorIndex = 43
```

```
End If
```

```
'Melhor Opção, Maior Biogás e Menor Lamas
```

```
If Cells(14 + k, 10).Value = Cells(25, 10).Value And Cells(14 + k, 11).Value = Cells(25,  
11).Value Then
```

```
Cells(14 + k, 16).Value = "MELHOR OPÇÃO"
```

```
Cells(14 + k, 16).Select  
Selection.Interior.ColorIndex = 43
```

```
End If
```

```
For j = 1 To 4
```

```
Worksheets("Modelo").Activate
```

```
Dim opcao As String  
opcao = Cells(14 + k, 12 + j).Value
```

```
If InStr(opcao, "MELHOR OPÇÃO") = 1 Then                   'Dá a localização de que célula  
corresponde à "Melhor Opção'
```

```
Worksheets("Resposta a Simulacao").Activate
```

```
Cells(17 + k, 6 + j).Value = opcao
```

```
Cells(17 + k, 6 + j).Select
```

```
End If
```

```
Next j
```

```
Worksheets("Modelo").Activate
```

```
caudal_minimo_a = (Cells(14 + k, 3).Value - (caudal_suinicultura))
```

```
biogas_produzido = Cells(14 + k, 10).Value
```

```
lamas_digeridas = Cells(14 + k, 11).Value
```

```
lamas_desidratadas = Cells(14 + k, 12).Value
```

```
'Grava os dados na folha 'Resposta a simulação'
```

```
Worksheets("Resposta a Simulacao").Activate
```

```
Cells(17 + k, 2).Value = k
```

```
Cells(17 + k, 3).Value = caudal_minimo_a
```

```
Cells(17 + k, 4).Value = biogas_produzido
```

```
Cells(17 + k, 5).Value = lamas_digeridas
```

```
Cells(17 + k, 6).Value = lamas_desidratadas
```

```
Next k
```

```
End Sub ()
```

2ª Fase

```
Sub Correr_Modelo()
```

```
Dim Dia As Variant
```

```
Dim mes As Variant
```

```
Dia = Inicio.Dia.Value
```

Worksheets("Dados Base").Activate

Dim limite_caudal_total As Integer

Dim limite_caudal_tanque As Variant

Dim paramteros_limite As Variant

efluente_1 = Cells(6, 7).Value efluente_2 = Cells(6, 8).Value efluente_3 = Cells(6, 9).Value

efluente_4 = Cells(6, 10).Value efluente_5 = Cells(6, 11).Value

limite_caudal_total = Cells(7, 3).Value

limite_caudal_tanque = Cells(6, 3).Value

'Características Efluentes e Digestor

CQO_Suicultura = Cells(7, 7).Value

CQO_Matadouros = Cells(7, 9).Value

CQO_peixe = Cells(7, 11).Value

SST_Bovicultura = Cells(8, 8).Value

SST_Maca = Cells(8, 10).Value

SSV_Suicultura = Cells(9, 7).Value

SSV_Matadouros = Cells(9, 9).Value

SSV_peixe = Cells(9, 11).Value

P_Bovicultura = Cells(10, 8).Value

P_Maca = Cells(10, 10).Value

N_Suicultura = Cells(11, 7).Value

N_Matadouros = Cells(11, 9).Value

N_peixe = Cells(11, 11).Value

NH4_Bovicultura = Cells(12, 8).Value

NH4_Maca = Cells(12, 10).Value

CQO_Digestor = Cells(13, 3).Value

SSV_Digestor = Cells(15, 3).Value

N_Digestor = Cells(17, 3).Value

producao_biogas_suini = Cells(13, 7).Value

producao_biogas_bovini = Cells(13, 8).Value

producao_biogas_mata = Cells(13, 9).Value

producao_biogas_maca = Cells(13, 10).Value

producao_biogas_peixe = Cells(13, 11).Value

producao_lamas = Cells(46, 3).Value

energ_esp = Cells(14, 7).Value

rend_term = Cells(23, 9).Value

CQO_Bovicultura = Cells(7, 8).Value

CQO_Maca = Cells(7, 10).Value

SST_Suicultura = Cells(8, 7).Value

SST_Matadouros = Cells(8, 9).Value

SST_peixe = Cells(8, 11).Value

SSV_Bovicultura = Cells(9, 8).Value

SSV_Maca = Cells(9, 10).Value

P_Suicultura = Cells(10, 7).Value

P_Matadouros = Cells(10, 9).Value

P_peixe = Cells(10, 11).Value

N_Bovicultura = Cells(11, 8).Value

N_Maca = Cells(11, 10).Value

NH4_Suicultura = Cells(12, 7).Value

NH4_Matadouros = Cells(12, 9).Value

NH4_peixe = Cells(12, 11).Value

SST_Digestor = Cells(14, 3).Value

P_Digestor = Cells(16, 3).Value

NH4_Digestor = Cells(18, 3).Value

rend_elec = Cells(23, 8).Value

€ = Cells(24, 8).Value

```
Conc_lamas = Cells(47, 3).Value          €_poli = Cells(59, 5).Value
perc_lama_desi = Cells(48, 3).Value      €_dep = Cells(60, 5).Value
Reducao_SV_digestão = Cells(44, 3).Value
```

```
Worksheets("Tanque Suinicultura").Activate
```

```
volume_disponivel_para_digestor_suini = Cells(2 + Dia, 5).Value
```

```
Worksheets("Caudais adicionados no tanque").Activate
volume_disponivel_para_tanque = Cells(2 + Dia, 7).Value
volume_disponivel_para_digestor_sec = Cells(2 + Dia, 8).Value
```

```
Worksheets("Inicio_Modelo").Activate
```

```
If Dia > 31 Then
```

```
    Err.Raise 1, "", "ERROR: Dia Inválido"
```

```
Else
```

```
End If
```

```
Dim caudal_suinicultura As Variant
```

```
Dim Caudal_Secundario As Variant
```

```
Dim Caudal_ao_tanque As Variant
```

```
Dim y As Variant
```

```
Cells(6, 4).Value = efluente_1
```

```
Cells(14, 4).Value = efluente_2
```

```
Cells(14, 5).Value = efluente_3
```

```
Cells(14, 6).Value = efluente_4
```

```
Cells(14, 7).Value = efluente_5
```

```
Cells(14, 8).Value = efluente_6
```

```
Cells(5, 5).Value = volume_disponivel_para_digestor_sec
```

```
caudal_suinicultura = Cells(6, 5).Value
```

```
Caudal_Secundario = Cells(7, 5).Value
```

```
Caudal_no_tanque = Cells(15, 8).Value
```

```
If Caudal_Secundario = 0 Then
```

```
    y = 0
```

```
Else
```

y = (Caudal_Secundario / volume_disponivel_para_digestor_sec)

End If

Cells(8, 5).Value = Caudal_Secundario + caudal_suinicultura

'If caudal_suinicultura > volume_disponivel_para_digestor_suini Then

'Err.Raise 2, "", "ERROR: Caudal de suinicultura pretendido superior ao disponível no tanque de armazenamento"

'End If

Worksheets("Caudais adicionados no tanque").Activate

Cells(2 + Dia, 9).Value = Caudal_Secundario

Cells(3 + Dia, 7).Value = 40 - (Cells(2 + Dia, 8) - Cells(2 + Dia, 9))

Worksheets("Tanque Suinicultura").Activate

If Dia <> 1 Then

Cells(2 + Dia, 5).Value = (Cells(1 + Dia, 5).Value - Cells(1 + Dia, 6).Value) + Cells(2 + Dia, 4).Value

End If

Volume_disponivel_1 = Cells(2 + Dia, 3).Value

If suini > Volume_disponivel_1 Then

Err.Raise 2, "", "Volume Disponivel no Tanque Excedido"

End If

Worksheets("Entregas").Activate

tarifa_suinicultura = Cells(3 + Dia, 5).Value

tarifa_bovinicultura = Cells(3 + Dia, 9).Value

```
tarifa_matadouros = Cells(3 + Dia, 13).Value  
tarifa_maca = Cells(3 + Dia, 17).Value  
tarifa_peixe = Cells(3 + Dia, 21).Value
```

```
Worksheets("Entregas").Activate
```

```
Caudal_Bovicultura = Cells(3 + Dia, 26).Value  
Caudal_Matadouros = Cells(3 + Dia, 27).Value  
Caudal_Maca = Cells(3 + Dia, 28).Value  
Caudal_Peixe = Cells(3 + Dia, 29).Value
```

```
Worksheets("Resultados").Activate
```

```
b = Cells(2 + Dia, 15).Value
```

```
Worksheets("Modelo").Activate
```

```
Range("C3:Q7").Select  
Selection.ClearContents  
Range("C29:N29").Select  
Selection.ClearContents  
Range("C28:Q28").Select  
Selection.ClearContents
```

```
Cells(3, 2).Value = efluente_1  
Cells(5, 2).Value = efluente_3  
Cells(7, 2).Value = efluente_5
```

```
Cells(4, 2).Value = efluente_2  
Cells(6, 2).Value = efluente_4
```

```
For tipo = 1 To 4
```

```
Dim caudal_tipoi As Variant
```

```
'Le o caudal no dia "j" para o tipo "i"
```

```
Worksheets("Inicio_Modelo").Activate
```

```
If Dia <> 1 Then
```

$t = (b / (\text{Caudal_Bovinicultura} + \text{Caudal_Matadouros} + \text{Caudal_Maca} + \text{Caudal_Peixe}))$

$\text{Caudal_Bovinicultura_a} = \text{Caudal_Bovinicultura} * (1 - t)$

$\text{Caudal_Matadouros_a} = \text{Caudal_Matadouros} * (1 - t)$

$\text{Caudal_Maca_a} = \text{Caudal_Maca} * (1 - t)$

$\text{Caudal_Peixe_a} = \text{Caudal_Peixe} * (1 - t)$

$\text{Cells}(15, 4).\text{Value} = \text{Caudal_Bovinicultura_a}$

$\text{Cells}(15, 5).\text{Value} = \text{Caudal_Matadouros_a}$

$\text{Cells}(15, 6).\text{Value} = \text{Caudal_Maca_a}$

$\text{Cells}(15, 7).\text{Value} = \text{Caudal_Peixe_a}$

Else

$\text{Cells}(15, 4).\text{Value} = \text{Caudal_Bovinicultura}$

$\text{Cells}(15, 5).\text{Value} = \text{Caudal_Matadouros}$

$\text{Cells}(15, 6).\text{Value} = \text{Caudal_Maca}$

$\text{Cells}(15, 7).\text{Value} = \text{Caudal_Peixe}$

End If

$\text{caudal_tipoi} = 0$

$\text{caudal_tipoi} = \text{Cells}(15, 3 + \text{tipo}).\text{Value}$

$\text{Cells}(15, 8).\text{Value} = \text{Cells}(15, 4).\text{Value} + \text{Cells}(15, 5).\text{Value} + \text{Cells}(15, 6).\text{Value} + \text{Cells}(15, 7).\text{Value}$

' Grava o caudal na folha do modelo

$\text{Worksheets}(\text{"Modelo"}).\text{Activate}$

$\text{Cells}(3, 3).\text{Value} = \text{caudal_suinicultura}$

'Características Suinicultura

$\text{Cells}(3, 4).\text{Value} = \text{caudal_suinicultura} * \text{CQO_Suinicultura}$

$\text{Cells}(3, 5).\text{Value} = \text{caudal_suinicultura} * \text{SST_Suinicultura}$

```
Cells(3, 6).Value = caudal_suicultura * SSV_Suicultura
Cells(3, 7).Value = caudal_suicultura * P_Suicultura
Cells(3, 8).Value = caudal_suicultura * N_Suicultura
Cells(3, 9).Value = caudal_suicultura * NH4_Suicultura
```

```
If Caudal_Secundario <> 0 Then
```

```
Cells(3 + tipo, 3).Value = caudal_tipoi
'Características Bovinicultura
```

```
If tipo = 1 Then
```

```
Cells(4, 4).Value = caudal_tipoi * CQO_Bovinicultura
Cells(4, 5).Value = caudal_tipoi * SST_Bovinicultura
Cells(4, 6).Value = caudal_tipoi * SSV_Bovinicultura
Cells(4, 7).Value = caudal_tipoi * P_Bovinicultura
Cells(4, 8).Value = caudal_tipoi * N_Bovinicultura
Cells(4, 9).Value = caudal_tipoi * NH4_Bovinicultura
```

```
End If
```

```
'Características Matadouros
```

```
If tipo = 2 Then
```

```
Cells(5, 4).Value = caudal_tipoi * CQO_Matadouros
Cells(5, 5).Value = caudal_tipoi * SST_Matadouros
Cells(5, 6).Value = caudal_tipoi * SSV_Matadouros
Cells(5, 7).Value = caudal_tipoi * P_Matadouros
Cells(5, 8).Value = caudal_tipoi * N_Matadouros
Cells(5, 9).Value = caudal_tipoi * NH4_Matadouros
```

```
End If
```

```
'Características Maçã
```

```
If tipo = 3 Then
```

```
Cells(6, 4).Value = caudal_tipoi * CQO_Maca
```

Cells(6, 5).Value = caudal_tipoi * SST_Maca
Cells(6, 6).Value = caudal_tipoi * SSV_Maca
Cells(6, 7).Value = caudal_tipoi * P_Maca
Cells(6, 8).Value = caudal_tipoi * N_Maca
Cells(6, 9).Value = caudal_tipoi * NH4_Maca

End If

'Características Peixe

If tipo = 4 Then

Cells(7, 4).Value = caudal_tipoi * CQO_peixe
Cells(7, 5).Value = caudal_tipoi * SST_peixe
Cells(7, 6).Value = caudal_tipoi * SSV_peixe
Cells(7, 7).Value = caudal_tipoi * P_peixe
Cells(7, 8).Value = caudal_tipoi * N_peixe
Cells(7, 9).Value = caudal_tipoi * NH4_peixe

End If

End If

'Características Digestor

Cells(8, 3).Value = limite_caudal_tanque
Cells(9, 3).Value = limite_caudal_total
Cells(9, 4).Value = CQO_Digestor
Cells(9, 5).Value = SST_Digestor
Cells(9, 6).Value = SSV_Digestor
Cells(9, 7).Value = P_Digestor
Cells(9, 8).Value = N_Digestor
Cells(9, 9).Value = NH4_Digestor

'Produção Biogás

Cells(3, 10).Value = Cells(3, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_suini
Cells(4, 10).Value = Cells(4, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_bovini

Cells(5, 10).Value = Cells(5, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_mata
Cells(6, 10).Value = Cells(6, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_maca
Cells(7, 10).Value = Cells(7, 6).Value * Reducao_SV_digestão * producao_biogas_peixe

Cells(9, 10).Value = Cells(3, 10).Value + Cells(4, 10).Value + Cells(5, 10).Value + Cells(6,
10).Value + Cells(7, 10).Value

'Rendimento Electrico

Cells(3, 11).Value = (Cells(3, 10).Value * energ_esp) * rend_elec
Cells(4, 11).Value = (Cells(4, 10).Value * energ_esp) * rend_elec
Cells(5, 11).Value = (Cells(5, 10).Value * energ_esp) * rend_elec
Cells(6, 11).Value = (Cells(6, 10).Value * energ_esp) * rend_elec
Cells(7, 11).Value = (Cells(7, 10).Value * energ_esp) * rend_elec

Cells(9, 11).Value = Cells(3, 11).Value + Cells(4, 11).Value + Cells(5, 11).Value + Cells(6,
11).Value + Cells(7, 11).Value

'Rendimento Térmico

Cells(3, 12).Value = (Cells(3, 10).Value * energ_esp) * rend_term
Cells(4, 12).Value = (Cells(4, 10).Value * energ_esp) * rend_term
Cells(5, 12).Value = (Cells(5, 10).Value * energ_esp) * rend_term
Cells(6, 12).Value = (Cells(6, 10).Value * energ_esp) * rend_term
Cells(7, 12).Value = (Cells(7, 10).Value * energ_esp) * rend_term

Cells(9, 12).Value = Cells(3, 12).Value + Cells(4, 12).Value + Cells(5, 12).Value + Cells(6,
12).Value + Cells(7, 12).Value

'€ electrica

Cells(3, 13).Value = Cells(3, 11).Value * €
Cells(4, 13).Value = Cells(4, 11).Value * €
Cells(5, 13).Value = Cells(5, 11).Value * €
Cells(6, 13).Value = Cells(6, 11).Value * €
Cells(7, 13).Value = Cells(7, 11).Value * €

Cells(9, 13).Value = Cells(3, 13).Value + Cells(4, 13).Value + Cells(5, 13).Value + Cells(6, 13).Value + Cells(7, 13).Value

'Lamas Digeridas

If (Cells(3, 5).Value * producao_lamas) / Conc_lamas > Cells(3, 3).Value Then

Cells(3, 14) = (Cells(3, 3).Value * Conc_lamas)

Else

Cells(3, 14).Value = (Cells(3, 14).Value * producao_lamas) / Conc_lamas

End If

If (Cells(3 + tipo, 5) * producao_lamas) / Conc_lamas > Cells(3 + tipo, 3).Value Then

Cells(3 + tipo, 14).Value = (Cells(3 + tipo, 3).Value * Conc_lamas)

Else

Cells(3 + tipo, 14).Value = (Cells(3 + tipo, 14).Value * producao_lamas) / Conc_lamas

End If

Cells(9, 14).Value = Cells(3, 14).Value + Cells(4, 14).Value + Cells(5, 14).Value + Cells(6, 14).Value + Cells(7, 14).Value

€ polielectrolito

Cells(3, 15).Value = Cells(3, 14).Value * €_poli

Cells(3 + tipo, 15).Value = Cells(3 + tipo, 14).Value * €_poli

Cells(9, 15).Value = Cells(3, 15).Value + Cells(4, 15).Value + Cells(5, 15).Value + Cells(6, 15).Value + Cells(7, 15).Value

'Lamas Desidratadas

Cells(3, 16).Value = Cells(3, 14).Value * perc_lama_desi

Cells(3 + tipo, 16).Value = Cells(3 + tipo, 14).Value * perc_lama_desi

Cells(9, 16).Value = Cells(3, 16).Value + Cells(4, 16).Value + Cells(5, 16).Value + Cells(6, 16).Value + Cells(7, 16).Value

'€ Deposição

Cells(3, 17).Value = Cells(3, 16).Value * €_dep

Cells(3 + tipo, 17).Value = Cells(3 + tipo, 16).Value * €_dep

Cells(9, 17).Value = Cells(3, 17).Value + Cells(4, 17).Value + Cells(5, 17).Value + Cells(6, 17).Value + Cells(7, 17).Value

'Somas só dos secundários

Cells(11, 3).Value = (Cells(4, 3).Value + Cells(5, 3).Value + Cells(6, 3).Value + Cells(7, 3).Value) + carga_dia_anterior

Cells(11, 4).Value = (Cells(4, 4).Value + Cells(5, 4).Value + Cells(6, 4).Value + Cells(7, 4).Value) + carga_dia_anterior

Cells(11, 5).Value = Cells(4, 5).Value + Cells(5, 5).Value + Cells(6, 5).Value + Cells(7, 5).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 6).Value = Cells(4, 6).Value + Cells(5, 6).Value + Cells(6, 6).Value + Cells(7, 6).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 7).Value = Cells(4, 7).Value + Cells(5, 7).Value + Cells(6, 7).Value + Cells(7, 7).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 8).Value = Cells(4, 8).Value + Cells(5, 8).Value + Cells(6, 8).Value + Cells(7, 8).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 9).Value = Cells(4, 9).Value + Cells(5, 9).Value + Cells(6, 9).Value + Cells(7, 9).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 10).Value = Cells(4, 10).Value + Cells(5, 10).Value + Cells(6, 10).Value + Cells(7, 10).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 11).Value = Cells(4, 11).Value + Cells(5, 11).Value + Cells(6, 11).Value + Cells(7, 11).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 12).Value = Cells(4, 12).Value + Cells(5, 12).Value + Cells(6, 12).Value + Cells(7, 12).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 13).Value = Cells(4, 13).Value + Cells(5, 13).Value + Cells(6, 13).Value + Cells(7, 13).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 14).Value = Cells(4, 14).Value + Cells(5, 14).Value + Cells(6, 14).Value +
Cells(7, 14).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 15).Value = Cells(4, 15).Value + Cells(5, 15).Value + Cells(6, 15).Value +
Cells(7, 15).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 16).Value = Cells(4, 16).Value + Cells(5, 16).Value + Cells(6, 16).Value +
Cells(7, 16).Value + carga_dia_anterior

Cells(11, 17).Value = Cells(4, 17).Value + Cells(5, 17).Value + Cells(6, 17).Value +
Cells(7, 17).Value + carga_dia_anterior

If Caudal_Secundario <> 0 Then

'Porcentagem do que está no tanque que entra no digestor

Cells(28, 3).Value = Caudal_Secundario

Cells(28, 4).Value = Cells(11, 4).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 5).Value = Cells(11, 5).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 6).Value = Cells(11, 6).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 7).Value = Cells(11, 7).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 8).Value = Cells(11, 8).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 9).Value = Cells(11, 9).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 10).Value = Cells(11, 10).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 11).Value = Cells(11, 11).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 12).Value = Cells(11, 12).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 13).Value = Cells(11, 13).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 14).Value = Cells(11, 14).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 15).Value = Cells(11, 15).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

Cells(28, 16).Value = Cells(11, 16).Value * (Caudal_Secundario /
volume_disponivel_para_digestor_sec)

```
Cells(28, 17).Value = Cells(11, 17).Value * (Caudal_Secundario /  
volumen_disponible_para_digestor_sec)
```

```
Else
```

```
Cells(28, 4).Value = 0
```

```
Cells(28, 5).Value = 0
```

```
Cells(28, 6).Value = 0
```

```
Cells(28, 7).Value = 0
```

```
Cells(28, 8).Value = 0
```

```
Cells(28, 9).Value = 0
```

```
Cells(28, 10).Value = 0
```

```
Cells(28, 11).Value = 0
```

```
Cells(28, 12).Value = 0
```

```
Cells(28, 13).Value = 0
```

```
Cells(28, 14).Value = 0
```

```
Cells(28, 15).Value = 0
```

```
Cells(28, 16).Value = 0
```

```
Cells(28, 17).Value = 0
```

```
End If
```

```
Next tipo
```

```
For z = 1 To 6
```

```
Worksheets("Modelo").Activate
```

```
Parametros_Tanque = Cells(11, 3 + z).Value
```

```
Worksheets("Cargas_Tanque").Activate
```

```
Cells(2 + Dia, 9).Value = y
```

```
Cells(2 + Dia, 2).Value = Dia
```

```
If Dia = 1 Then
```

```
Cells(3, 2 + z).Value = Parametros_Tanque
```

```
Else
```

```
Cells(2 + Dia, 2 + z).Value = (Parametros_Tanque + ((Cells(1 + Dia, 2 + z).Value) * (1 -  
(Cells(1 + Dia, 9))))))
```

End If

Next z

Worksheets("Modelo").Activate

Cells(29, 3).Value = Cells(3, 3).Value + Caudal_Secundario

Dim x As Integer

For x = 1 To 14

Cells(29, 3 + x).Value = Cells(3, 3 + x).Value + Cells(28, 3 + x).Value

parametros_finais = Cells(29, 3 + x).Value

Next x

For k = 1 To 7

If Cells(29, 2 + k).Value > Cells(9, 2 + k).Value Then

Cells(29, 2 + k).Value = "X"

Err.Raise 4, "", "ERROR: Parâmetros Excedidos"

End If

Next k

'Atualiza a soma dos caudais

Caudal_Total = Cells(29, 3).Value

If Caudal_Total > limite_caudal_total Then

Err.Raise 5, "", "ERROR: Caudal Total Excedido"

Else

End If

CQO = Cells(29, 4).Value
 SST = Cells(29, 5).Value
 SSV = Cells(29, 6).Value
 P = Cells(29, 7).Value
 N = Cells(29, 8).Value
 NH4 = Cells(29, 9).Value
 biogas = Cells(29, 10).Value
 lamas_digeridas = Cells(29, 14).Value
 lamas_desidratadas = Cells(29, 16).Value
 RendElectrico_Suicultura = Cells(3, 11).Value
 RendTermico_Suicultura = Cells(3, 12).Value
 €Electrico_Suicultura = Cells(3, 13).Value
 €poli_suicultura = Cells(3, 15).Value
 €deposicao_suicultura = Cells(3, 17).Value
 RendElectrico_Secundarios = Cells(28, 11).Value
 RendTermico_Secundarios = Cells(28, 12).Value
 €Electrico_SEcundarios = Cells(28, 13).Value
 €poli_secundarios = Cells(28, 15).Value
 €deposicao_secundarios = Cells(28, 17).Value

 Lamas_Digeridas_Suicultura = Cells(3, 14).Value
 Lamas_Desidratadas_Suicultura = Cells(3, 16).Value
 Lamas_Digeridas_Secundarios = Cells(28, 14).Value
 Lamas_Desidratadas_Secundarios = Cells(28, 16).Value

Worksheets("Resultados").Activate
mistura

'Escreve na folha Resultados o dia e e melhor

Cells(3 + Dia, 2).Value = Dia
 Cells(3 + Dia, 3).Value = biogas
 Cells(3 + Dia, 4).Value = lamas_digeridas
 Cells(3 + Dia, 5).Value = lamas_desidratadas
 Cells(3 + Dia, 6).Value = CQO
 Cells(3 + Dia, 7).Value = SST
 Cells(3 + Dia, 8).Value = SSV
 Cells(3 + Dia, 9).Value = P
 Cells(3 + Dia, 10).Value = N
 Cells(3 + Dia, 11).Value = NH4

Cells(3 + Dia, 12).Value = caudal_suinicultura
Cells(3 + Dia, 13).Value = Caudal_Secundario
Cells(3 + Dia, 14).Value = Caudal_Secundario + caudal_suinicultura

Cells(3 + Dia, 33).Value = biogas
Cells(3 + Dia, 35).Value = lamas_digeridas

Worksheets("Tanque Suinicultura").Activate

Cells(2 + Dia, 6).Value = caudal_suinicultura
Cells(3 + Dia, 3).Value = (400 - (Cells(2 + Dia, 5).Value - caudal_suinicultura))

Worksheets("Produção Biogás").Activate

Cells(3 + Dia, 2).Value = Dia
Cells(3 + Dia, 3).Value = RendElectrico_Suinicultura
Cells(3 + Dia, 4).Value = RendTermico_Suinicultura
Cells(3 + Dia, 5).Value = €Electrico_Suinicultura
Cells(3 + Dia, 6).Value = RendElectrico_Secundarios
Cells(3 + Dia, 7).Value = RendTermico_Secundarios
Cells(3 + Dia, 8).Value = €Electrico_SEcundarios

Worksheets("Produção Lamas").Activate

Cells(3 + Dia, 2).Value = Dia
Cells(3 + Dia, 3).Value = Lamas_Digeridas_Suinicultura
Cells(3 + Dia, 4).Value = Lamas_Desidratadas_Suinicultura
Cells(3 + Dia, 5).Value = €poli_suinicultura
Cells(3 + Dia, 6).Value = €deposicao_suinicultura
Cells(3 + Dia, 7).Value = Lamas_Digeridas_Secundarios
Cells(3 + Dia, 8).Value = Lamas_Desidratadas_Secundarios
Cells(3 + Dia, 9).Value = €poli_secundarios

```
Cells(3 + Dia, 10).Value = €deposicao_secundarios
Cells(3 + Dia, 11).Value = €poli_suicultura + €poli_secundarios
Cells(3 + Dia, 12).Value = €deposicao_suicultura + €deposicao_secundarios
```

```
Worksheets("CustoBeneficio").Activate
```

```
Cells(3 + Dia, 2).Value = Dia
Cells(3 + Dia, 3).Value = €Electrico_Suicultura
Cells(3 + Dia, 4).Value = (€poli_suicultura + €deposicao_suicultura)
Cells(3 + Dia, 5).Value = tarifa_suicultura
Cells(3 + Dia, 6).Value = €Electrico_SEcundarios
Cells(3 + Dia, 7).Value = (€poli_secundarios + €deposicao_secundarios)
Cells(3 + Dia, 8).Value = tarifa_bovinicultura + tarifa_matadouros + tarifa_maca +
tarifa_peixe
Cells(3 + Dia, 9).Value = (Cells(3 + Dia, 3).Value + Cells(3 + Dia, 5).Value)
Cells(3 + Dia, 10).Value = (Cells(3 + Dia, 4).Value + Cells(3 + Dia, 6).Value)
Cells(3 + Dia, 11).Value = (Cells(3 + Dia, 5).Value + Cells(3 + Dia, 8).Value)
Cells(3 + Dia, 14).Value = (Cells(3 + Dia, 8).Value + Cells(3 + Dia, 9).Value)
Cells(3 + Dia, 15).Value = Cells(3 + Dia, 10).Value
Cells(3 + Dia, 16).Value = (Cells(3 + Dia, 14).Value - Cells(3 + Dia, 15).Value)
```

```
End Sub()
```