



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP



Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Viabilidade Sócio-Económica da Implementação de Digestores Anaeróbios para o Tratamento de Resíduos Provenientes das Explorações Bovinas na Grande Área Metropolitana do Porto

Joana Isabel Correia Seixas Teixeira

Tese de Mestrado desenvolvida em Ambiente Empresarial

Orientador académico: Sara Maria Dos Santos Rodrigues da Cruz
(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Joaquim Guedes
(Um dos promotores da empresa ecoinside)

Porto, Julho de 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2010/2011

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
Rua Dr. Roberto Frias
4200-465 PORTO
Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

Correio electrónico: feup@fe.up.pt

Endereço electrónico: <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente - 2010/2011 - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Resumo

A actividade bovina apresentava, em 2009, um total de 1 430 mil efectivos distribuídos por mais de 50 mil explorações, dos quais 7% se inseriam na Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP) (INE, 2011). Em Portugal, a prática mais comum reside na aplicação destes resíduos no solo, dado o seu valor como fertilizante orgânico e os baixos custos associados. No entanto, a sua aplicação incorrecta pode provocar danos não só no ambiente como a nível da saúde pública e animal. Devido à intensificação da actividade pecuária e consequentemente aumento da quantidade de resíduos espalhados no solo, surge a necessidade de implementar tratamentos de efluentes nos sistemas de gestão, havendo uma necessidade de estes serem mais sustentáveis, ambiental, social e economicamente, como é o caso da tecnologia de digestão anaeróbia, por permitir a obtenção de produto com valor comercial.

O principal objectivo desta tese consistiu em proceder à escolha de locais para a implementação de digestores anaeróbios centralizados e estudar a sua viabilidade sócio-económica.

Nos concelhos estudados, Vila do Conde, Póvoa de Varzim, Oliveira de Azeméis, Trofa, Maia e Arouca, concluiu-se que eram necessário implementar 8 centrais para tratar um total de 1 459 186 m³/ano de resíduos, perfazendo 82% do efluente total gerado nestes concelhos.

A implementação de centrais para o tratamento de efluente na área de estudo poderá ter inúmeras vantagens para o desenvolvimento da região, não obstante a necessidade de ponderar os factores externos que possam inviabilizar a sua implementação. Entre estes, o encerramento de explorações pecuárias e a aceitação dos produtores em incorporar os seus efluentes na central, serão os mais relevantes, pelo seu carácter local, devendo ser incorporados numa análise detalhada.

Palavras-Chave: Resíduos Pecuários, Digestão anaeróbia, Biogás, Viabilidade sócio-económica, Energia Renovável

Abstract

The cattle production had, in 2009, a total of 1 43 million effectives spread over 50 million farms, of which 7% were in the Great Metropolitan Area of Porto (Grande Area Metropolitana do Porto - GAMP) (INE, 2011). In Portugal, the most common practice is the application of these residues in the soil, due its value as an organic fertilizer and low cost. However, this application may cause damage not only to the environment and but also to the public and animal health. Due to the intensification of the livestock farming and consequently the increase of the spreading of waste in the soil, the need of a more sustainable treatment has been arising. Anaerobic digestion, generating a commercial product, is an example of such treatments, contributing at environmental, social and economical level.

The main objective of this thesis is the choice of sites for the implementation of centralized anaerobic digesters and the study of their socio-economical feasibility.

In the studied districts, Vila do Conde, Póvoa de Varzim, Oliveira de Azeméis, Trofa, Maia e Arouca, it was estimated that 8 anaerobic digesters were necessary to treat a total of 1 459 186 m³/year of manure, which represents 82% of the total of manure generated in the region.

The implementation of effluent treatment plants in the study area may have innumerable advantages for the region development, notwithstanding the need to consider external factors that could make its implementation unfeasible. Among these, the closure of livestock businesses and the acceptance, by the producers, of the inclusion of their effluents in the plant should be the most relevant ones and, because of their local characteristics, ought to be included in a detailed analysis.

Key words: Livestock waste, Anaerobic Digestion, Biogas, Socio-economical feasibility, Renewable energy

Agradecimentos

À ecoinside - soluções em ecoeficiência e sustentabilidade, lda, empresa de acolhimento durante o período de realização da tese no âmbito empresarial.

Ao Dr. Joaquim Guedes, orientador pela Ecoinside, pela sua disponibilidade na discussão, sugestões, revisão do manuscrito e pelo bom acolhimento na empresa.

À professora Sara Cruz, docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pelo seu apoio e disponibilidade na orientação da tese.

Ao Professor Dr. Rui Boaventura, Investigador na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela ajuda prestada.

Ao Sr. José Bioucas, por parte da Direcção-Geral de Veterinária, pelo fornecimento de dados imprescindíveis à realização deste estudo.

Aos veterinários Dr. Reis, Dr. Esteves e Dr. Ventura que por parte das Cooperativas Agrícolas de Arouca, Oliveira de Azeméis e Vila do Conde, respectivamente, facultaram dados essenciais para o desenvolvimento deste estudo.

Ao Sr. Guimarães, Técnico de Informática da secção de Planeamento do Território e Ambiente do Departamento de Civil, pela ajuda imprescindível na compreensão do software utilizado neste estudo.

E a todos que, directa ou indirectamente, me ajudaram a concluir mais uma etapa da vida.

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Objectivos	4
1.2.	Organização da Tese	4
2.	O Sector Pecuário e o Ambiente	7
2.1.	Impactes Ambientais e Regiões de Maior Pressão	8
2.1.1.	Odores	8
2.1.2.	Emissões Atmosféricas	8
2.1.3.	Contaminação de solos e águas superficiais e subterrâneas	11
2.1.4.	Apreciação Final do Impacte do Sector Pecuário em Portugal	14
2.2.	Legislação aplicada	15
2.2.1.	Outra Legislação	17
3.	Sector Bovino	19
3.1.	Evolução em Portugal	19
3.2.	Efluentes Gerados	22
3.2.1.	Factores que influenciam a produção	23
3.2.2.	Gestão do Efluente Gerado	24
4.	Grande Área Metropolitana do Porto e o Sector Bovino	53
4.1.	Enquadramento Geográfico	53
4.2.	Caracterização do sector bovino	54
4.3.	Área em estudo	55
4.3.1.	Quantificação do efluente gerado	56
5.	Localização das Centrais de Digestão Anaeróbia	63
5.1.	Metodologia	63
5.1.1.	Georeferenciação das explorações bovinas	63
5.1.2.	Núcleos de densidade	67

5.1.3. Áreas de implementação	68
5.2. Tratamento dos dados e Resultados	71
6. Viabilidade Sócio-económica	79
7. Conclusão	85
7.1. Limitações e Trabalho Futuro	86
Referências Bibliográficas	89

Lista de Figuras

Figura 1 - Distribuição percentual do efectivo animal por espécie pecuária (INE, 2011)	7
Figura 2 - Distribuição das emissões de amoníaco por sector de actividade e as diferentes contribuições por parte da agricultura em 2007 (INE, 2009)	9
Figura 3 - Contribuição do sector pecuário para a emissão de N ₂ O face à produção de estrume em 2007 (INE, 2009).....	11
Figura 4 - Fontes de azoto e respectivas contribuições relativamente ao ano de 2007 (INE, 2009).....	13
Figura 5 - Distribuição do impacto causado pelo fósforo face ao sector pecuário em 2007 (adaptado de ENEPAI, 2007).....	13
Figura 6 - Distribuição do impacto causado pela CBO ₅ face ao sector pecuário em 2007 (adaptado de ENEPAI, 2007).....	14
Figura 7 - Avaliação das regiões de maior pressão em Portugal face aos indicadores de amoníaco, azoto e GEE no ano de 2007 (INE, 2009)	15
Figura 8 - Distribuição do efectivo bovino pelas regiões nacionais em 2009 (adaptado de RA, 2011)	20
Figura 9 - Representação das explorações que se destinam à produção de leite e carne contendo uma dimensão superior a 50 efectivos em 2009 (RA, 2011)	20
Figura 10 - Incremento da dimensão média do efectivo bovino por região em 2009 face a 1999 (adaptado de RA, 2011)	21
Figura 11 - Diagrama das fases do processo de DA e os respectivos produtos gerados.	29
Figura 12 - Balanço de massa ao substrato e produtos obtidos no final do processo de DA (adaptado de ETSU, 1997)	40
Figura 13 - Diagrama referente as possíveis utilizações do biogás resultante do processo de Digestão Anaeróbia (Eds.norte, n.d.)	43
Figura 14 - Diagrama referente as possíveis utilizações do Produto Digerido resultante do processo de Digestão Anaeróbia (Eds.norte, n.d.)	44
Figura 15 - Esquema de um sistema individual de digestão anaeróbia (ADENE, 2003)	50

Figura 16 - Esquema de um sistema centralizado de digestão anaeróbia (ADENE, 2003)	51
Figura 17 - Mapa de Portugal Continental com relevo da GAMP e a identificação dos respectivos concelhos.....	53
Figura 18 - Distribuição do efectivo bovino e das explorações pelos concelhos pertencentes à GAMP em 2009 (INE, 2011)	54
Figura 19 - Peso do Margem Bruta (MBS) de leite no total das MBS das explorações agrícolas (adaptado de POBLP-EDM 2007).	55
Figura 20 - Identificação dos concelhos em estudo.....	56
Figura 21 - Distribuição do efectivo bovino em regime intensivo por concelho na região EDM, com destaque sobre a GAMP (adaptado de ENEPAI, 2007)	57
Figura 22 - Distribuição do tipo de estabulação na região de EDM (adaptado de RA, 2011)	58
Figura 23 - Variação entre 2009 - 2011 do efectivo bovino nos concelhos em estudo.....	60
Figura 24 - Marcação de todas as explorações consideradas na área em estudo.....	66
Figura 25 - Georeferenciação das explorações de Arouca e Oliveira de Azeméis e a respectiva função de densidade	67
Figura 26 - Representação dos diferentes tipos de áreas consideradas neste estudo.....	70
Figura 27 - Representação da localização das centrais abrangidas no grupo 1 e toda a sua envolvente	73
Figura 28 - Representação da localização da central dos concelhos do grupo 2 e toda a sua envolvente	74
Figura 29 - Representação dos núcleos de densidade de Oliveira de Azeméis e as respectivas áreas favoráveis e convenientes	75
Figura 30 - Representação final da localização de cada central.....	76
Figura 31 - Redução do número de produtores singulares por grupo etário entre 1999 e 2009 nos concelhos em estudo (INE, 2011)	80
Figura 32 - Distribuição da razão de continuidade da actividade por grupo etário para os diferentes grupos abrangidos	81

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Número total de efectivos por espécie pecuária em 2009 e correspondente produção de estrume e azoto total	2
Tabela 2 - Diferenciação da tecnologia de acordo com 4 parâmetros.....	27
Tabela 3 - Representação da concentração mínima de compostos n o efeito de inibição da DA	36
Tabela 4 - Custos associados ao tratamento e venda de produtos (ADENE, 2003)	45
Tabela 5 - Vantagens do processo de digestão anaeróbia	47
Tabela 6 - Distribuição do efectivo bovino pelos diferentes tipos de animais em análise.	60
Tabela 7 - Valores utilizados na quantificação do chorume produzido (CBPA, 2009)	61
Tabela 8 - Número do efectivo bovino por concelho e a respectiva quantidade de chorume gerada	62
Tabela 9 - Contabilização das explorações, do efectivo bovino e chorume que entraram na análise da localização das centrais de digestão anaeróbia.....	66
Tabela 10 - Divisão dos concelhos pelos 3 grupos e as respectivas características	71
Tabela 11 - Distribuição das freguesias da Póvoa de Varzim e Vila do Conde pelos diversos subgrupos adoptados.....	72
Tabela 12 - Características da localização de cada central, bem como a respectiva quantidade de chorume a tratar	77

Lista de Abreviaturas

AL - Algarve

ALE - Alentejo

BI - Beira Interior

BL - Beira Litoral

CBO₅ - Carência Bioquímica de Oxigénio

DA - Digestão Anaeróbia

DGV - Direcção-Geral de Veterinária

EDM - Entre Douro e Minho

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

GAMP - Grande Área Metropolitana do Porto

GEE - Gases com Efeito de Estufa

GEP - Gestão dos Efluentes Pecuários

INE - Instituto Nacional de Estatística

MB - Margem Bruta

MO - Matéria Orgânica

PDM - Planos Directores Municipais

RAN - Reserva Agrícola Nacional

REAP - Regime de Exercício da Actividade Pecuária

REN - Reserva Ecológica Nacional

RO - Ribatejo e Oeste

SANU - Superfície Agrícola Não Utilizada

SAU - Superfície Agrícola Utilizada

SPOAT - Subprodutos de Origem Animal Transformados

TM - Trás-os-Montes

UE - União Europeia

Lista de Símbolos

CH_4 - Metano

CO_2 - dióxido de carbono

H_2 - Hidrogénio

H_2S - Sulfureto de Hidrogénio

K - Potássio

N - Azoto

N_2O - Oxido nitroso

NH_3 - Amoníaco

O_2 - Oxigénio

P - Fósforo

1. Introdução

O sector agro-pecuário corresponde a uma das maiores potências da economia Portuguesa, sendo em muitas regiões o principal sector de actividade. De acordo com o último recenseamento agrícola realizado, em 2009 este sector ocupava 51 % do território nacional. Esta ocupação abrange maioritariamente áreas rurais que nos últimos anos têm sido alvo de um intenso despovoamento. No que diz respeito ao desenvolvimento social destas regiões o sector agro-pecuário possui um contributo fulcral, proporcionando uma maior fixação por parte da população activa onde este se insere, conduzindo a uma diminuição da taxa de despovoamento (ENEAPAI, 2007).

A política agrícola tem sofrido significativas alterações no que respeita aos requisitos de qualidade, segurança alimentar e ambiente. Deste modo, e para além da evolução observada a nível das restrições na legislação nacional, nomeadamente no licenciamento e exploração de actividades produtoras, os compromissos internacionais, como o Protocolo de Quioto e da Directiva-Quadro da Água, tem sido alvo de especial atenção (ENEAPAI, 2007). Os esforços desenvolvidos pelo sector agro-pecuário no cumprimento deste enquadramento legislativo têm-se feito sentir, no entanto o ritmo de adaptação por parte das diversas actividades envolventes leva à necessidade de novas abordagens e formas de intervenção.

A pecuária é uma das actividades que apresenta maior influência económica no sector agro-pecuário, no entanto, é também responsável pelas principais pressões realizadas sobre o meio ambiente. Grande parte dos efluentes líquidos gerados por esta actividade são descarregados ilegalmente em linhas de água ou no solo, provocando severos danos que tornam a sua despoluição e requalificação só viável aquando de um tratamento prévio deste efluente (ENEPAI, 2007). O Decreto-Lei nº 235/97 de 3 de Setembro, referente “à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola”, menciona que anualmente é permitida a libertação de 170 kg de azoto total por hectare de solo. Se for tida em conta a quantidade de efectivos por espécie de animal, a quantidade de estrume gerada por cada um anualmente e ainda a quantidade de azoto total presente nesse resíduo, como demonstrado na Tabela 1, é possível calcular a área total de solo necessária para se proceder a uma descarga legal do efluente gerado pela actividade pecuária.

Tabela 1 - Número total de efectivos por espécie pecuária em 2009 e correspondente produção de estrume e azoto total

	Nº de efectivos (RA, 2011)	t estrume / Animal ¹ (CBPA, 2009)	N _t / t estrume* (CBPA, 2009)
Bovinos	1 430 285	9	5,3
Suínos	1 913 161	5	7,8
Ovinos	2 219 639	2	8
Caprinos	420 711	2	8
Equídeos	56 014	10	6
Aves	35 351 548	0,083	30

¹Valores médios obtidos a partir do quadro presente no anexo II do CBPA de 2009

A área das explorações agrícolas, incluindo superfície agrícola utilizada (SAU), matas e florestas sem culturas sob-coberto e superfície agrícola não utilizada (SANU), disponível para a descarga dos efluentes gerados abrange essencialmente 4 638 044 ha (RA, 2011). Posto isto, chega-se à conclusão que no ano de 2009 era necessário 34% desta área. Tal valor é bastante aceitável, no entanto irrealista uma vez que o cenário actual não considera uma distribuição uniforme dos efluentes pelo solo, porque neste tipo de sectores formam-se habitualmente núcleos de acção, isto é, concentra a sua actividade em determinadas regiões conduzindo a impactes acentuados na mesma área. A evidência de um impacte mais acentuado em determinadas regiões pode dever-se a outro factor. De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE), em relação ao ano de 1999, e tendo como referência o ano de 2009, ocorreu uma diminuição de 51% no número total de explorações agrícolas. Esta redução abrangeu essencialmente os produtores de pequena dimensão, que quando deparados com os novos trâmites legais optaram pela cessação da actividade. Contudo, o encerramento destas explorações não pode ser visto como uma redução do impacte ambiental gerado pelo sector pecuário, podendo em determinados casos apresentar um efeito contrário. Tal facto ocorre quando as actividades de maiores dimensões, responsáveis pelos principais impactes no ambiente, aumentam a sua produção, face à procura do mercado gerada pela diminuição do número de produtores. Observa-se assim uma maior quantidade de efluente produzido que será descarregado na mesma área de solo.

A competitividade agrícola portuguesa passa agora por alcançar a sustentabilidade ambiental, conjugando o desenvolvimento económico e a necessidade de preservar o meio ambiente, assegurando que gerações futuras possam usufruir do

que temos nos dias de hoje. Desta forma há a necessidade de implementar sistemas de gestão de resíduos que encarem os efluentes gerados pelo sector agro-pecuário não como resíduo mas sim como um recurso que pode e deve ser valorizado.

Para além dos problemas gerados pelo sector pecuário, outro problema que tem vindo a ser observado, quer a nível nacional, quer mundial, é o excessivo consumo de combustíveis fósseis. Os países têm usado esta fonte no pressuposto de que é inesgotável, no entanto uma ameaça crescente sobre o desaparecimento destas reservas naturais têm-se feito sentir nos últimos anos, uma vez que a sua capacidade de reposição é menor face ao seu drástico consumo. Outro grave problema que se observa é a poluição gerada pela utilização destes: em 2007 foram libertados cerca de 5.045 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) equivalente nos 27 países membros da União Europeia, correspondendo 79 % ao uso de combustíveis fósseis no sector energético e de transportes (Eurostat, 2009). Com a dependência energética actual por parte da sociedade e dos problemas que esta fonte provoca no meio ambiente surge uma necessidade de procurar sistemas alternativos que possam evitar a escassez dos combustíveis fósseis e minimizar os problemas ambientais gerados. Cada vez mais existe uma necessidade de encontrar soluções alternativas no que diz respeito à produção de energia, visando não só o uso de recursos renováveis mas também integrando como objectivo a diminuição da poluição gerada pelo processo.

Uma boa gestão dos efluentes pecuários só pode resultar de soluções que, para além de assegurarem o cumprimento do enquadramento legislativo, alcancem a sustentabilidade técnica, económico-financeira e ambiental, tendo em atenção os modelos institucionais das políticas energéticas, dos programas de redução de gases com efeito de estufa (GEE) e da valorização de nutrientes e resíduos orgânicos. Deste modo, os problemas mencionados anteriormente, nomeadamente a necessidade de uma correcta gestão dos efluentes pecuários e a procura de soluções alternativas para a produção de energia, podem ser conjugados de modo a obter-se uma solução que os satisfaça. Posto isto, a digestão anaeróbia é um processo de tratamento biológico que, quando comparado com os restantes, apresenta algumas vantagens, permitindo não só o tratamento dos efluentes pecuários mas também a produção de subprodutos, como é o caso do biogás e o digerido, que podem ser valorizados.

1.1. Objectivos

Tendo em conta os problemas actuais do sector bovino e do sector energético e dos transportes, esta dissertação estuda a implementação de digestores anaeróbios na Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP) para o tratamento dos efluentes gerados pela actividade bovina e para a produção de biogás, como forma de valorização energética.

O presente documento pretende dar continuidade a um estudo prévio de avaliação da potencialidade da GAMP para a produção de biogás por processos de digestão anaeróbia a partir de efluentes do sector bovino (Gonçalves, 2010). Definiu-se como objectivo a avaliação das possíveis áreas para a implementação de centrais de digestão anaeróbia, face à localização das explorações pecuárias e à quantificação do seu efluente. Pretende-se posteriormente, tendo em conta a localização de cada central, avaliar os benefícios gerados no desenvolvimento da região, bem como identificar quais os factores externos que podem prejudicar a sua viabilidade.

1.2. Organização da Tese

Inicialmente, no capítulo 1, procede-se com o enquadramento da problemática, demonstrando-se a sua importância. Neste capítulo mencionam-se ainda os objectivos propostos para este estudo.

No capítulo 2 faz-se uma descrição sucinta do sector pecuário e analisam-se os diversos impactos gerados por este, assinalando-se as regiões do território nacional que apresentam maiores pressões. É ainda mencionada a legislação relevante aplicável este sector.

O capítulo 3 aborda a evolução do sector bovino e os diversos tipos de efluentes gerados, reflectindo sobre o espalhamento destes no solo e dando ênfase à digestão anaeróbia como uma forma de tratamento vantajosa.

No capítulo 4 define-se a área de intervenção do estudo dentro dos diversos concelhos abrangidos pela GAMP e procede-se com a sua caracterização, nomeadamente a nível do efluente gerado.

O capítulo 5, referente a um dos objectivos principais, apresenta a localização obtida para as centrais de digestão anaeróbia, sendo detalhadamente descrita a metodologia aplicada.

O capítulo 6, dedicado à viabilidade sócio-económica, refere os benefícios associados à implementação de centrais de digestão anaeróbia e reflecte sobre possíveis factores externos que poderão por em causa a sua implementação.

No final, capítulo 7, são apresentadas as principais conclusões deste estudo, bem como as suas principais limitações, fazendo-se ainda recomendações para trabalhos futuros.

2. O Sector Pecuário e o Ambiente

De acordo com a legislação em vigor (Decreto-Lei nº 214/2008), as actividades pecuárias são todas aquelas que englobam a “reprodução, produção, detenção, comercialização e exposição” de espécies pecuárias, podendo ainda serem incluídas outras que estejam relacionadas com este tipo de animais. Deste grupo de animais fazem parte os “bovino, suíno, ovino, caprino, equídeo, ave, leporídeo (coelhos e lebres) ou outra espécie que seja explorada com destino à sua reprodução ou produção de carne, leite, ovos, lã, seda, pêlo, pele ou repovoamento cinegético, bem como a produção pecuária de animais destinados a animais de companhia, de trabalho ou a actividades culturais ou desportivas”.

No ano 2009, a avicultura destacou-se das restantes actividades pecuárias pela sua dimensão, contendo mais de 83% do número total de efectivos das diferentes espécies pecuárias. Os suínos e os ovinos perfazem 10% do efectivo, sendo a segunda e terceira actividade de maiores dimensões, seguindo-se os bovinos e os coelhos com 3 %. As actividades ligadas às espécies pecuárias de caprinos e equídeos apresentam uma dimensão bastante reduzida, não chegando a 2% na sua totalidade (INE, 2009). Na Figura 1 é possível observar essa distribuição.

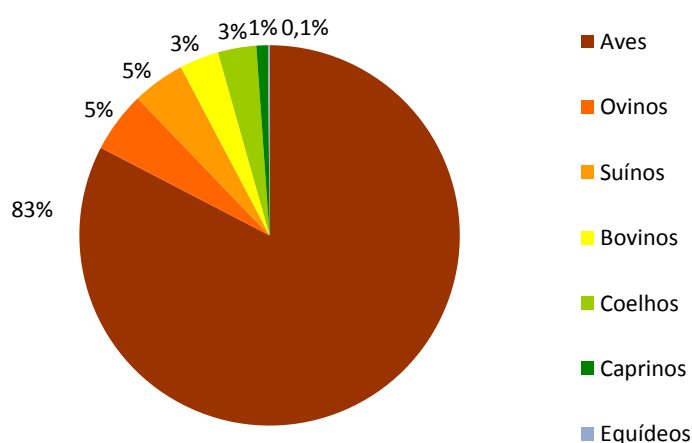


Figura 1 - Distribuição percentual do efectivo animal por espécie pecuária (INE, 2011)

2.1. Impactes Ambientais e Regiões de Maior Pressão

Conforme mencionado anteriormente os efluentes gerados pelas actividades pecuárias, quando não tratados correctamente, podem provocar danos não só no meio ambiente como problemas a nível da saúde pública e animal.

Os danos provocados por este sector no solo, água e ar encontram-se normalmente associados à (Fernandes, n.d.):

- descarga directa dos efluentes pecuários,
- sobredosagem de nutrientes que não sendo absorvidos pelas culturas agrícolas sofrem lixiviações,
- descarga dos efluentes em épocas indesejáveis,
- utilização de técnicas inapropriadas no espalhamento dos efluentes no solo,
- construção de instalações de armazenamento de baixa capacidade que obrigam ao rápido escoamento dos efluentes, entre outros problemas.

2.1.1. Odores

Os odores libertados pelas explorações pecuárias resultam essencialmente do manuseamento e armazenamento dos efluentes. A degradação da matéria orgânica pelas bactérias liberta ácidos gordos voláteis e odorantes, como o escatol, indol, fenol, p-cresol e mercaptanos, responsáveis pelo odor desagradável (Ciborowski, 2001).

De acordo com estudos realizados, pessoas expostas a odores intensos e desagradáveis tendem a apresentar dores de cabeça, ardor nos olhos e perturbações de humor significativas, causando maiores tensões, depressões, raiva e fadiga. Para além dos problemas gerados na saúde humana é possível observar condicionantes económicas, nomeadamente na venda de casas e terrenos das imediações destas actividades (Starmer, n.d.).

2.1.2. Emissões Atmosféricas

A produção de efluentes nas explorações pecuárias origina mais de 400 gases distintos, sendo os principais causadores de impactes ambientais o sulfureto de hidrogénio (H_2S), metano (CH_4), amoníaco (NH_3), dióxido de carbono (CO_2), e óxido

nitroso (N_2O). Estes, consoante as suas concentrações, provocam danos no ambiente e na saúde humana, atingindo não só os trabalhadores que se encontram directamente expostos a estes gases mas também a população em geral, directamente ou indirectamente. As instalações de recolha e armazenamento dos efluentes pecuários, para maior facilidade, encontram-se situadas normalmente por baixo das instalações dos animais. A má ventilação juntamente com uma sobrecarga dos gases tóxicos pode originar a morte de animais e trabalhadores (ST, 2011).

2.1.2.1. Amoníaco

Os danos causados pela libertação do NH_3 resultam essencialmente em problemas de eutrofização, acidificação e libertação de partículas (INE, 2009).

Á actividade agrícola, quando comparada com outros sectores, é a principal causa da libertação de emissões de amoníaco para a atmosfera, contribuindo em 2007 com 80% do total das emissões geradas, conforme é possível constatar na Figura 2. Estas resultam essencialmente da produção e gestão do efluente pecuário e a aplicação de fertilizantes no solo (INE, 2009). Em 2007, de acordo com os dados apresentados pelo INE no relatório dos Indicadores Agro-Ambientais 1989-2007, a actividade bovina foi a principal causa da emissão do NH_3 , sendo responsável por 42% das emissões totais entre as diversas espécies pecuárias, seguindo-se as aviculturas e suiniculturas com 29% e 18%, respectivamente.

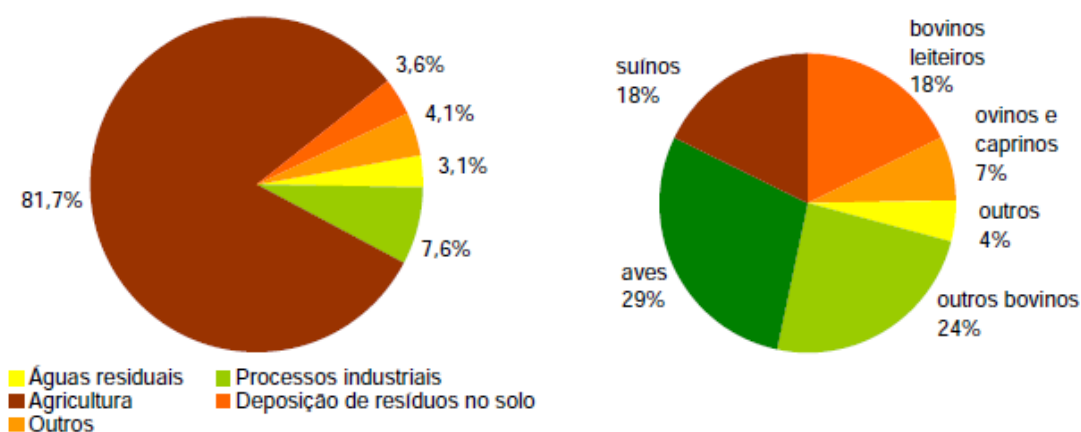


Figura 2 - Distribuição das emissões de amoníaco por sector de actividade e as diferentes contribuições por parte da agricultura em 2007 (INE, 2009)

Relativamente aos danos causados no ambiente, constatou-se que as emissões de NH_3 provenientes da actividade agrícola foram responsáveis, nesse mesmo ano, por 19% das emissões acidificantes, 30% das emissões responsáveis pela eutrofização de cursos de água e 6% levou à formação de partículas (INE, 2009).

2.1.2.2. Gases com Efeito de Estufa

Os GEE são vitais para manter o equilíbrio térmico do nosso planeta, absorvendo e emitindo raios infravermelhos para a superfície terrestre. Excessivas concentrações de gases com esse efeito, como é o caso do CO_2 , N_2O e CH_4 , entre outros, propiciam o aumento da temperatura média do planeta, provocando alterações climáticas. Em 2007, Portugal foi responsável pela emissão de 81,1 Mt de CO_2 eq, estando 38% a cima do valor de referencia para 1990. O Protocolo de Quioto estabelece que, em relação às emissões do ano de referência, Portugal pode aumentar em 27%, no entanto em 2007 esse valor foi ultrapassado em 11%. O sector que mais contribuiu para a emissão de GEE foi o da Energia e Transportes com uma quota de 71%. Por sua vez a agricultura foi responsável por 9% do total das emissões dos GEE, observando-se uma diminuição face a 2000 em 2% (INE, 2009).

Os gases que quantitativamente apresentam impactes mais nefastos para o ambiente e saúde pública e animal na actividade agrícola são o CH_4 e o N_2O que quando comparados com o CO_2 possuem um efeito cerca de 21 e 310 vezes superior, respectivamente. A libertação destes deriva da fermentação entérica, produção de efluente pecuário, cultura do arroz, solo agrícola e queima de resíduos agrícolas (ADENE, 2003; INE, 2011).

CH_4

Em 2007, e referente à actividade agrícola, o metano contribuiu em mais de 50% do total das emissões de GEE. A fermentação entérica juntamente com a produção de estrume foram as principais fontes para a produção deste gás, contribuindo com 65% e 25% respectivamente. Os restantes 10% dividem-se pelas culturas de arroz e a queima de resíduos agrícolas. Na fermentação entérica a espécie pecuária que mais contribui para a produção de metano foi a dos bovinos, abrangendo 70% do gás emitido. No que diz respeito à produção de efluente pecuário os suínos contribuíram com mais de 90% do metano produzido, ficando os bovinos com uma parcela de 6% (INE, 2011).

N₂O

Ao contrário da produção de CH₄, a libertação de N₂O dá-se essencialmente pela produção de efluente pecuário. As principais espécies que contribuíram em 2007 para essa produção foram as aves e os bovinos libertando respectivamente 49% e 29% das emissões de N₂O, como se pode observar pela Figura 3. Em comparação com o elevado teor de metano produzido, os efluentes derivados das suiniculturas apenas produziram 2% das emissões totais de N₂O (INE, 2011).

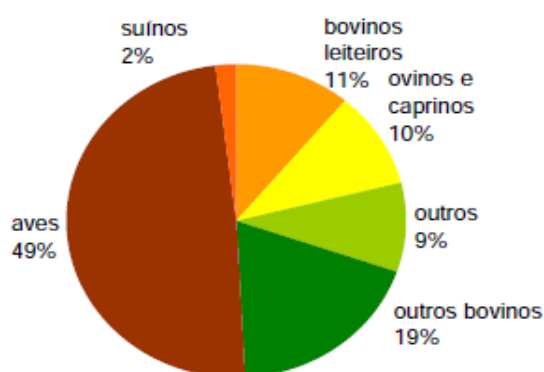


Figura 3 - Contribuição do sector pecuário para a emissão de N₂O face à produção de estrume em 2007 (INE, 2009)

No final, o sector pecuário contribui com mais de 61% das emissões de GEE na actividade agrícola, sendo os bovinos, com 28%, e os suínos, com 15%, os principais responsáveis por essas emissões (ADENE, 2003).

2.1.3. Contaminação de solos e águas superficiais e subterrâneas

Os nutrientes presentes no efluente pecuário, nomeadamente o Azoto, o Fósforo e o Potássio, quando aplicados no solo em concentrações adequadas desempenham um papel fundamental no desenvolvimento das culturas agrícolas, funcionando como um fertilizante orgânico natural. Contudo, estes efluentes apresentam elevadas concentrações destes nutrientes provocando danos nefastos quando descarregados ilegalmente, pondo em causa a qualidade do solo e da água. Os problemas normalmente associados devem-se à perda de biodiversidade, face à absorção por animais e plantas destes constituintes que afectam o seu funcionamento podendo muitas vezes levar à morte, bem como danos gerados na saúde humana face ao consumo contínuo de água e alimentos contaminados, como é o caso do aumento da incidência de cancro de estômago, síndrome do Bebê Azul e ainda problemas no

desenvolvimento de fetos ou mesmo aborto espontâneo em mulheres grávidas (Fernandes, n. d.; ST, 2011; UM, 2011).

2.1.3.1. Azoto

Uma forma de avaliar a carência, ou excedência, do azoto no solo é através do seu balanço. Este resulta da diferença entre a soma de todas as emissões de azoto para o ambiente e a quantidade que as culturas agrícolas conseguem remover.

As emissões de N devem-se essencialmente à:

- aplicação de fertilizantes inorgânicos,
- deposição de efluentes pecuários,
- fixação por culturas leguminosas,
- e ainda à deposição atmosférica (INE, 2009).

Num sistema em equilíbrio o balanço é nulo, registando-se valores de nutrientes azotados fornecidos iguais àqueles necessários para o adequado desenvolvimento das culturas agrícolas. De uma forma sintetizada este balanço pode ser escrito através da seguinte forma:

$$\text{Balanço do Azoto} = (\text{Fertilizantes} + \text{Estrume animal} + \text{Fixação biológica} + \text{Deposição atmosférica}) - \text{Culturas agrícolas}$$

Na distribuição das emissões de azoto pelas diversas fontes no ano de 2007, representada na Figura 4, observa-se que o sector pecuário foi o principal responsável pela incorporação do azoto no solo, contribuindo com mais de 61% das emissões totais, seguindo-se a utilização de fertilizantes, com 30% do azoto total presente no solo. A fixação biológica e a deposição atmosférica perfazem os restantes 10%. Dentro do sector pecuário, destacaram-se os bovinos como principais responsáveis pela incorporação do azoto no solo, tendo contribuído com 1/5 do azoto total depositado.

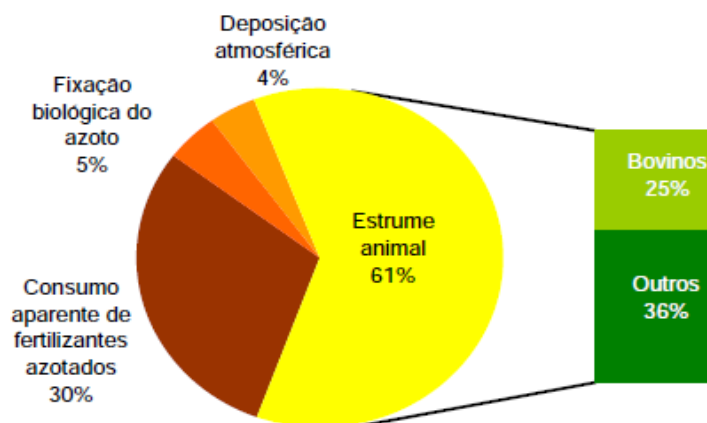


Figura 4 - Fontes de azoto e respectivas contribuições relativamente ao ano de 2007 (INE, 2009)

2.1.3.2. Fósforo

A carga poluente provocada pelo sector pecuário face à presença de fósforo no efluente deve-se essencialmente à actividade avícola com quase metade do impacte gerado, tal como se pode observar a partir da Figura 5. As suiniculturas e boviniculturas apresentam respectivamente 36% e 21% da carga poluente gerada pelos três sectores pecuários.

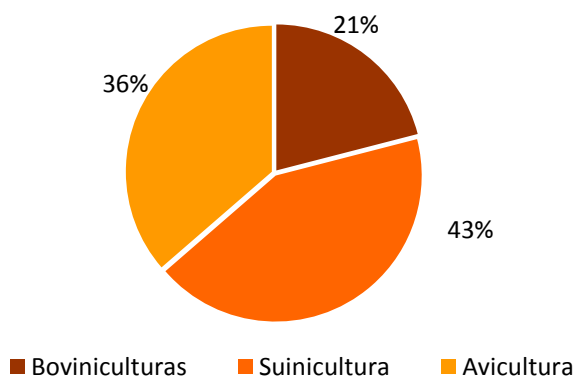


Figura 5 - Distribuição do impacto causado pelo fósforo face ao sector pecuário em 2007 (adaptado de ENEPAI, 2007)

2.1.3.3. Matéria orgânica (Carência Bioquímica de Oxigénio)

A descarga em cursos de água de um elevado teor de matéria orgânica (MO), normalmente presente no efluente pecuário, conduz à degradação da fauna e da flora. As bactérias aeróbias ao degradarem o efluente consomem grande parte do oxigénio dissolvido criando elevados défices deste no meio aquático. Estes défices são habitualmente identificados pela carência bioquímica de oxigénio, CBO_5 (Fernandes, n.

d., ENEPAI, 2007). Analisando o impacto gerado pelo sector pecuário, constata-se que mais de metade deste provem das explorações de bovinos, sendo responsável por 54% do impacto como observado na Figura 6. A exploração de suínos apresenta um impacto mais elevado quando comparada com a criação de aves, sendo respectivamente 28% e 18%.

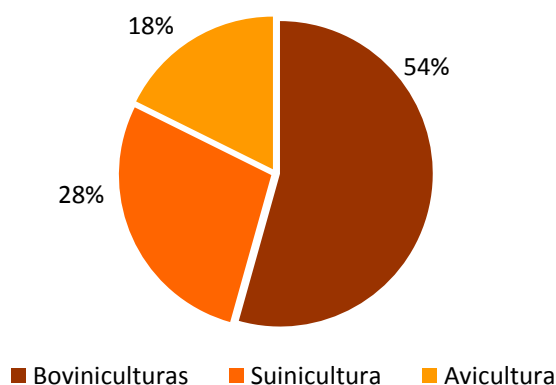


Figura 6 - Distribuição do impacto causado pela CBO₅ face ao sector pecuário em 2007 (adaptado de ENEPAI, 2007)

2.1.3.4. Agentes Patogénicos e Parasitas

Outra precaução a ter em atenção aquando da descarga do efluente pecuário no solo é em relação à presença de agentes patogénicos. Estes podem ser bactérias, vírus, protozoários, fungos ou helmintos, sendo as estirpes mais frequentes *Cryptosporidium*, *Streptococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* e *Mycobacterium praetuberculosis* (Ciborowski, 2001). Os problemas provocados por estes agentes na saúde humana podem variar desde diarreias, cólera, febre tifóide e paratífóides e gastroenterites, podendo em casos raros levar à morte do indivíduo portador deste agente (FCT, 2011).

2.1.4. Apreciação Final do Impacte do Sector Pecuário em Portugal

Seria de esperar que o sector avícola, face ao elevado número de efectivos em relação às outras espécies pecuárias, apresentasse elevados impactes no ambiente. Contudo, tendo em conta os impactes mencionados previamente e a contribuição das espécies pecuárias na sua geração, observa-se uma forte tendência por parte do sector bovino como o principal contribuinte nas emissões de NH₃, GEE, N e MO, responsável por valores elevados da CBO₅ em cursos de água.

No território nacional é possível distinguir-se claramente as regiões mais afectadas pelos compostos mencionados ao longo do capítulo anterior, verificando-se zonas de maiores pressões onde existe maior necessidade de intervenção. Avaliando em conjunto os indicadores de impacte ambiental observa-se pela Figura 7 que as regiões mais afectadas em 2007 foram o Litoral Norte e Centro, situação que persiste face às características do sector bovino aí inserido, como será mencionado mais à frente, no seguimento do trabalho.

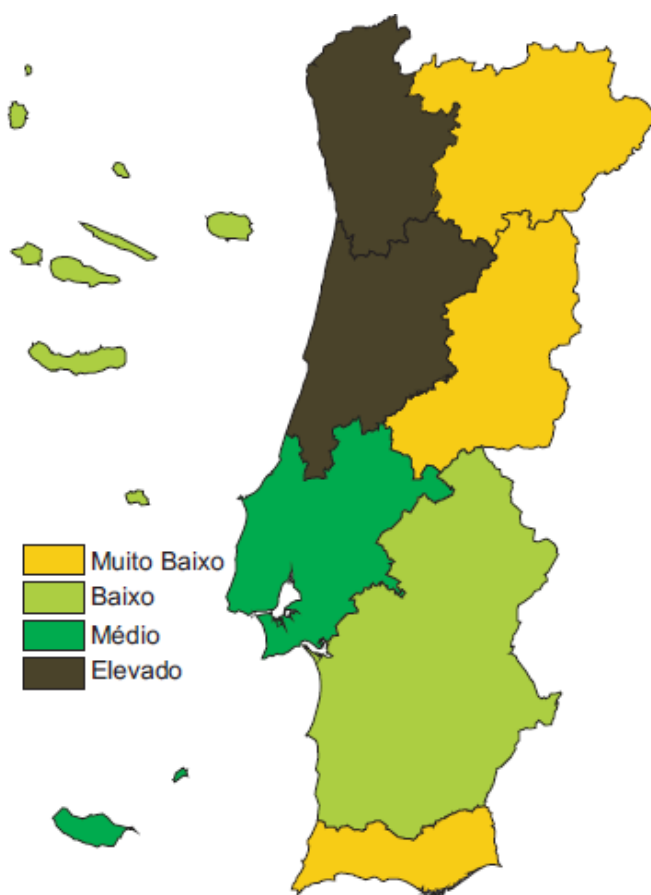


Figura 7 - Avaliação das regiões de maior pressão em Portugal face aos indicadores de amoníaco, azoto e GEE no ano de 2007 (INE, 2009)

2.2. Legislação aplicada

As preocupações com o impacte que o sector pecuário provoca no ambiente, a curto, médio e longo prazo, fazem-se sentir cada vez mais, observando-se medidas e cumprimentos legais para a gestão dos efluentes pecuários cada vez mais restritos.

O Decreto-Lei nº 214/2008, de 10 de Novembro, estabelece o Regime de Exercício da Actividade Pecuária, REAP, “nas explorações pecuárias, entrepostos e centros de agrupamento, garantindo o respeito pelas normas de bem-estar animal, a

defesa higio-sanitária dos efectivos, a salvaguarda da saúde, a segurança de pessoas e bens, a qualidade do ambiente e o ordenamento do território, num quadro de sustentabilidade e de responsabilidade social dos produtores pecuários”. Esta legislação ainda estabelece o “regime a aplicar às actividades de gestão, por valorização ou eliminação, dos efluentes pecuários, anexas a explorações pecuárias ou autónomas, isto é, às unidades intermédias, aos entrepostos de fertilizantes orgânicos e às unidades de compostagem e de produção de biogás”. Foram ainda estabelecidas normas individuais, através de portarias para cada espécie pecuária, envolvendo a regulamentação da detenção e produção animal, bem como o regime aplicável à gestão de efluentes pecuários.

Outro documento legislativo que estabelece normas a aplicar à Gestão dos Efluentes Pecuários, GEP, é a **Portaria nº 631/2009**, de 9 de Junho. Esta apresenta normas técnicas “no âmbito do licenciamento das actividades de valorização agrícola ou de transformação dos efluentes pecuários, tendo em vista promover as condições adequadas de produção, recolha, armazenamento, transporte, valorização, transformação, tratamento e destino final”. Apresenta ainda normas que abrangem o “armazenamento, transporte e valorização de outros fertilizantes orgânicos, nomeadamente os produtos derivados de subprodutos de origem animal transformados (SPOAT) e os fertilizantes que os contenham”.

O **Decreto-Lei nº 235/97** de 3 de Setembro transpõe a Directiva nº 91/676/CEE, de 12 de Dezembro de 1991, referente à “protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola”. O presente documento legal tem como objectivos promover “a redução da poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola, bem como impedir a propagação desta poluição”.

O Regulamento (CE) nº 1774/2002, do Parlamento Europeu e do Conselho, estabelece “regras sanitárias relativas aos subprodutos animais não destinados ao consumo humano”, nomeadamente na recolha, transporte, armazenamento, manuseamento, transformação e utilização ou eliminação destes compostos, bem como a sua colocação no mercado, tendo em atenção à exportação e ao trânsito de subprodutos animais e dos produtos deles derivados. O **Decreto-Lei nº 122/2006** de 27 de Junho que transcreve esse regulamento e assegura o seu cumprimento.

2.2.1. Outra Legislação

Para além da legislação nacional e comunitária aplicável, há que ter em atenção os compromissos assumidos internacionalmente, nomeadamente no domínio do controlo das alterações climáticas para respeitar metas nacionais para as emissões de GEE, o Protocolo de Quioto e a preservação do meio aquático (Directiva-Quadro da Água).

2.2.1.1. Protocolo de Quioto

As alterações climáticas, provocadas pela emissão de gases resultantes de actividades antropogénicas, são hoje em dia um dos problemas mais graves a nível mundial. Em 1992 na Conferência do Rio de Janeiro foi assinado um protocolo representando a união de várias nações num esforço colectivo pela redução das emissões de GEE.

O Protocolo de Quioto aponta os limites de emissões de GEE para 37 países durante o período 2008 - 2012, estabelecendo uma redução global de 5% face aos níveis emitidos em 1990 ano de referência, implicando uma redução de 8% destes na União Europeia (UE). Portugal, em relação ao ano de referência, poderá aumentar as emissões nacionais em 27% (ADENE, 2003).

A EU ao longo dos últimos anos tem assumido uma posição de liderança no que se refere à emissão de GEE. Face à finalização do período imposto pelo Protocolo de Quito o Parlamento Europeu aprovou um conjunto de medidas mais ambiciosas para a redução de GEE até 2020. O Pacote Clima-Energia: “três vintes”, aprovado a 18 de Dezembro de 2008, estabelece que em relação ao ano de referencia, 1990, a UE tem que (PE, 2011):

- reduzir em 20%, ou mesmo em 30% dependendo dos acordos internacionais, as emissões de GEE,
- aumentar em 20 % a quota-parte das energias renováveis, em especial no sector dos transportes onde se pretende aumentar em 10% o uso dessas energias,
- reduzir em 20% o consumo energético.

2.2.1.2. Directiva-Quadro da Água

A Directiva 2000/60/CE, de 23 de Outubro, transposta para o direito interno pela **Lei nº 58/2005** de 29 de Dezembro (Lei da Água), estabelece acções a nível comunitário no domínio da política da água. Esta tem como pressuposto estabelecer um enquadramento para a protecção de “águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas”, tendo como objectivo atribuir “medidas específicas para a redução gradual das descargas, das emissões e perdas de substâncias prioritárias e da cessação ou eliminação por fases de descargas, emissões e perdas dessas substâncias prioritárias”, bem como a “redução gradual da poluição das águas subterrâneas e evitar a agravação da sua poluição”.

3. Sector Bovino

Conforme foi referido no capítulo anterior, a bovinicultura é o sector pecuário o que maiores pressões provoca no ambiente e saúde pública e animal, sendo o principal causador dos GEE e da contaminação do solo por excesso de nutrientes depositados, em especial nas regiões Entre Douro e Minho (EDM) e Beira Litoral (BL).

As explorações bovinas podem ser classificadas de acordo com a sua finalidade, nomeadamente para a produção de leite ou carne, bem como a nível do regime de exploração utilizado, intensivo ou extensivo.

A quantidade de efluente gerado varia consideravelmente com a finalidade da exploração: em explorações destinadas à produção de leite as vacas são normalmente designadas por leiteiras e os bois denominam-se de recria, no caso da produção de carnes estes animais já tomam a designação de aleitantes e engorda, respectivamente. O regime de exploração extensivo, que consiste na utilização do “pastoreio em todas as fases do seu processo produtivo”, é normalmente usado em explorações destinadas à produção de carne não apresentando elevados impactes no solo, uma vez que não ocorre o armazenamento de efluentes pecuários e sendo os dejectos dos animais utilizados como correctivo orgânico. Já as explorações em regime intensivo, que não recorrem ao pastoreio apresentando áreas cobertas ou ao ar livre, encontram-se mais direccionadas para explorações que tenham como fim a produção de Leite. Neste tipo de explorações ocorre a formação e armazenamento de efluentes que necessitam de ser espalhados no solo ou tratados previamente (Decreto-lei nº 202/2005).

3.1. Evolução em Portugal

Analisando o último recenseamento agrícola de 2009 a actividade bovina apresentava um total de 1 430 mil efectivos distribuídos por mais de 50 mil explorações. Conforme observado na Figura 8, a região Alentejana (ALE) sobressai-se das demais, sendo responsável pela maior quota do efectivo nacional, 39%, seguindo-se a região EDM e a ilha dos Açores com 18% e 17%, respectivamente. As restantes regiões, nomeadamente Ribatejo e Oeste (RO), BL, Trás-os-Montes (TM), Beira Interior (BI), Algarve (AL) e Madeira, perfazem na sua totalidade 26% do efectivo nacional.

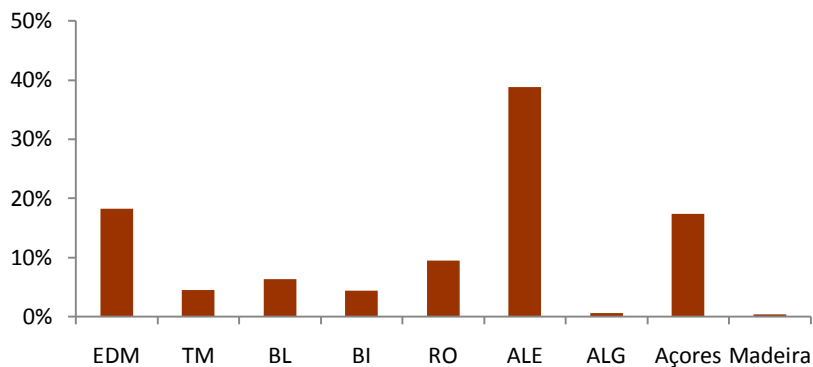


Figura 8 - Distribuição do efectivo bovino pelas regiões nacionais em 2009 (adaptado de RA, 2011)

Em relação ao ano de 1999 observou-se uma redução de 51% no número total de explorações em Portugal, sendo notório principalmente nas explorações destinadas à produção de leite, ocorrendo uma redução de 68%.

O efectivo bovino leiteiro decaiu consideravelmente em todas as regiões, com excepção do Alentejo, observando-se reduções na ordem dos 45% para a BL, 19% para EDM e 6% para os Açores. Contudo, a produção de leite permaneceu constante face à instabilidade do sector, resultado este que se deve a um incremento da produtividade. Em 2009, 21% das explorações destinavam-se à produção de leite, onde constavam cerca de 20% do efectivo nacional como leiteiro. Pela Figura 9 pode-se constatar que as regiões de EDM e BL, juntamente com a ilha dos Açores, encontram-se vocacionadas para a produção de leite, detendo $\frac{3}{4}$ do efectivo leiteiro total (RA, 2011).

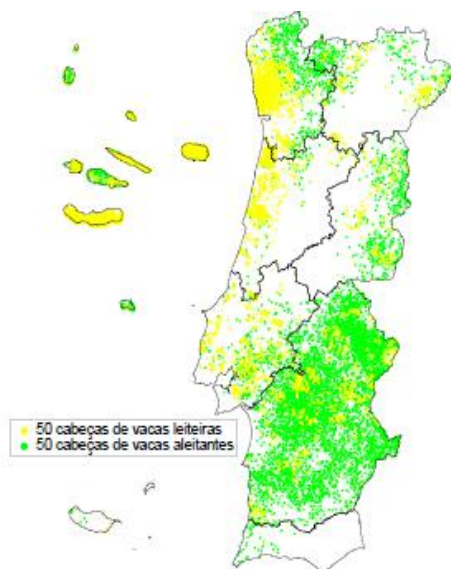


Figura 9 - Representação das explorações que se destinam à produção de leite e carne contendo uma dimensão superior a 50 efectivos em 2009 (RA, 2011)

Em contrapartida, de 1999 para 2009, o número total de efectivos nacionais aumentou em 1%, observando-se um incremento no número de bovinos destinados à produção de carne. No Alentejo, região onde se observa uma intensa actividade deste tipo, ocorreu um aumento de 42%. Na BI, nos Açores e Madeira também se registou um incremento no efectivo bovino em 12%, 4,3% e 3,4%, respectivamente. As restantes regiões depararam-se com uma redução do efectivo bovino em especial a BL com -41% e o ALG com -34% (RA, 2011).

A relação entre o balanço negativo, observado para o número de explorações, e o positivo, face ao incremento do efectivo bovino nacional, pode ser avaliada consoante a dimensão média do efectivo bovino, que consiste no número médio de bovinos que cada exploração apresenta.

Através da Figura 10 é possível observar um aumento do número de bovinos por exploração em todas as regiões, contudo a variação entre elas é significativa sobretudo em relação ao Alentejo e à Madeira que apresentavam em 2009 138,4 e 4,6 cabeças em média por exploração, respectivamente.

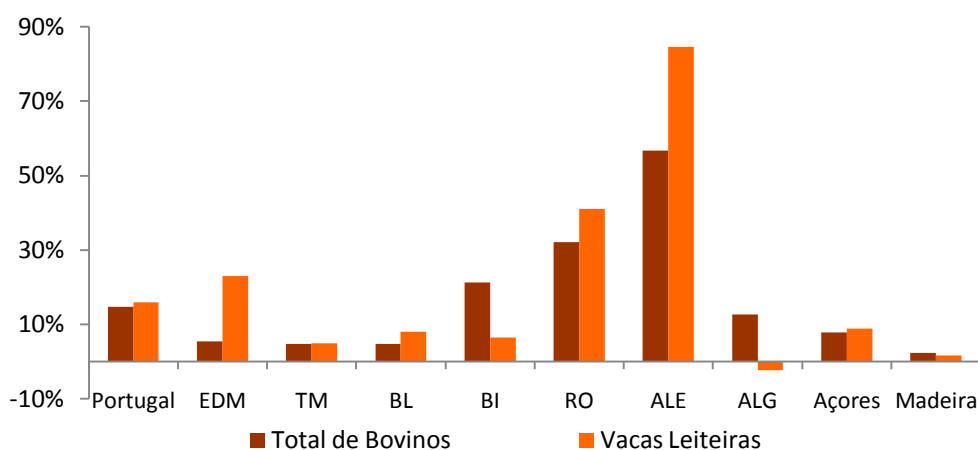


Figura 10 - Incremento da dimensão média do efectivo bovino por região em 2009 face a 1999 (adaptado de RA, 2011)

Tendo-se em conta o efectivo leiteiro, onde se observou o maior decréscimo a nível do números de efectivos, constata-se que a dimensão média passa de 10,8 para 26,7 cabeças/exploração. Na região de EDM esse incremento ainda é mais acentuado correspondendo ao triplo da dimensão apresentada em 1999, passando de 10,9 para 33,9 cabeças/exploração. Observa-se uma tendência para o encerramento de explorações de pequenas dimensões, no entanto cerca de 31% destas são constituídas por 1 ou 2 animais e 62% por menos de 10 animais (RA, 2011).

3.2. Efluentes Gerados

Das explorações bovinas, em especial as que se encontram destinadas à produção de leite face ao seu grau de intensificação e especialização, resultam elevadas quantidades e diversos tipos de efluentes. Estes encontram-se descritos no Decreto-Lei nº 202/2005 e abrangem:

- **Águas Brancas**, que derivam essencialmente da “lavagem da instalação de ordenha e do tanque de refrigeração do leite” e contêm “vestígios de leite e de soluções de limpeza, nomeadamente detergentes e desinfectantes”.
- **Águas Verdes**, também resultantes de lavagens no entanto de “áreas de espera, do pavimento e das paredes da sala de ordenha”, apresentando vestígios de produtos de limpeza e pequenas concentrações de dejectos.
- **Chorume**, que consiste numa “mistura de dejectos sólidos e líquidos com águas brancas e verdes, podendo ainda conter “restos de rações, de palhas ou de fenos, podendo apresentar um maior ou menor grau de diluição e incluir as escorrências provenientes das nitreiras”.

No entanto, existem ainda mais dois tipos de efluentes gerados por esta actividade que convêm ser mencionados, sendo estes:

- **Estrume**, que apresenta uma composição semelhante à do chorume sendo composto por uma mistura de fezes e urina. No entanto, a diferença deste reside no elevado teor de sólidos que contem, uma vez que integram grandes quantidades de diferentes componentes utilizados nas camas dos animais, não apresentando escorrência líquida (POBLP-EDM, 2007).
- **Águas lixiviantes**, que resultam do processo de ensilagem das forragens onde actuam bactérias fermentativas. Esta técnica é muito utilizada na conservação de alimentos, podendo este ser utilizado nas épocas do ano em que é mais escasso (POBLP-EDM, 2007).

Usualmente apenas é quantificado o estrume e o chorume, uma vez que este último engloba normalmente na sua composição a maior parte dos efluentes líquidos gerados pelas explorações bovinas. O Código de Boas Práticas Agrícolas (CBPA) apresenta orientações que permitem quantificar o resíduo produzido anualmente por animal, no entanto existem diversos factores que influenciam as quantidades produzidas bem como as suas características. No anexo 1 encontra-se representado a quantidade de efluente gerado pelos diversos tipos de animais bem como a quantidade de nutrientes que contem.

3.2.1. Factores que influenciam a produção

A espécie pecuária, a idade do animal, o seu regime alimentar, a forma como é criado, regime intensivo ou extensivo, e a finalidade da sua exploração, produção de leite ou carne, são factores que influenciam a quantidade de efluente gerado (CBPA, 1997). Outros factores, de carácter mais técnico, também alteram a composição e a quantidade de efluente produzido, nomeadamente:

- ***Tipo de estabulação***

Dá-se o nome de estabulação ao espaço físico onde os animais se encontram confinados, excluindo-se cercas, currais e outras instalações características das explorações em regime extensivo. O tipo de estabulação pode ser diferenciado de acordo com a liberdade de movimento do animal no interior das instalações, podendo ser presa quando este se encontra confinado a lugares individuais ou livre onde circula livremente pelos locais a que possui acesso, ou de acordo com a predominância do tipo de resíduo gerado, nomeadamente estrume e/ou chorume (RA, 2009).

- ***Recolha de efluentes e operações de limpeza***

A forma como os efluentes são recolhidos influencia a quantidade que é armazenada, podendo ser realizada por arrastamento hidráulico, manual ou mecânico. O mecanismo de limpeza pode ainda variar de acordo com a instalação em causa, no alojamento o mais utilizado é a remoção manual, em 43% dos casos, por outro lado nas salas de leite e ordenha utiliza-se essencialmente o arrastamento hidráulico, 85% dos casos (Durão, 2009).

Os volumes e frequências das operações de lavagem também apresentam um peso substancial no volume de efluente, no entanto estes factores variam consideravelmente de produtor para produtor (CBPA, 1997). Estima-se que 78% das explorações procedem com uma limpeza diária das explorações e que em 16% esta é semanal (Durão, 2009). No anexo 2 encontra-se uma estimativa da quantidade de água utilizada na lavagem das instalações anualmente por animal.

- ***Sistemas de recolha de águas pluviais***

Os sistemas de recolha de água das chuvas quando se encontram direccionados para os tanques de armazenamento de efluentes apresentam diversos transtornos, nomeadamente no aumento do volume de efluente a tratar e na necessidade de tanques de armazenamento maiores, implicando custos adicionais. Esta mistura pode

ainda provocar alterações nas condições de diluição do efluente, que dependendo do seu fim pode, ou não, ser considerado como vantajoso (POBLP-EDM, 2007).

– ***Quantidade e natureza do material usado nas camas***

A utilização e a quantidade de materiais de cama não sintéticos, como palhas, serradura, aparas de madeira, ou outros, condicionam o tipo de resíduo produzido. O estrume é caracterizado como contendo elevados teores de sólidos que provêm essencialmente das camas de animais. Por outro lado o chorume é um efluente mais líquido que apresenta teores de sólidos mais reduzidos por não conter elevadas quantidades de materiais de camas. A natureza dos materiais utilizados nas camas influencia a biodegradabilidade do resíduo (CBPA, 1997).

3.2.2. Gestão do Efluente Gerado

Apesar da drástica redução do número de explorações, a intensificação da dimensão do efectivo por exploração é bastante notória. Um incremento do número de bovinos traduz-se num aumento de efluentes gerados e numa acentuação do impacte gerado, existindo necessidade de se proceder a uma correcta gestão destes resíduos.

3.2.2.1. Aplicação directa no solo

Para o pleno crescimento das culturas agrícolas estas necessitam de ter à sua disposição diversos nutrientes, como o azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, níquel, boro, molibdénio e cloro, em quantidades e proporções adequadas. Como se pode constatar, os efluentes produzidos pelos bovinos apresentam quantidades apreciáveis de alguns destes nutrientes estando reconhecido o seu valor fertilizante. Este pode ainda ser usado como corrector orgânico, melhorando as propriedades físicas e biológicas do solo (CBPA, 1997).

A falta de conhecimento por parte dos produtores sobre as necessidades nutricionais que as suas culturas agrícolas apresentam e as características fertilizantes que os efluentes possuem levam normalmente à deposição excessiva de nutrientes. Conforme mencionado no capítulo 2.1 a sobrecarga destes compostos no solo provoca danos no ambiente e na saúde humana e animal. Contudo, mesmo que o produtor seja portador desse conhecimento, existem outras condicionantes na aplicação dos efluentes que tornam este método pouco eficiente (Durão, 2009).

3.2.2.1.1. Condicionantes da aplicação

Quando se fala da aplicação de efluentes no solo à que ter em atenção as restrições presentes na legislação em vigor.

De acordo com o Decreto-Lei nº 202/2005 é estritamente proibida a descarga destes resíduos nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, em solos inundados ou inundáveis e declivosos, de acordo com as normas do CBPA, e nas margens das linhas de água. Nesta legislação ainda é mencionada a necessidade de aplicar adjuvantes antiodor nas descargas realizadas a menos de 70 m das habitações de terceiros bem como os limites da quantidade de efluente que pode ser descarregado por hectare anualmente. O CBPA apresenta ainda orientações sobre as melhores épocas e dias para a aplicação do efluente nos diversos tipos de culturas, de forma a aumentar a absorção por parte destas e reduzir possíveis impactes gerados.

As restrições na aplicação dos efluentes em determinadas alturas do ano e a condicionante da quantidade a aplicar obrigam à necessidade de tanques de armazenamento maiores, face à necessidade de armazenar os excedentes por períodos de tempo mais elevados. Para além do aumento dos custos associados, há problemas decorrentes da intensificação e proliferação de maus cheiros bem como emissões de gases face às degradações que ocorrem (CBPA, 1997).

O espalhamento do efluente é outro factor que pode condicionar a utilização deste método. Em Portugal esta técnica é tradicionalmente realizada com recurso a cisternas equipadas por um prato difusor ou canhão que apresentam diversos inconvenientes, nomeadamente no agravamento da libertação de maus cheiros, perdas de azoto amoniacal por volatilização que levam à formação de aerossóis, contaminação microbiológica e proliferação de insectos. Outro problema que pode ser observado consiste na libertação de partículas para o ar que apresentam efeitos adversos na saúde humana quando inaladas (Fernandes, n.d.; CBPA, 1997; UM, 2011). Existem outras formas de se proceder com o espalhamento do efluente no solo ou normas para se proceder com a sua incorporação no solo, no entanto estas traduzem-se em maiores custos e/ou tempo dispendido não sendo frequentemente usadas mesmo quando impostas por lei.

A existência de inúmeros entraves em relação à aplicação do efluente no solo, bem como às suas condições de armazenamento, leva, em maior parte dos casos, a irregularidades na utilização deste método que provocam severos danos. Existe uma

necessidade de implementar sistemas de gestão para o tratamento de efluentes pecuários que permitam não só uma maior sustentabilidade ambiental mas também que apresentem vantagens sociais e económicas.

3.2.2.2. Tratamento

São diversas as tecnologias disponíveis para o tratamento dos resíduos pecuários que resultam do uso individual ou combinado de processos físicos, químicos e biológicos. O objectivo principal que leva à implementação deste tipo de sistemas consiste em minimizar possíveis impactes que podem ser gerados no solo, água e atmosfera. Posto isto, estas tecnologias são avaliadas consoante a sua eficácia em estabilizar os resíduos, proceder com uma correcta gestão dos nutrientes presentes nestes, evitar a propagação de odores, minimizar as emissões gasosas libertadas para a atmosfera e ainda reduzir a presença de agentes patogénicos (Ogejo, 2009).

Existem essencialmente seis métodos que permitem reduzir o potencial poluidor dos resíduos pecuários de acordo com os critérios de eficácia mencionados anteriormente: digestão anaeróbia, armazenamento, calagem, pasteurização e compostagem da fracção líquida e sólida (FEC, 2003).

De entre os diversos métodos utilizados no tratamento da matéria orgânica o processo de digestão anaeróbia é tido como um dos mais importantes e vantajosos, sendo utilizado há mais de um século em processos industriais e na estabilização de águas residuais. A constante evolução tecnológica observada ao longo destes anos permitiu que nos dias que decorrem este método seja aplicado em diversos sectores para os mais diversos fins, nomeadamente no sector pecuário (Burke, 2001).

De seguida é feita uma descrição sucinta do processo de digestão anaeróbia, não sendo abrangido no âmbito desta dissertação qualquer referência aos restantes métodos que podem ser utilizados no tratamento dos resíduos gerados pelas boviniculturas.

3.2.2.2.1. Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo controlado que ocorre na ausência de oxigénio. Este é levado a cabo por microorganismos anaeróbios que, quando se encontram em condições favoráveis à degradação, transformam moléculas de elevado grau de complexidade em moléculas mais simples, ocorrendo a produção de uma fracção gasosa e uma sólida-líquida com potencial de valorização (ADENE, 2003).

Um sistema de tratamento anaeróbio normalmente é composto inicialmente por tanques que armazenam os efluentes recolhidos, estes normalmente são providos de sistemas de ventilação que permitem não só fornecimento de uma nova corrente gasosa mas também o encaminhamento do ar extraído para sistemas de purificação. O efluente pode sofrer ainda um pré-tratamento de modo a melhorar as suas características, sendo posteriormente encaminhado para um reactor fechado, digestor, onde ocorre a degradação. Os produtos resultantes podem sofrer um pós-tratamento, quando necessário, sendo armazenados e posteriormente valorizados.

O tipo de tecnologia utilizada no processo de digestão anaeróbia pode ser diferenciado de acordo com 4 parâmetros, temperatura, teor de sólidos presentes no substrato, a alimentação do substrato e tipo de reactor, como se pode observar pela Tabela 2 (AD, 2011).

Tabela 2 - Diferenciação da tecnologia de acordo com 4 parâmetros

Temperatura	- Mesofílico, 25-45 °C
	- Termofílica, 50-60 °C
Teor de Sólidos	- Húmido, 5-15% de matéria seca
	- Seco, >15% de matéria seca
Alimentação do Substrato	- Descontínuo
	- Contínuo
Tipo de reactor	- Simples, apenas um reactor
	- Em série, dois ou mais reactores onde ocorrem etapas distintas do processo

3.2.2.2.1.1. Descrição do processo

O processo de digestão anaeróbia encontra-se dividido em quatro etapas distintas, caracterizadas de acordo com o tipo de reacção e os microorganismos envolvidos.

A hidrólise consiste na primeira etapa do processo de DA. Esta pode ocorrer na presença de oxigénio (O_2), por intermédio de bactérias hidrolíticas que libertam enzimas extra celulares. O substrato, composto maioritariamente por hidratos de carbono, proteínas e lípidos, é então convertido em compostos mais simples, nomeadamente açúcares, aminoácidos e ácidos gordos de cadeia longa. A duração desta etapa encontra-se condicionada pela quantidade de O_2 disponível no reactor. Quando este é consumido ocorre a formação de CO_2 , água e calor, resultante da degradação exotérmica. O aumento da temperatura e a reduzida presença de O_2 leva à activação das bactérias acidogénicas, que utilizam os compostos resultantes desta etapa como fonte de energia para o seu crescimento e desenvolvimento. Inicia-se desta forma uma nova etapa da degradação, denominada por acidogénese ou fermentação. Os produtos resultantes da metabolização são constituídos por ácidos gordos voláteis de cadeia curta, CO_2 e hidrogénio (H_2). Cerca de $\frac{1}{4}$ dos ácidos gordos formados corresponde ao ácido acético, sendo os restantes $\frac{3}{4}$ ácido fórmico, propiônico, láctico, butírico e pirúvico. No final desta etapa o meio onde ocorre a degradação encontra-se estritamente anaeróbio e ácido, favorecendo a ocorrência da acetanogénese, 3ª etapa do processo. Esta resulta do metabolismo de dois tipos de bactérias, as sintróficas, que catabolizam os restantes $\frac{3}{4}$ de ácidos gordos voláteis em ácido acético e seus derivados (CO_2 e H_2), e as homoacetogénicas, que convertem os hidratos de carbono em ácido acético através do H_2 e CO_2 (Ciborowski, 2001; Durão, 2009; FEC, 2003; Dias, 2009).

A última etapa do processo corresponde à metanogénese. A redução dos níveis CO_2 e, em especial, de H_2 , proporcionados pela etapa de acetanogénese, estimulam a actividade das bactérias metanogénicas na formação de metano, dióxido de carbono, água e outros gases em quantidades ínfimas. A produção de metano ocorre por duas vias distintas, através da transformação do ácido acético resultante das etapas 2 e 3 por bactérias metanogénicas acetoclásticas, reacção 1, ou a partir da redução do dióxido de carbono com o auxílio do hidrogénio por bactérias metanogénicas hidrogenotróficas, reacção 2. Cerca de 70 % do metano produzido deriva do acetato enquanto os restantes 30 % devem-se à redução do CO_2 (Ciborowski, 2001; Durão, 2009; FEC, 2003; Dias, 2009).



No final do processo obtêm-se uma fracção gasosa, denominada biogás, e uma fracção líquida-sólida, denominada por produto digerido.

Na Figura 11 encontram-se esquematizadas as etapas envolvidas na DA bem como os respectivos produtos.

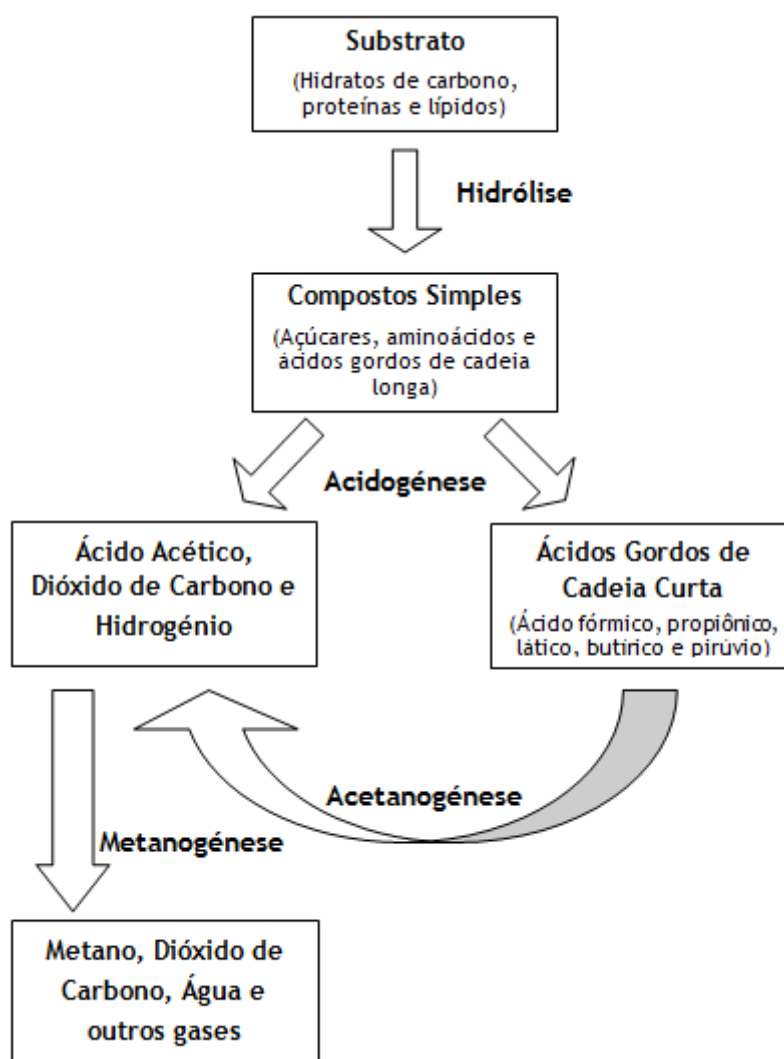


Figura 11 - Diagrama das fases do processo de DA e os respectivos produtos gerados.

3.2.2.2.1.2. Substrato

O substrato introduzido no processo de digestão anaeróbia consiste em qualquer substancia que apresente uma quantidade apreciável de matéria orgânica que possa ser convertida em produtos como metano.

A diversidade de substratos que podem ser hoje em dia incorporados neste processo deve-se à necessidade de existirem outro tipo de tratamentos, para além da deposição em aterro ou incorrecta deposição no solo ou cursos de água, que permitam a valorizar do resíduo. Os substratos derivam essencialmente de três grupos principais de resíduos: agro-pecuários, industriais e municipais. O tipo e as características destes influenciam o tipo de tecnologia a ser usada bem como a qualidade dos produtos finais obtidos, definindo uma maior ou menor necessidade de sistemas de pós-tratamento. O propósito e os objectivos pretendidos do processo de DA podem dever-se ao tipo de substrato utilizado, um exemplo reside no tratamento de águas residuais em que o principal objectivo reside em reduzir a carga orgânica presente neste efluente de modo a minimizar a taxa a pagar face à sua descarga na rede e não uma produção eficientes de produtos resultantes (ADENE, 2003).

Actualmente a DA é uma tecnologia que se aplica principalmente no tratamento de resíduos provenientes do sector pecuário. Estes apresentam uma elevada biodegradabilidade e uma maior eficiência na geração de produtos de boa qualidade uma vez que apresentam elevadas quantidades de matéria orgânica. Contudo, apesar das suas semelhanças, estes quando comparados entre si podem apresentar diferentes características que influenciam o bom funcionamento do processo, como iremos ver nos próximos capítulos.

3.2.2.2.1.2.1. Influência do substrato no processo de DA

O substrato utilizado varia consideravelmente em termos de composição, homogeneidade e biodegradabilidade. As características que maiores relevâncias apresentam aquando do processo de digestão anaeróbia são:

- *Tamanho das partículas*

A actividade microbiana é proporcional à área superficial das partículas, ou seja, a trituração de uma partícula de grandes dimensões proporciona um aumento da área de contacto entre esta e o meio onde se inserem as bactérias, acelerando o processo de degradação (Dias, 2009).

– **Nutrientes**

A quantidade de nutrientes disponíveis no substrato para o crescimento bacteriano é um factor chave para o controlo da digestão anaeróbia, sendo avaliado de acordo com a razão de carbono, azoto e fósforo (C/N/P) (ADENE, 2003; Burke, 2001). Era de se esperar que para maiores quantidades de nutrientes a actividade microbiana fosse favorecida e o processo desenrola-se de uma forma mais eficiente, no entanto uma elevada razão de C/N/P traduz-se num aumento de ácidos gordos voláteis que apresentam um efeito inibidor, como é referido no tópico seguinte (Dias, 2009). Posto isto, deve-se assegurar que a razão de C/N/P encontre-se na ordem de 100/5/1 de modo a proporcionar uma eficiente degradação (ADENE, 2003).

– **Biodegradabilidade**

O substrato é constituído por diversos compostos que apresentam diferentes tempos de degradação, dependendo da sua biodegradabilidade (Burke, 2001). A capacidade de degradação que um composto apresenta é determinada pelo teor de lenhina que este possui. A lenhina é um composto 100% não-degradável tendo como função resistir aos ataques exercidos por microorganismos (Ciborowski, 2001).

Muitos materiais orgânicos apresentam na sua estrutura compostos como a celulose e a hemicelulose. Estes polímeros em si são de fácil degradação, no entanto quando apresentam na sua estrutura celular lenhina tornam-se de difícil degradação, sendo indesejáveis para o processo (Ciborowski, 2001).

Um resíduo só é viável para ser usado como substrato no processo de digestão anaeróbia quando o teor de sólidos na forma orgânica biodegradável for superior a 60 %. Contudo, alguns resíduos que não apresentam estas características são utilizados no processo (ADENE, 2003).

– **Materiais Indesejáveis**

Materiais indesejáveis, como camas dos animais, materiais inorgânicos (areia, vidros e metais) e materiais poliméricos (plásticos, etc) levam a falhas no processo de degradação do substrato, nomeadamente na separação das fases, sedimentação flotação, etc (ADENE, 2003). A presença de areias traduz-se numa diminuição do volume do substrato a ser administrado no digestor. Estas são caracterizadas por apresentarem um elevado grau de sedimentação provocando a sua deposição no fundo daqueles (ADENE, 2003).

As camas de animais são normalmente constituídas por palhas e restos de madeira. Estes tipos de materiais podem apresentar um efeito adverso no processo mas também por outro lado proporcionam uma melhoria das suas condições. Os contributos negativos associados a este tipo de compostos podem dever-se ao seu elevado teor em lenhina, que como mencionado anteriormente apresenta uma baixa degradabilidade dificultando o processo de degradação, ou no caso das palhas comprimas a formação de uma camada de espuma que torna difícil o controlo do processo. Contudo, quando a razão C/N/P é insuficiente para o bom funcionamento da actividade microbiana estes compostos permitem a sua regulação (ADENE, 2003).

Uma forma de evitar a presença deste tipo de contaminantes no interior do digestor é proceder a um pré-tratamento.

– ***Grau de Diluição***

A quantidade de água presente no substrato pode alterar drasticamente as suas características.

Adequados teores de água promovem não só o crescimento microbiano mas também permitem o transporte de nutrientes dissolvidos (Dias, 2009). A diluição do substrato contribui ainda positivamente na redução da concentração de determinados compostos que funcionam como inibidores do processo, como por exemplo o nitrogénio e enxofre que são responsáveis pela formação do amoníaco e sulfuretos (Burke, 2001).

A presença excessiva de água no substrato leva à necessidade de digestores de maiores capacidades para a mesma quantidade de resíduo a tratar e a um maior consumo de energia para obter as condições óptimas de temperatura neste. Por outro lado, elevados teores de sólidos, que se traduzem em reduzidos teores de água, favorecem a deposição destes no fundo do digestor, a formação de camas de espuma e possíveis obstruções dos mecanismos de transporte do substrato, provocando falhas no processo (ADENE, 2003).

Os digestores convencionais operam para gamas de teores de sólidos entre os 6 a 10 %. O substrato recolhido nas explorações bovinas, chorume, apresenta um teor de sólidos na ordem dos 2 a 12 %. Dependendo das características deste pode haver uma necessidade de ser submetido a um pré-tratamento antes de ser administrado no reactor (ADENE, 2003).

3.2.2.2.1.2.2. Componentes inibidores presentes no substrato

Uma substância é denominada como inibidora quando incita mudanças na população microbiana ou falhas no seu crescimento. Estas promovem distúrbios no processo de DA que se traduzem principalmente na diminuição da produção de biogás e um aumento da concentração de ácidos gordos voláteis (Chen *et al.*, 2007).

As substâncias inibidoras podem:

- encontrar-se inicialmente no substrato,
- resultar de produtos intermédios do processo,
- ou dos seus produtos finais (ADENE, 2003).

A inibição por parte destes compostos é definida consoante a sua acumulação no digestor, podendo em muitos casos, teores reduzidos levarem a um estímulo do processo de degradação (Hamilton, n.d.).

Amoníaco

O amoníaco envolvido no processo de DA pode encontra-se inicialmente no substrato, como é o caso dos resíduos provenientes do sector pecuário que apresentam normalmente elevadas concentrações (3 a 5 g/kg) ou resultar da degradação da matéria nitrogenada, nomeadamente proteínas e ureia (ADENE, 2003; Chen *et al.*, 2007).

O azoto amoniacal em solução encontra-se principalmente em duas formas, na forma ião, NH_4^+ , e na forma de amónia livre, NH_3 , que apresenta um maior potencial de toxicidade devido à capacidade de penetrar livremente nas membranas permeáveis. Dependendo da sua concentração, estas espécies podem ter um efeito inibidor ou estimulador na degradação do substrato. Os factores que controlam o efeito destas substâncias no processo de digestão anaeróbia são a concentração, o pH, a temperatura, a presença de iões e a aclimatização dos microorganismos (Chen *et al.*, 2007).

Sulfuretos

Os sulfuretos são produzidos no processo de digestão anaeróbia pela redução dos sulfatos a partir de bactérias específicas. O efeito inibidor resultante desta

reacção deve-se essencialmente a dois factores, nomeadamente à competição das bactérias redutoras de sulfato em relação ao substrato orgânico e inorgânico que provoca uma diminuição da produção de biogás e ainda ao potencial tóxico que os sulfuretos provocam nas diversas populações microbianas. Os sulfuretos encontram-se normalmente dissolvidos no substrato, no entanto é possível observar a sua presença na fase gasosa na forma de sulfureto de hidrogénio (Chen *et al.*; 2007)

Um dos processos que pode ser utilizado na diminuição do efeito tóxico dos sulfuretos é a partir da diluição do substrato, no entanto como foi mencionado anteriormente elevados teores de água acarretam problemas que devem ser evitados. Outras tecnologias são utilizadas na diminuição da concentração destas substâncias inibidoras, nomeadamente coagulação, oxidação, precipitação, oxidação parcial do enxofre ou ainda a aclimatização por parte dos organismos envolvidos (Chen *et al.*, 2007).

Sais

Elevados teores de sais solúveis no substrato levam à inibição da actividade microbiana, provocando pressões osmóticas que dificultam o transporte de água para o interior das células e vice-versa, levando à sua desidratação (Chen *et al.*, 2007; Hamilton, n.d.). A toxicidade é determinada pela presença de catiões. Metais leves, como sódio, potássio, cálcio e magnésio, encontram-se no digestor devido à degradação do substrato ou à adição de compostos para ajuste do pH. Estes, em concentrações reduzidas, estimulam o crescimento bacteriano, no entanto, elevadas concentrações diminuem a sua actividade podendo mesmo provocar severos danos no processo (Chen *et al.*, 2007).

Materiais Tóxicos

Materiais tóxicos, como pesticidas, antibióticos e desinfectantes, encontram-se no substrato em concentrações reduzidas ou nulas não apresentando um problema real com consequências significativas. Estes, funcionam como agentes retardadores do processo de degradação, contudo, em elevadas concentrações levam à sua inibição (Burke, 2001; ADENE, 2003).

Metais Pesados

A presença de metais pesados, nomeadamente o crómio, ferro, cobalto, cobre, zinco, cádmio e o níquel, no substrato é pouco comum. Estes compostos não são biodegradados, sendo acumulados no substrato até atingirem concentrações inibidoras do processo de digestão anaeróbia (ADENE, 2003; Chen *et al.*, 2007). O efeito tóxico provocado, deve-se essencialmente à quebra da função e estrutura enzimática devido à ligação dos metais com o grupo tiol¹ e outros grupos nas moléculas proteicas ou ainda pela substituição natural dos metais em enzimas do grupo prostético². Os factores que controlam o efeito destes compostos no processo de digestão anaeróbia são a concentração, a sua fórmula química e ainda efeitos antagónicos³ e sinérgicos⁴.

Para além do impacte gerado pelos metais pesados durante o processo de degradação, à que ter em atenção as limitações legais relacionadas com o espalhamento do produto digerido no solo. Produtos digeridos que apresentem concentrações de metais superiores às indicadas na legislação não podem ser aplicados no solo havendo a necessidade de encontrar soluções alternativas para o seu uso ou eliminação (ADENE, 2003).

Contudo, os metais dissolvidos no substrato possuem um importante contributo na redução do poder inibidor de outras substâncias, como é o caso dos sulfuretos e do amoníaco, e até mesmo do seu próprio poder inibidor, através da precipitação (FEC, 2003; Hamilton, n.d.).

¹ Compostos orgânicos que sejam constituídos pelo grupo -SH.

² Compostos orgânicos ou inorgânicos que se encontram ligados a cadeias polipeptídicas. Os compostos inorgânicos são muitas vezes metais de transição, como o ferro, zinco, etc.

³ Quando a exposição a um químico resulta na redução do efeito de outro químico.

⁴ Quando a presença de um químico proporciona o aumento do efeito de outro químico.

Ácidos Gordos Voláteis (AGV)

Os ácidos gordos voláteis são formados durante o processo de degradação do substrato por bactérias acidogénicas. Estas comparadas com as metanogénicas apresentam uma maior velocidade de reacção, no entanto quando o processo ocorre nas condições adequadas é possível manter a estabilidade (FEC, 2003).

Uma sobrecarga de compostos orgânicos no substrato ou a presença de substâncias inibidoras, como antibióticos ou desinfectantes, podem no entanto afectar a actividade microbiana, levando a um aumento da concentração de AGV. Quando tal acontece ocorre uma diminuição do pH que provoca a inibição da produção de metano e proporciona um aumento da concentração de CO₂ (FEC, 2003). Situações ligadas a este problema são mais comuns no início do processo, quando as bactérias ainda não se encontram aclimatizadas (ADENE, 2003).

Os níveis de inibição apresentados para cada substância variam consideravelmente consoante a literatura consultada (Tabela 3). Tais variações devem-se essencialmente à complexidade do processo de digestão anaeróbia que apresenta mecanismos como o antagonismo, sinergismo, aclimação e complexantes, que afectam substancialmente a inibição (Chen *et al.*, 2007).

Tabela 3 - Representação da concentração mínima de compostos no efeito de inibição da DA

Composto	Efeito inibidor (mg/L)
Íão Amónio	80
Amónia livre	1 500
Sulfuretos	100
AGV	4 000
Sódio	3 500
Potássio	2 500
Cálcio	2 500
Magnésio	400

Fonte: FEC, 2003; Hamilton, n.d.; Ciborowski, 2001; Chen *et al.*, 2007

3.2.2.2.1.3. Condições Operacionais

As características do substrato, bem como a presença de determinados compostos inibidores, apresentam um enorme contributo no que diz respeito à eficiência do processo de DA. Contudo, existem outros requisitos que devem ser assegurados para o bom funcionamento do processo, nomeadamente a nível das condições operacionais, sendo estes:

– Oxigénio

Como o nome indica, a digestão anaeróbia é um processo que ocorre na ausência de oxigénio. As duas primeiras etapas do processo, hidrólise e acidogénese, são levadas a cabo por bactérias anaeróbias facultativas, i. e., tem a capacidade de se adaptarem a meios na presença ou ausência de oxigénio não pondo em causa o seu funcionamento. No entanto, as etapas de acetanogénese e metanogénese são realizadas por bactérias anaeróbias obrigatórias, fazendo com que a presença de O_2 actue como um veneno para estas o que leva à sua inactivação. Posto isto, a presença de oxigénio no reactor leva a um decaimento da concentração de CH_4 no biogás e um aumento de CO_2 , traduzindo-se numa drástica redução da eficiência energética deste (Hamilton, n.d.).

– Temperatura

É considerado um dos parâmetros mais importantes, estando envolvido directamente na actividade microbiana ao longo de todo o processo. Para temperaturas inferiores a $15^\circ C$ a actividade das bactérias metanogénicas é reduzida ou inexistente ocorrendo um aumento drástico na concentração de ácidos gordos voláteis, que leva não só a uma redução da produção de biogás como também a reduzidos níveis de estabilização por parte do produto digerido obtido no final do processo. Posto isto, são necessárias temperaturas superiores de modo a proceder-se com um eficiente processo de degradação (FEC, 2003; Dias, 2010; Ciborowski, 2001).

A temperatura é exponencial à produção de biogás, evidenciando-se que para valores superiores, a quantidade de biogás, para a mesma quantidade de resíduo, é também ela superior. Deste modo, temperaturas elevadas, para além de permitirem a morte de agentes patogénicos, proporcionam um aumento da quantidade de biogás produzido. Contudo, altas temperaturas traduzem-se em elevados custos associados. As gamas de temperaturas óptimas à DA são assim equacionadas entre os valores de temperatura ideais para a ocorrência das reacções bioquímicas e os valores

económicos associados ao aquecimento do digestor, procedendo-se com uma análise de custo-benefício (Dias, 2009).

A temperatura influencia ainda as substâncias orgânicas voláteis dissolvidas e a concentração de amónia e sulfureto de hidrogénio (Burke, 2001).

– **Mistura**

A mistura durante o processo de digestão anaeróbia apresenta diversas vantagens, nomeadamente a homogeneização do substrato, evitando gradientes de temperatura e humidade bem como uma uniformidade dos microorganismos envolvidos, a redução de partículas e ainda a remoção do gás da mistura. Esta pode ser conseguida a partir da recirculação da fracção a digerir; rotação mecânica interna, normalmente pás rotativas, ou externa, por intermédio de uma bomba de recirculação; ou por recirculação do biogás (Karim *et al.*, 2005).

Um estudo realizado por Karim *et al.* revela que para substratos que apresentem um teor de sólidos superiores a 10 % a realização de mistura durante o processo de digestão anaeróbia pode ser um ponto crítico, contudo não deve ser aplicada no arranque do processo uma vez que implica um maior tempo deste, um reduzido pH e uma instabilidade no processo. Para substratos mais diluídos a performance do processo mantêm-se praticamente igual, caso não fosse realizado qualquer tipo de mistura.

– **pH**

O seu valor óptimo encontra-se dentro da neutralidade, abrangendo uma gama entre os 6,5 aos 7,5 (Dias, 2010). Neste intervalo os ácidos gordos gerados na etapa de acidogénese não apresentam qualquer efeito tóxico. No final da etapa de acidogénese a quantidade de ácidos gordos voláteis é elevada, no entanto, as bactérias metanogénicas nesta gama de pH procedem com a sua metabolização assegurando a estabilidade do processo. Caso o pH não se encontre nesta gama a actividade por parte destas bactérias é inexistente, o que se traduz num aumento de ácidos gordos voláteis que diminuem drasticamente o pH no reactor, levando a uma destabilização do processo.

– **Tempo de Retenção Hidráulico (TRH)**

O TRH é descrito como o número de dias que o substrato permanece no interior do digestor. Este é avaliado consoante o tempo necessário para o desenvolvimento da população microbiana e o utilizado na conversão da matéria orgânica em biogás,

havendo uma relação entre o tempo de residência do substrato e os sólidos voláteis (Burke, 2001; Hamilton, n.d.).

Em Digestores de mistura completa o TRH é igual ao tempo de reprodução das células fazendo com que a população microbiana no interior do digestor se mantenha estável. Caso o TRH seja menor, as bactérias não serão substituídas, o que leva à diminuição da população (Burke, 2001; Hamilton, n.d.).

– ***Tempo de Retenção de Sólidos (TRS)***

O tempo que os sólidos ficam retidos no interior do digestor, TRS, é um importante factor no controlo do processo de degradação. Normalmente os sistemas encontram-se dimensionados de modo a que o TRH seja igual ao TRS, no entanto pode ser vantajoso reduzir os TRH. Um digestor com estas características permite manter os biocatalisadores, em vez de os desperdiçar, aumentando a produção de biogás e diminuindo as dimensões necessárias do digestor, o que se traduz em ganhos económicos. Para eficientes processos a razão TRS/TRH é cerca de 3, o que leva a uma redução de 1/3 do tamanho do digestor convencional (Burke, 2001; Hamilton, n.d.).

– ***Administração do substrato***

O TRH ou o TRS não permitem avaliar o impacto que a concentração do substrato provoca no processo de DA. Muitas vezes os resíduos administrados não apresentam as mesmas características provocando diferenças na produção de biogás, sendo necessários tempos de residência diferentes para os resíduos. Uma forma eficaz de ultrapassar este problema é a partir do cálculo da administração do substrato que é dada a partir do TRH e a concentração do substrato, encontrando-se representada em $\text{kg}/\text{m}^3/\text{d}$. No entanto, à que ter atenção que apesar de aumentar o factor de administração do substrato, o que leva a uma diminuição do tamanho do digestor, ocorre uma diminuição da percentagem de sólidos voláteis (Burke, 2001; Hamilton, n.d.).

3.2.2.2.1.4. Produtos da Digestão e a sua Utilização

Do processo da digestão anaeróbia resultam essencialmente dois tipos de produtos, o biogás e o digerido, como se pode observar pela Figura 12. São gerados também águas residuais que resultam essencialmente da lavagem dos pavimentos, instalações de descarga, instalações administrativas, etc. São encaminhadas para o colector municipal caso a instalação não apresente sistemas de tratamento de efluentes líquidos.

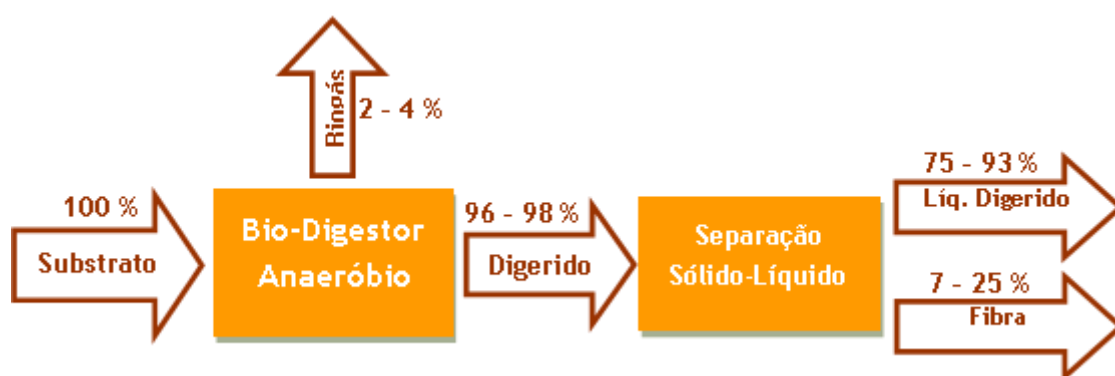


Figura 12 - Balanço de massa ao substrato e produtos obtidos no final do processo de DA (adaptado de ETSU, 1997)

3.2.2.2.1.4.1. Biogás

Durante o processo de DA ocorre a libertação de uma mistura de gases denominada de biogás. Este é constituído maioritariamente por metano e dióxido de carbono, contendo ainda vestígios de sulfureto de hidrogénio e amoníaco. O tipo de substrato utilizado no processo de degradação anaeróbia, bem como as características de operação, influencia a quantidade e a qualidade do biogás produzido, sendo referido na literatura que no tratamento de efluentes pecuários bovinos este é constituído entre 55/75 por cento de metano, sendo os restantes gases maioritariamente dióxido de carbono (FEC, 2003; Durão, 2009).

O metano e o dióxido de carbono pertencem a classe dos gases com efeito de estufa, sendo altamente prejudiciais para o ambiente quando libertados para a atmosfera, não podendo o biogás ser libertado sem sofrer qualquer tipo de uso. Este é encaminhado para o gasómetro onde fica armazenado até ser utilizado, podendo vir a ser queimado directamente sem qualquer aproveitamento energético ou valorizado sob a forma de energia (Duração, 2009).

A queima directa normalmente encontra-se associada a sistemas onde a quantidade e qualidade gerada de biogás não é suficiente para, a curto, médio e longo

prazo, se justificarem investimentos noutro sistema que permita a sua valorização. Esta é ainda utilizada em sistema de segurança, sendo usado apenas em casos de emergência quando existe a necessidade de rápidos escoamento do biogás face ao perigo eminente de explosões, fugas, etc.

Valorização energética

Existem diversas formas de se proceder com à valorização do biogás, no entanto, dependendo do mercado, umas poderão ser mais atractivas que outras.

Face às necessidades de aquecimento do digestor, o biogás normalmente é queimado em caldeiras onde ocorre a geração de energia térmica para a produção de vapor e água quente. De acordo com a literatura estima-se que, dependendo do processo de digestão (mesofílico ou termofílico), sejam utilizados entre 15 a 25 % do biogás produzido para este fim (CBMI, 2010).

O calor excedente pode ser utilizado com diversas finalidades, nomeadamente:

- no processo de higienização do produto digerido, quando necessário,
- em edifícios anexos, aquecimento e produção de água quente,
- ou introduzido no mercado, funcionando como um produto com valor económico que apresenta um valor de mercado na ordem dos 12,5 €/MWh, de acordo com estudos realizados pela ADENE.

A venda de calor para o exterior apresenta determinadas limitações que põem em causa a sua viabilidade. A existência nas mediações de instalações industriais que incorporem no seu processo o uso de energia térmica condiciona severamente o escoamento do produto, podendo muitas vezes ser necessário dissipar o calor por falta de indústrias receptoras (Oliveira, 2005).

Uma opção mais favorável para a valorização do biogás reside na produção de energia térmica e eléctrica, co-geração, para além de assegurar o calor necessário ao reactor permite a geração de electricidade que pode ser usada pela própria instalação e/ou vendida à rede eléctrica nacional. A técnica normalmente usada para esta conversão consiste na incorporação do biogás como combustível em grupos motor-gerador. Este sistema quando comparado com os restantes apresenta eficiências de conversão superiores, permitindo uma conversão de cada m³ de biogás, com 60% de CH₄, em 3 kWh de energia térmica e 1,8 kWh de energia eléctrica (Oliveira, 2005).

O processo de digestão anaeróbio é caracterizado pela sua auto-sustentabilidade, colmatando todas as necessidades energéticas do processo e permitindo ainda excedentes que podem ser vendidos. Aproximadamente 15 a 25% do biogás é convertido em calor para o aquecimento do digestor, conforme mencionado anteriormente, e cerca de 3 a 4% é convertido em electricidade para ser usada nos sistemas de bombagens, mistura, transporte, entre outros, sobrando um mínimo de 60% que pode ser vendido sobre a forma de calor ou electricidade (CBMI, 2010).

Ao abrigo da Lei do Produtor Independente, Decreto-Lei nº 168/99 de 18 de Maio, a energia eléctrica é vendida à rede por um valor de venda que, dependendo do funcionamento do gerador em horas de ponta e cheia ou em contínuo, pode alcançar os 0,077 ou 0,069 €/kWh, respectivamente (ADENE, 2003).

Comparando a tarifa de venda de electricidade com a de vapor constata-se que esta é cerca de 5 vezes superior, existindo uma vantagem económica substancial com a venda de energia eléctrica à rede.

Dependendo do horário de funcionamento dos equipamentos, horas de ponta, cheias, vazio normal e super vazio, pode tornar-se vantajoso em termos económicos vender na totalidade a electricidade à rede, observando-se preços superiores na tarifa de venda do que na de compra (EDP, 2011).

O biogás pode ainda ser utilizado em motores de veículos, células de combustível ou incorporado na rede de gás natural, contudo são práticas pouco comuns sendo aplicadas apenas em situações pontuais (Durão, 2009; ADENE, 2003).

Tratamento do biogás

Determinados compostos presentes no biogás podem reduzir o seu potencial calorífico ou muitas vezes dificultar a sua combustão.

A presença de CO₂ reduz substancialmente o poder calorífico do biogás. Aquando da sua eliminação observa-se a presença de um gás com 95% de metano, passando de um poder calorífico inferior de 5,94 para 9,77 kcal/m³ (Oliveira, 2005).

A presença de sulfureto de hidrogénio dificulta a combustão do biogás, sendo um gás extremamente corrosivo que reage com as partes metálicas das instalações de combustão bem como as tubagens por onde é encaminhado. Existe assim uma necessidade de se proceder à limpeza do biogás antes de este ser convertido em

energia (FEC, 2003). A eliminação do sulfureto de hidrogénio da corrente gasosa é actualmente realizada através da dessulfurização biológica, onde microorganismos oxidam este composto a enxofre elementar ou sulfatos (ADENE, 2003). Outro método muito utilizado é através da reacção com óxidos ou hidróxidos de ferro, também ele conduzindo à formação de enxofre (ADENE, 2003).

Na Figura 13 encontra-se um esquema representativo com as principais formas de utilizar o biogás.

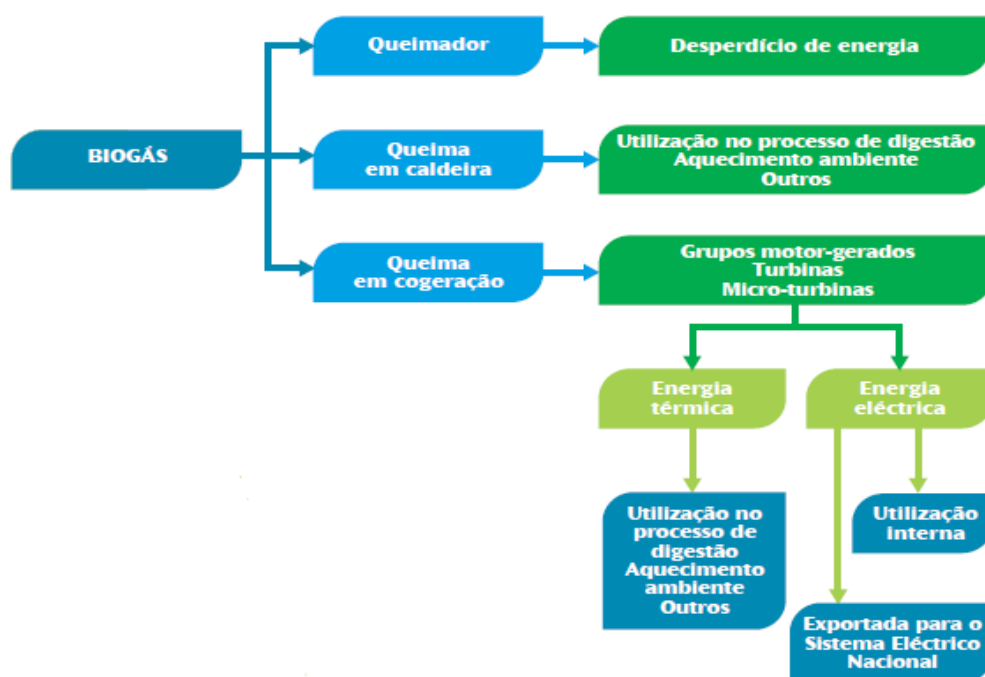


Figura 13 - Diagrama referente as possíveis utilizações do biogás resultante do processo de Digestão Anaeróbia (Eds.norte, n.d.)

3.2.2.2.1.4.2. Produto Digerido

Na Figura 12, apresentada anteriormente, é observável uma redução de 2- 4% da massa total de substrato administrado, contendo o produto digerido 96 - 98% por cento da massa inicialmente introduzida no reactor. Este reflecte os mesmos nutrientes presentes inicialmente no substrato não perdendo o seu valor como fertilizante e/ou correctivo orgânico (Ciborowski, 2001).

O produto digerido pode ser armazenado e posteriormente aplicado no solo, contudo após o processo de DA este apenas se encontra parcialmente tratado, não estando completamente estabilizado. Uma solução alternativa consiste na separação mecânica da fase líquida e sólida (Durão, 2009). As vantagens que esta técnica apresenta encontram-se normalmente associadas à (ADENE, 2003):

- redução do teor de nutrientes na fracção líquida, traduzindo-se numa maior quantidade aplicada por hectare,
- produção de uma fracção sólida com interesse nutritivo e valor comercial aquando da sua estabilização.

Existem diversos processos que permitem a separação de fases, sendo o mais comum a centrifugação. As centrífugas, apesar de serem mais dispendiosas, utilizam de menos mão-de-obra e consumíveis (Durão, 2009). O custo associado à separação das fases líquida e sólida precede os 6,5 €/t (ADENE, 2003).

Na Figura 14 encontra-se um esquema representativo com as principais formas de utilizar o produto digerido.

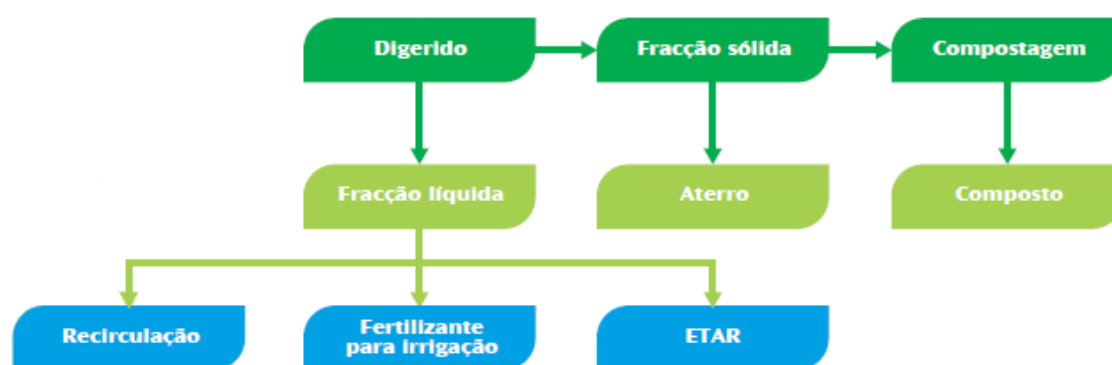


Figura 14 - Diagrama referente as possíveis utilizações do Produto Digerido resultante do processo de Digestão Anaeróbia (Eds.norte, n.d.)

Líquido Digerido

O líquido digerido apresenta um elevado potencial quando usado como fertilizante, contendo uma elevada diversidade de nutrientes em baixas concentrações reduzindo possíveis impactos aquando da sua deposição no solo (Durão, 2009).

Caso não se verifique nenhum tipo de valorização deste produto há que proceder-se ao seu tratamento. A tecnologia normalmente aplicada consiste num sistema aeróbio com oxidação biológica da matéria orgânica. No entanto, face às características deste efluente, nomeadamente elevada carga de azoto e fósforo, a aplicação desta tecnologia torna-se difícil sendo necessário proceder à sua diluição com águas residuais. Posto isto a presença de ETAR's nas imediações num sistema deste tipo pode ser vantajosa (Durão, 2009). Segundo um estudo realizado pela ADENE, o custo de implementação associado a este tipo de tecnologia é de 500 000€ enquanto que os custos operacionais foram contabilizados em 87 €/t de MV processada. É

necessário ter em atenção que neste último apenas foram tidos em conta os encargos energéticos, ficando de fora custos adicionais como mão-de-obra, consumíveis, etc.

Fracção sólida

A fracção sólida do produto digerido, também designada por fibra, apresenta na sua constituição reduzidos nutrientes vantajosos para o crescimento das culturas agrícolas e fibras de difícil degradação. Este é normalmente utilizado no solo como condicionador, apresentando vantagens na sua aplicação face à sua forma inicial, sem separação de fases, sendo esta mais fácil, barata e com libertação de odores menos ofensivos.

Este produto pode ainda sofrer um tratamento por compostagem aeróbia de forma a promover uma maior degradação e estabilização, obtendo-se como produto final um composto orgânico com um valor comercial mais elevado (ADENE, 2003; Durão, 2009). O composto obtido pode assim ser vendido directamente ou em embalagens.

A Tabela 4 apresenta os custos associados a cada etapa e o respectivo preço de venda de cada produto.

Tabela 4 - Custos associados ao tratamento e venda de produtos (ADENE, 2003)

	Tratamento (€/t)	Valor Comercial (€/t) ¹
Fracção sólida	-	10
Composto	15 ²	20
Composto a granel	7	30

¹valores de venda à porta da central

² instalação do tipo aberta em pilhas estáticas arejadas

Estes produtos podem ainda ser fornecido aos produtores gratuitamente.

Este produto pode ser ainda incorporado nas camas dos animais levando a uma diminuição dos teores de lenhina nos efluentes a tratar por digestão anaeróbia.

De forma a avaliar qual a alternativa viável a implementar é necessário proceder-se a um estudo detalhado do mercado local e/ou regional que permita estimar a possibilidade do escoamento do produto. Deve-se assegurar logo de início o

interesse e o compromisso por parte de potenciais compradores, podendo estes abranger hortos, floristas, agricultores, entre outros. Outro aspecto a ter em foco é a necessidade de se garantir uma capacidade de armazenamento do produto tendo em vista a sua procura sazonal. Face ao elevado grau de informação necessária e à deslocação daquilo que se pretende nesta tese, esta análise não foi efectuada, podendo ser realizada em estudos posteriores.

Note-se que em ambos os casos, separação ou não das fases, a aplicação no solo deve reger-se de acordo com as normas apresentadas pelo Decreto-Lei nº202/2005 e as orientações do CBPA.

3.2.2.2.1.5. Vantagens e Desvantagens da DA

São inúmeras as vantagens apresentadas pelo processo de digestão anaeróbia variando a nível ambiental, económico e social. Na Tabela 5 encontram-se representadas algumas das vantagens que o processo pode proporcionar (ETSU, 1997; ADNett, 2011; Friends of the Earth, 2007).

Tabela 5 - Vantagens do processo de digestão anaeróbia

Redução da Emissão de GEE	- Ocorre uma recuperação do metano presente nos gases libertados durante o processo bem como o uso do biogás para a produção de energia, reduzindo as emissões de CO ₂ provenientes da utilização de combustíveis fósseis. O produto digerido quando depositado no solo permite a fixação de CO ₂ no solo, reduzindo as quantidades presentes na atmosfera.
Redução do uso de Combustíveis fósseis	- Face à utilização de biogás para a produção de energia, bem como o uso de fertilizantes orgânicos em vez de sintéticos, que utilizam na sua produção combustíveis fósseis
Reciclagem de Nutrientes	- O produto digerido ao ser utilizado como fertilizante permite a incorporação de nutrientes no solo que vão ser absorvidos pelas culturas agrícolas.
Redução da utilização de turfa	- A substituição da turfa pela fracção sólida resultante da DA permite reduzir os impactes causados no ambiente face à sua extracção
Redução de Odores	- Os odores resultantes da degradação da matéria orgânica podem ser reduzidos em 80% a partir do processo de DA.
Redução de Agentes Patogénicos	- O processo de DA consegue reduzir substancialmente a presença de agentes patogénicos no produto digerido.
Redução dos impactos no solo e cursos de água	- O produto digerido possui um menor impacte para o meio ambiente quando comparado com o efluente por tratar
Distribuição eficiente de electricidade	- Ocorre uma diminuição de perdas de electricidade pelos transmissores quando esta é produzida localmente.
Incentivos Financeiros	- A vantagem mais atractiva da implementação de um sistema como este consiste na possibilidade de obter lucros face à venda dos produtos resultantes
Desenvolvimento da economia local	- Fixação por parte de outras indústrias na região que queiram beneficiar deste sistema, bem como a criação de postos de trabalho
Substituição do material das camas	- A fracção sólida resultante do processo de DA pode ser utilizada nas camas dos animais, apresentando não só benefícios económicos quanto à redução de custos destas como melhoria do processo quando estas forem encaminhadas para aquele.
Venda de Produtos	- Mercados favoráveis à venda do produto

A principal desvantagem ligada à implementação de um sistema de digestão anaeróbia reside essencialmente nos custos associados ao investimento e à operação e manutenção.

Apesar de minimizar as emissões de gases para a atmosfera e reduzir o impacto causado pela deposição directa do efluente no solo, este processo não se encontra livre de provocar danos no ambiente e na saúde pública como qualquer outro. A queima do biogás propicia a libertação de gases para a atmosfera, no entanto quando comparadas com outras fontes de energia, nomeadamente os combustíveis fósseis, o seu potencial poluidor é menor. A libertação de outros gases para a atmosfera, nomeadamente o amoníaco gerado nas instalações de armazenamento, pode também ser observada, nomeadamente quando as instalações não apresentem sistemas de ventilação adequados que permitam o encaminhamento do ar extraído para sistemas de purificação. O transporte dos efluentes pecuários pode apresentar riscos, uma vez que face à localização das explorações este é realizado através de áreas habitacionais (ETSU, 1997; Nelson *et al.*, 2002)

Em termos de segurança este tipo de instalações necessita de se encontrar provido de sistemas adequados de ventilação: a exposição a determinados gases como o amoníaco, proveniente dos tanques de armazenamento, e biogás podem provocar danos na saúde. A queima de biogás também apresenta riscos elevados, face à possibilidade da ocorrência de explosões (ETSU, 1997; Nelson *et al.*, 2002).

Outros problemas gerados, no entanto, com impactes menores, podem dever-se ao ruído e ao impacto visual que este tipo de instalações pode causar.

3.2.2.2.1.6. Escala de Implementação

A implementação de um sistema de digestão anaeróbia pode ser aplicada a diversas escalas, sendo as mais utilizadas e aquelas que serão abordados neste trabalho, os sistemas individuais ou centralizados.

Sistemas Individuais

Os sistemas individuais consistem em instalações implementadas na própria área da exploração com o propósito de tratar apenas o resíduo gerado por esta (Durão, 2009; ADENE, 2003).

A utilização de sistemas individuais nas explorações era uma prática constante antes das décadas de 70 e 80, altura onde se observou um encerramento acentuado desses sistemas face a problemas ambientais e técnicos (ADENE, 2003). O desenvolvimento actual nesta área é notório observando-se avanços a nível de projecto, operação e manutenção. Actualmente existem centenas de instalações deste tipo espalhados por toda a Europa (FEC, 2003; Durão, 2009).

As razões que levam os produtores a implementar sistemas individuais encontram-se normalmente associadas a (FEC, 2003):

- produção de energia, reduzindo a que é comprada à rede ou até mesmo levar à produção de excedentes que podem ser vendidos e tornarem-se num proveito financeiro,
- aumento do valor fertilizante do resíduo pecuário face à digestão deste, levando a uma diminuição do uso de fertilizantes inorgânicos,
- geração de correctivos orgânicos,
- redução de odores desagradáveis,
- redução de custos associados à refrigeração do leite, abrangendo entre 15 a 30% do consumo total de electricidade,
- aspectos ambientais, como a utilização de recursos renováveis e a diminuição das emissões de metano.

A complexidade associada a sistemas deste tipo é normalmente reduzida uma vez que os resíduos provêm exclusivamente de uma única fonte e os produtos são aplicados na vizinhança do local, tendo em conta as normas legais. Outra vantagem técnica que pode ser utilizada por determinados países, como Portugal, Espanha, Grécia e Itália, reside na influência externa da temperatura como auxiliar do processo. Os digestores geralmente actuam num regime mesofílico permitindo que nestes países, face ao seu clima ameno, não sejam necessários dispêndios de energia para atingir as temperaturas desejáveis (FEC, 2003; ADENE, 2003). Na Figura 15 encontra-se esquematizado um sistema individual típico.

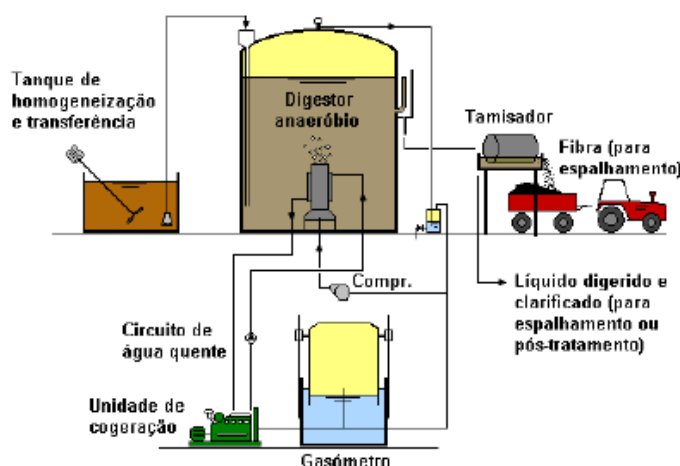


Figura 15 - Esquema de um sistema individual de digestão anaeróbia (ADENE, 2003)

No que toca à viabilidade económica, estudos demonstram que sistemas individuais só são sustentáveis quando implementados em explorações que apresentem um número de efectivo bovino superior a 500 cabeças (Ciborowski, 2001).

Sistemas Centralizados

A implementação de sistemas centralizados justifica-se para a digestão dos resíduos provenientes de diversas fontes a nível regional (ADENE, 2003).

Sistemas deste tipo, face ao potencial económico inerente, normalmente são designados por estações centralizadas de biogás, ECB. Baseiam-se numa tecnologia relativamente recente, desenvolvida em meados da década de 80. Actualmente existem dezenas de sistemas deste tipo espalhados por toda a Europa, destacando-se a Dinamarca onde ocorreram grandes apostas a este nível, havendo já em 1997 mais de 19 centrais em operação (FEC, 2003; Durão, 2009).

As razões que levam à implementação de sistemas centralizados encontram-se normalmente associadas à (FEC, 2003; ADENE, 2003):

- integração de resíduos proveniente de diversas explorações,
- possibilidade de incorporar resíduos provenientes de actividades distintas, nomeadamente resíduos industriais e municipais que apresentem na sua composição uma fracção biodegradável. Esta recepção pode proporcionar benefícios não só a nível das características do substrato e aumento da produção de biogás, mas também numa fonte de rendimento adicional face à cobrança de taxas de admissão,

Em termos económicos a grande vantagem deste processo reside na possibilidade de obter lucros face à venda da energia excedente, bem como do produto digerido.

No que toca à capacidade de tratamento do efluente não existe nenhum estudo que imponha um limite concreto, contudo tem sido apontado um limiar de 200 000 m³/ano, não sendo exequível acima disso face à:

Ocorrência de problemas técnicos - Uma maior recepção de efluentes conduz a maiores produções de biogás, sendo necessário ter em atenção o factor de segurança e capacidade de escoamento de produtos finais do processo. Outro factor a ter em conta é a possibilidade da ocorrência de falhas no processo que propicia a uma maior quantidade de efluente armazenado, sendo necessário o seu escoamento ou então a central pode ficar rapidamente congestionada. Contudo a falta de outras centrais impede que esse resíduo seja valorizado.

Elevados investimentos iniciais - Existe uma maior necessidade sistemas de tratamento complementares bem como de armazenamento

Problemas de logística - Uma central que abranja uma maior área pode levar ao congestionamento das vias e a custos de transporte associados mais elevados, uma vez que se traduz em maiores percursos e com isto uma maior perda de tempo por parte dos sistemas de recolha.

Centrais com capacidades superiores nunca foram implementadas até à data, sendo um processo experimental quando for implementada

De acordo com um estudo realizado, para digestores com estas características, observa-se que a área necessária para a implementação de uma central de produção de biogás é de 1 ha (Moreira, 2011).

Outra contrapartida destes sistemas é a necessidade de se proceder à recolha dos resíduos desde a fonte até à estação, o que provoca custos acrescidos de operação, influenciando directamente a sua sustentabilidade económica. De acordo com um estudo realizado, onde foram contactadas empresas destinadas a este tipo de serviços, constatou-se que face as características líquidas ou pastosas do resíduo este é transportado em cisternas com capacidades de 30 m³. Os custos associados ao transporte de um 1m³ rondam os 0,12 €/km, tendo sido este valor estimado para uma carga completa da cisterna (Durão, 2009). Face à distância de algumas fontes à central só é viável a recolha em distâncias inferiores a 15 km (ADENE, 2003).

4. Grande Área Metropolitana do Porto e o Sector Bovino

4.1. Enquadramento Geográfico

Inicialmente, a Área Metropolitana do Porto era composta pelos municípios de Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo, Vila do Conde e Vila Nova de Gaia. Em 2005 passou a ser designada por Grande Área Metropolitana do Porto, GAMP, passando a integrar também os municípios de Arouca, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira, Santo Tirso, São João da Madeira, Trofa e Vale de Cambra abrangendo um total de 16 municípios das regiões Entre Douro e Minho e Beira Litoral (amp, 2011). Na seguinte Figura 17 é possível observar o enquadramento da GAMP no território nacional, bem como os respectivos concelhos que nesta se inserem.

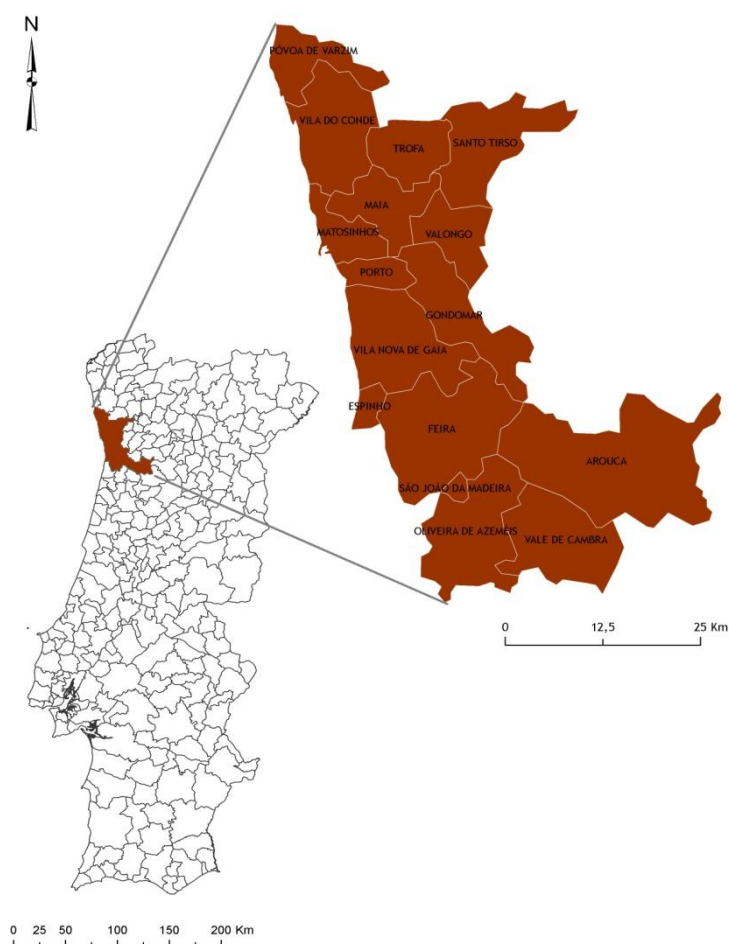


Figura 17 - Mapa de Portugal Continental com relevo da GAMP e a identificação dos respectivos concelhos

A GAMP abrange uma área de 1 575 km², correspondente a 2% do território continental, e possui 1 551 950 habitantes, de acordo com os censos realizados em 2001.

4.2. Caracterização do sector bovino

A GAMP, em 2009, apresentava um total de 98.662 efectivos bovinos, isto é, aproximadamente 7% do efectivo nacional, perfazendo um total de 28% do efectivo da região EDM e BL, onde se inserem os seus concelhos (INE, 2011). Na Figura 18 encontra-se representada a distribuição das explorações e do efectivo animal pelos diversos concelhos pertencente à GAMP.

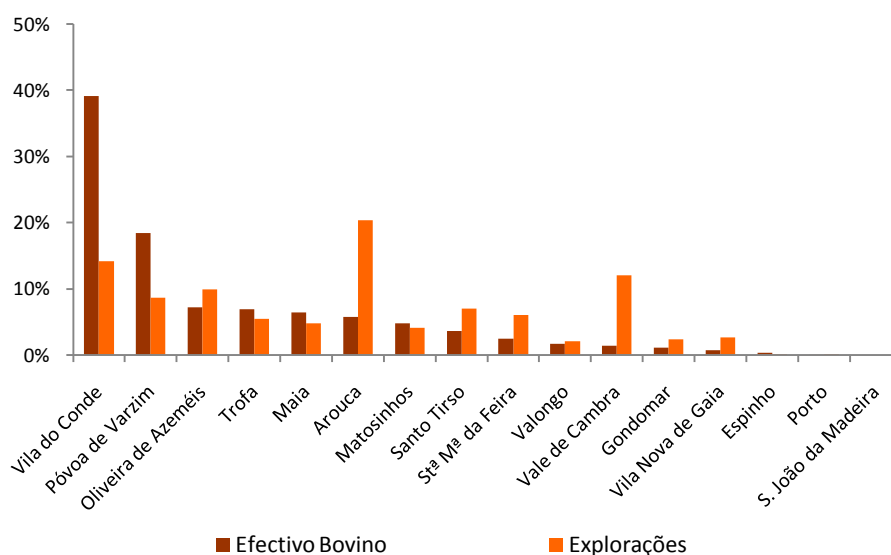


Figura 18 - Distribuição do efectivo bovino e das explorações pelos concelhos pertencentes à GAMP em 2009 (INE, 2011)

O concelho de Vila do Conde destaca-se dos restantes face ao elevado efectivo animal, que representa quase 40% do efectivo bovino na GAMP, seguindo-se a Póvoa de Varzim com 18%. Outros concelhos com destaque são Arouca e Vale de Cambra pelo elevado número de explorações face ao efectivo bovino que contêm. Tomando Arouca como exemplo observou-se a existência de mais de 700 explorações para um total de 5 667 bovinos, o que representa uma dimensão média de 8 bovinos por exploração. Observa-se assim uma tendência nestas regiões para explorações de reduzido efectivo bovino, destinadas principalmente ao consumo próprio.

A região de EDM é caracterizada por uma forte actividade no sector leiteiro, sendo o seu efectivo bovino constituído em mais de 35% por vacas leiteiras (RA, 2011). A Bacia Leiteira Primária de Entre o Douro e Minho engloba diversos concelhos da

GAMP, nomeadamente Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Santo Tirso, Trofa, Maia, Matosinhos e Oliveira de Azeméis (POBLP-EDM, 2007). Estes possuem um papel fulcral no desenvolvimento desta actividade, bem como na economia nacional. Através da Figura 19 é possível constatar a importância do sector leiteiro nesta região face ao território continental, observando-se margens brutas das explorações, no ano 2002, acima dos 40% em determinados concelhos, nomeadamente Oliveira de Azeméis, Póvoa do Varzim e Vila do Conde.

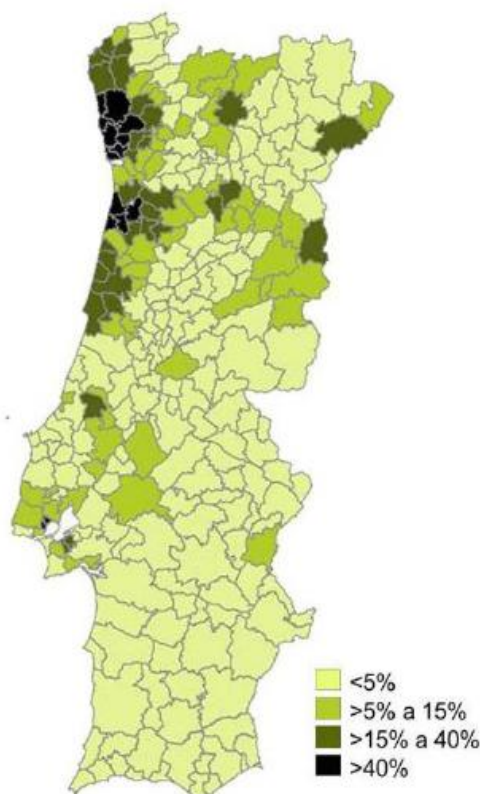


Figura 19 - Peso do Margem Bruta (MBS) de leite no total das MBS das explorações agrícolas (adaptado de POBLP-EDM 2007).

4.3. Área em estudo

O principal objectivo deste trabalho consiste em proceder à escolha de locais para a implementação de digestores anaeróbios na GAMP e estudar a sua viabilidade sócio-económica. Face à tipologia e detalhe de informação pretendida e à dificuldade na sua obtenção para todos os 16 municípios, optou-se por incluir neste estudo um universo de 6 municípios, seleccionados com base no número de efectivos bovinos. Desta forma, e de acordo com o observado anteriormente na caracterização do sector bovino na GAMP em 2009, optou-se por avaliar Vila do Conde, Póvoa de Varzim, Oliveira de Azeméis, Trofa, Maia e Arouca ao longo deste estudo (Figura 20). O

concelho de Santo Tirso foi ainda incluído face à obtenção de dados em conjunto com a Trofa. Ao todo, 87% do efectivo bovino inserido na GAMP foi abrangido neste estudo, que se restringe à EDM (INE, 2011).

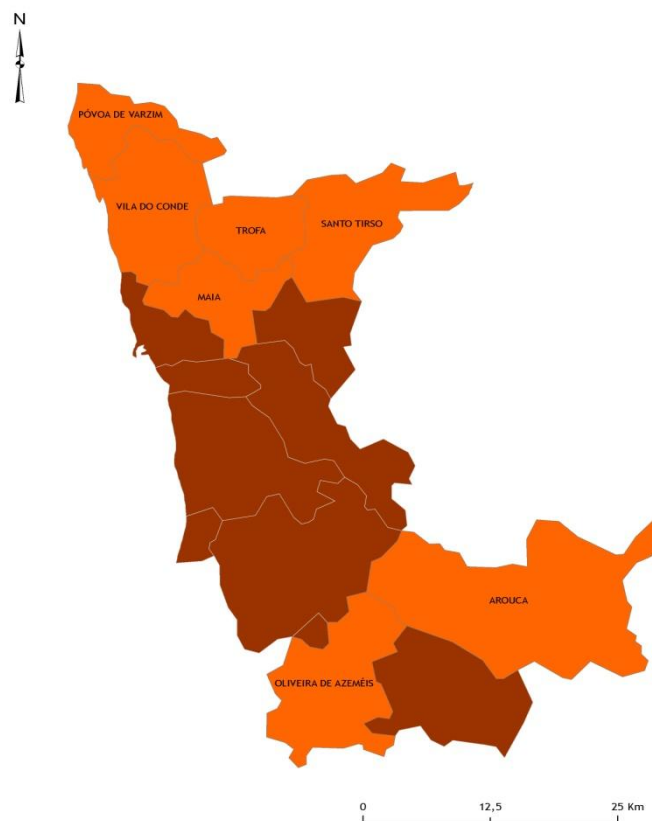


Figura 20 - Identificação dos concelhos em estudo

4.3.1. Quantificação do efluente gerado

O artigo 3.º da Portaria n.º 631/2009, referente à gestão de efluentes pecuários, apresenta como guia do cálculo da produção de efluente o Código de Boas Práticas Agrícolas, CBPA, que estabelece estimativas para a produção anual de efluente gerado por tipo de animal. De forma a utilizar o CBPA como método de quantificação do efluente gerado por exploração existe a necessidade de obter informações mais detalhadas acerca destas, dado que os valores de referência variam consoante o tipo de animal (vacas leiteiras e/ou aleitantes e bovinos de recria e/ou de engorda), o tipo de resíduo recolhido (estrupe e/ou chorume), bem como os mecanismos de recolha das águas de lavagem (encaminhadas para os tanques de armazenamento de efluentes ou com recolha individual).

A Direcção-Geral de Veterinária (DGA) disponibilizou uma listagem de todas as explorações licenciadas e activas por concelho até Março de 2011. Estes dados

continham ainda informações detalhadas acerca do código (ou marca) de exploração, a freguesia onde se inseriam, o número total de efectivos bovinos e a diferenciação entre o número de macho ou fêmea. Contudo, esta informação não era suficiente para quantificar o efluente gerado pelo método apresentado no CBPA. A quantificação rigorosa do efluente gerado necessitaria da realização de um levantamento detalhado das diferentes características de cada exploração, nomeadamente o regime utilizado e efluente produzido, distribuição do número de animais por tipo, etc, o que não é passível de ser incluído no âmbito do presente estudo. Alternativamente, recorreu-se a dados constantes na literatura, estatísticas nacionais e resultados de estudos exaustivos já realizados, adoptando-se critérios que permitissem quantificar o efluente gerado.

De seguida descreve-se a metodologia utilizada na quantificação do efluente gerado por cada exploração, sendo referidos os critérios adoptados para contornar a informação em falta.

4.3.1.1. Metodologia

Tipo de regime utilizado

A actividade do sector leiteiro encontra-se normalmente associada ao regime intensivo. De acordo com os dados apresentados pela Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais (ENEPAI) (Figura 21) observa-se uma tendência para o regime intensivo nos concelhos em estudo. Posto isto, admitiu-se que todas as explorações se enquadravam neste tipo de regime.

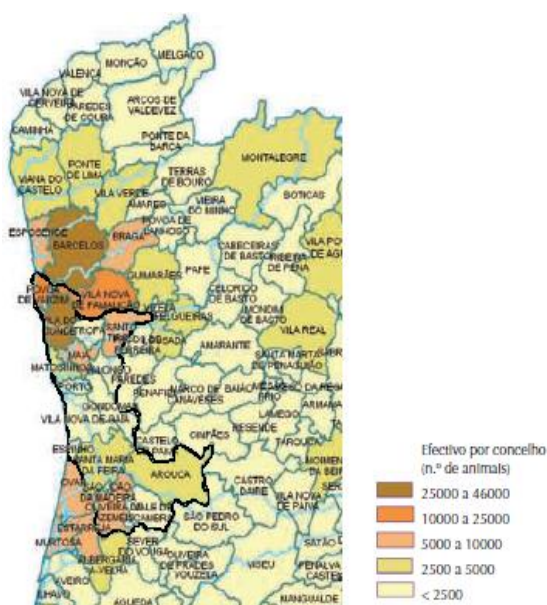


Figura 21 - Distribuição do efectivo bovino em regime intensivo por concelho na região EDM, com destaque sobre a GAMP (adaptado de ENEPAI, 2007)

Tipo de efluente pecuário recolhido nas explorações

O sistema de estabulação condiciona com o tipo de efluente produzido (RA, 2011). Dados do Recenseamento Agrícola 2009 revelam uma tendência para estabulações livres com produção de chorume na região EDM. A partir da Figura 22 é possível constatar que nos concelhos em estudo o tipo de estabulação mais utilizado leva essencialmente à produção de chorume, pelo que este é o único resíduo quantificado neste estudo.

Contudo, face às características do chorume, poderá ser necessário incorporar estrume ou outro tipo de resíduos no processo de digestão anaeróbia no sentido de obter um melhor desempenho deste através da melhoria das características do substrato.

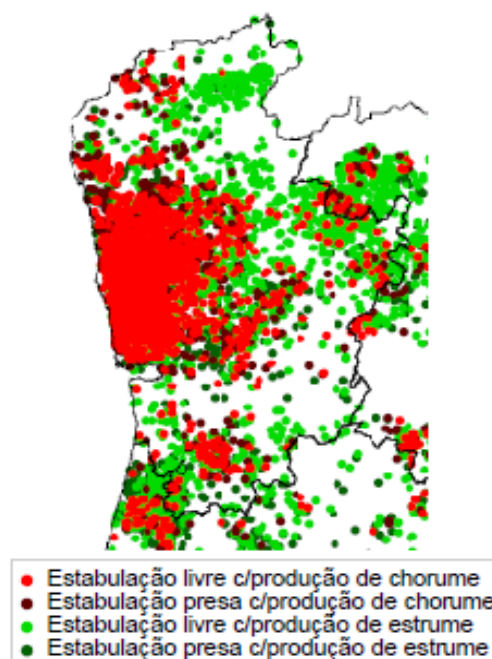


Figura 22 - Distribuição do tipo de estabulação na região de EDM (adaptado de RA, 2011)

Água de Lavagens

As águas resultantes das lavagens podem ser encaminhadas para tanques de armazenamento de efluentes ou fossas sépticas. A falta de conhecimento em relação ao sistema de recolha destas águas não permitiu definir critérios face à sua utilização. Deste modo admitiu-se que as águas de lavagem seriam recolhidas separadamente não provocando diluição ao efluente pecuário gerado. Posto isto, foram utilizados os valores de referência propostos pelo CBPA que não incorporam diluições.

Tipo de animal

O sector bovino nesta região apresenta uma forte tendência para a produção de leite, sendo bastante reduzido o número de explorações destinadas à produção de carne. Contudo, admitir que 100% das explorações se destinam à produção de leite não seria o cenário mais realista e poderia levar a uma avaliação por excesso da quantificação do efluente gerado, uma vez que este é maior para esta actividade.

O critério adoptado na diferenciação das explorações destinadas à produção de leite ou carne baseou-se no número de vacas e bovinos presentes nas explorações. Inicialmente definiu-se que todas as explorações que apresentassem um número de vacas superior ou igual a 5 seriam consideradas como destinadas à produção de leite. No entanto, nas explorações de pequenas dimensões, existentes em número considerável, a aplicação deste critério levaria à exclusão de muitas explorações ligadas a esta actividade. Assim, redefiniu-se o critério, classificando-se as explorações que apresentassem menos de 5 cabeças e não possuísem bovinos como destinadas à produção de leite. O número de vacas aleitantes, destinadas à produção de carne, resulta da diferença entre o número total de vacas e o número de vacas leiteiras de cada exploração.

Os bovinos de recria, que auxiliam as explorações produtoras de leite, foram contabilizados no caso da existência de vacas leiteiras, ou seja, se existissem vacas leiteiras na exploração, então os bovinos seriam de recria. Os bovinos de engorda foram contabilizados da mesma forma que as vacas aleitantes, resultando da diferença entre o número total de bovinos e os destinados à recria.

É de notar que os critérios adoptados, as explorações apenas apresentam uma única actividade, produção de carne ou de leite, não existindo explorações que forneçam os dois serviços em simultâneo, como sucede na realidade. Para se proceder a essa análise seria necessário conhecer detalhadamente cada exploração, identificando cada animal e a respectiva função. Uma análise sem esse tipo de informação poderia proporcionar um incremento significativo do actual erro associado à quantificação do efluente pecuário e resultante da utilização dos critérios mencionados anteriormente, suportados por conhecimento empírico da área de estudo.

4.3.1.2. Resultados

A análise dos concelhos foi repartida entre esta e outra dissertação de Mestrado, que tinha como objectivo o estudo da viabilidade técnica da implementação de digestores anaeróbios na GAMP para o mesmo tipo de resíduos. Deste modo os concelhos foram divididos em 2 grupos analisados separadamente: Arouca, Oliveira de Azeméis e Vila do Conde e Maia, Póvoa do Varzim, Trofa e Santo Tirso. A análise realizada foi no entanto igual em ambos os grupos, tendo-se adoptado os critérios mencionados anteriormente.

Procedendo-se a uma primeira análise do efectivo bovino total para cada concelho, observa-se que em relação ao ano 2009, data do último recenseamento agrícola, ocorreram variações significativas (Figura 23). Nos concelhos de Vila do Conde e Póvoa de Varzim observam-se reduções do efectivo bovino na ordem dos 3% e 1%, respectivamente. Contudo, foi no concelho da Maia que esta redução foi mais acentuada, com um decréscimo de 8% do efectivo bovino em 2009. Nos restantes concelhos observam-se aumentos acima dos 3%, com destaque para Arouca e Santo Tirso com aumento na ordem dos 8%.

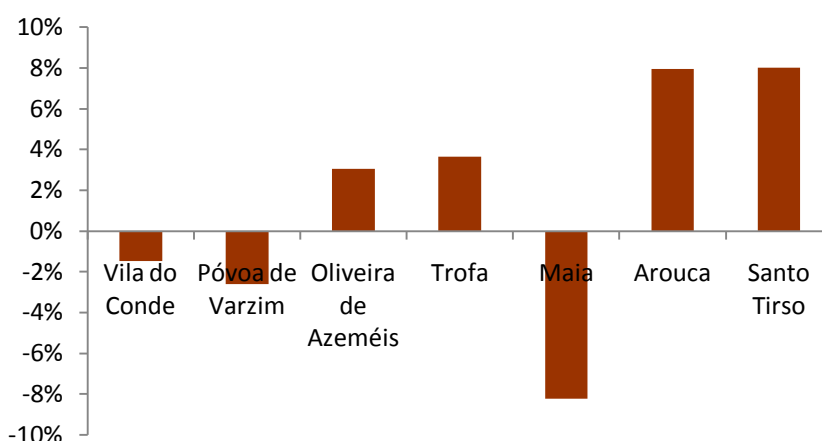


Figura 23 - Variação entre 2009 - 2011 do efectivo bovino nos concelhos em estudo

Consoante o critério definido procedeu-se à distribuição do efectivo bovino pelos diversos tipos de animais em estudo. No final, obteve-se o perfil do tipo e quantidade de animais para cada exploração. Na Tabela 6 é possível observar a distribuição do efectivo bovino segundo tipo de animal para cada concelho.

Tabela 6 - Distribuição do efectivo bovino pelos diferentes tipos de animais em análise.

	Arouca	Maia	Oliveira de Azeméis	Póvoa do Varzim	Santo Tirso	Trofa	Vila do Conde
Nº total de vacas	4 778	4 413	5 651	15 942	2 937	5 956	33 975
Nº de vacas leiteiras	4 407	4 368	5 496	15 883	2 782	5 896	33 890
Nº de vacas aleitantes	371	45	155	59	155	60	85
Nº total de bovinos	1 339	1 384	1 641	1 774	914	1 090	4 036
Nº de bovinos de recria	650	567	548	1 301	365	514	3 000
Nº de bovinos de engorda intensiva	689	817	1 093	473	549	576	1 036

Como era esperado, e uma vez que critério adoptado assim o favorecia, observasse a nível das vacas uma maior afluência para as leiteiras, em número muito superiores às aleitantes. Contudo, em determinados concelhos, como é o caso de Arouca, a presença de vacas aleitantes ainda é notória. Pelo critério adoptado, explorações de pequenas dimensões (efectivo bovino inferior a 5 animais), os bovinos foram contabilizadas como destinadas à produção de carne. Um concelho que apresente uma quantidade significativa deste tipo de explorações apresenta um maior número de bovinos destinados à produção de carne, nomeadamente vacas aleitantes e bovinos de engorda. Tal facto é evidenciado em Arouca, onde se constatou pela análise dos dados que 34% das explorações apresentava uma dimensão igual ou inferior a 10 animais. Em contrapartida, ao analisar-se Vila do Conde e Póvoa do Varzim, em particular, observa-se uma tendência para explorações de elevadas dimensões, onde a actividade leiteira é superior. Por outro lado, o concelho da Maia apresenta um reduzido número de vacas aleitantes, observando-se uma tendência para o sector leiteiro mesmo com a interferência de pequenas explorações. Contudo, o elevado número de bovinos de engorda permite-nos constatar que esta região também apresenta um número significativo de explorações destinadas à produção de carne.

Em relação aos valores adoptados no cálculo do efluente pecuário, face ao critério mencionado anteriormente, estes apresentam-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores utilizados na quantificação do chorume produzido (CBPA, 2009)

	Vaca Leiteira	Vaca Aleitante	Bovino de Recria	Bovino de Engorda
Chorume¹ (m³/animal/ano)	23	15,5	8	7,5

¹ Valores de chorume não diluídos por parte das águas de lavagem

Observa-se uma maior tendência para a produção de chorume por parte das vacas, em especial as leiteiras. Deste modo confirmasse o que já foi mencionado anteriormente na teoria, as regiões onde se inserem as explorações destinadas à produção de leite apresentam maiores pressões ambientais face à quantidade de chorume produzida por estas actividades. A quantidade de efluente gerado por uma vaca leiteira é cerca de 1,5 vezes superior às vacas aleitantes e quase o triplo em relação aos bovinos.

No final, totalizando a quantidade de chorume que é produzido por cada exploração, obtêm-se a quantidade de efluente gerado anualmente nos diversos concelhos com base nos critérios estabelecido (Tabela 8).

Tabela 8 - Número do efectivo bovino por concelho e a respectiva quantidade de chorume gerada

	Arouca	Maia	Oliveira de Azeméis	Póvoa do Varzim	Santo Tirso	Trofa	Vila do Conde
Nº efectivos	6 118	5 797	7 292	17 716	3 851	7 046	38 011
Chorume (m ³ /ano)	117 479	110 197	141 392	380 179	73 426	144 970	812 557

Conforme esperado, constata-se que Vila do Conde e Póvoa de Varzim, face ao elevado número de efectivos bovinos, são dos municípios que maiores quantidades de efluentes produzem, com 46% e 21% do total de chorume produzido na área em estudo, respectivamente. Quanto aos municípios da Trofa e Oliveira de Azeméis, produzem individualmente 8% do efluente gerado. Arouca, com 7%, e Maia, com 6%, são dos concelhos em estudo com menores quantidades de efluente produzido. No final obtêm-se uma produção anual de 1 780 200 m³ de chorume.

5. Localização das Centrais de Digestão Anaeróbia

A escala de implementação de um sistema de digestão anaeróbia pode ser individual ou centralizado. Como referido anteriormente, face ao critério de viabilidade da implementação de um sistema individual, apenas uma exploração, em Vila do Conde, apresentava os requisitos necessários (mais de 500 efectivos). Contudo, devido à exclusividade do caso, optou-se por inserir os resíduos aí gerados num sistema centralizado, tendo-se excluído do estudo os sistemas individuais. De notar que se estes não fossem incorporados na central, a localização do sistema individual seria, preferencialmente, na própria área de exploração. Quanto aos sistemas centralizados, a sua implementação só é viável para o tratamento de quantidades de efluentes até 200 000 m³ por ano e que abrangem explorações num raio inferior a 15 km, conforme mencionado anteriormente.

Para o estudo das melhores localizações para a implementação das centrais de digestão anaeróbia recorreu-se ao uso do software ArcGis, que permite elaborar e manipular informações vectoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas ArcGis (Santos, 2009).

5.1. Metodologia

Aquando da escolha do local para a implementação da central consideraram-se essencialmente 3 parâmetros:

- Georeferenciação das explorações bovinas,
- Núcleos de densidade de produção de efluentes,
- Áreas favoráveis e convenientes à implementação das centrais.

No final, a localização resultou de uma análise integrada destes parâmetros obtendo-se a melhor área possível, face os critérios adoptados.

Seguidamente encontra-se evidenciada a metodologia seguida para a quantificação dos referidos parâmetros.

5.1.1. Georeferenciação das explorações bovinas

A localização das explorações é um dos parâmetros chave na escolha do local para a implementação das centrais, sendo necessário para isso adquirir para cada uma a respectiva morada.

Numa primeira fase, devido ao elevado número de explorações presentes em cada concelho (anexo 3), optou-se por definir critérios que reduzissem as explorações abrangidas, visando essencialmente a exclusão das de pequena dimensão dado que a quantidade de efluente gerado anualmente dificilmente justificaria os custos associados à sua recolha e, na maior parte dos casos, estes são aplicados directamente no solo sem danos ambientais consideráveis. Nesse sentido, estipulou-se inicialmente que pelo menos 95% dos bovinos deveriam ser contabilizados por concelho. Contudo, ao aplicar este critério, observou-se que em dois concelhos, Arouca e Vila do Conde, seria necessário adoptar critérios diferentes.

Em Vila do Conde a contabilização de 95% do efectivo bovino total levava à exclusão de explorações com quase 30 animais. Deste modo estipulou-se que para este concelho eram contabilizadas todas as explorações que apresentassem um efectivo bovino igual ou superior a 10, abrangendo-se assim 98% do total do concelho. No caso de Arouca observou-se o oposto, sendo contabilizadas explorações com uma dimensão de 2 animais, valor muito reduzido que inviabilizaria a recolha. Assim, adoptou-se também um novo critério. A contabilização de explorações com uma dimensão de 10 ou mais bovinos, como aplicado a Vila do Conde, resultou em reduções na ordem dos 34% do efectivo bovino total, um número bastante elevado de exclusão. Deste modo, estipulou-se para este concelho que todas as explorações com 3 ou mais animais seriam contabilizadas, abrangendo assim 90% do efectivo total.

De seguida, junto das cooperativas agrícolas de cada concelho, procurou-se obter as moradas das explorações abrangidas. Contudo, face aos receios evidenciados por parte dos produtores e pelos detentores desses dados relativamente a termos de confidencialidade, o número de moradas disponibilizadas foi bastante reduzido em determinados concelhos, como foi o caso da Trofa e de Santo Tirso.

Ao longo do tratamento dos dados surgiram entraves a nível das explorações, nomeadamente devido à:

Existência de mais de uma exploração com o mesmo código mas com números de bovinos diferentes

O mesmo código de exploração pode apresentar mais que um produtor, em que cada um possui um determinado número de animais. Nestes casos procedeu-se à soma do efectivo animal sendo analisado em conjunto como um só.

Diferentes explorações com a mesma localização

As instalações onde se encontram os animais podem servir mais que um produtor, conferindo deste modo as mesmas moradas para explorações distintas.

Com base nas moradas obtidas recorreu-se ao programa computacional *Google Earth* de modo a obter-se as coordenadas geográficas das explorações pretendidas.

No concelho de Arouca esta análise não pode ser realizada com tanta exactidão, uma vez que as moradas das explorações apenas indicavam o lugar onde estas se inseriam. Deste modo, procedeu-se com a localização das explorações tendo como referência o centro do lugar, tendo sido estas as coordenadas consideradas.

Outros factores também condicionaram a localização das explorações nos restantes concelhos. Foram essencialmente à:

- falta de informação no programa computacional relativamente ao numero de porta na respectiva rua,
- falta do número da porta nas moradas fornecidas,
- moradas onde não se evidenciava a presença de explorações, como é o caso de campos, prédios, moradias, etc,
- ruas supostamente inexistentes.

Nestes casos, face à possibilidade por parte do programa de visualizar imagens de satélite, alocou-se a localização a um ponto específico, determinado consoante as edificações existentes na zona.

No final, face às diversas exclusões e falta de informação, foi possível observar uma redução significativa na quantidade de explorações consideradas para este estudo (Tabela 9). Analisada a quantidade de chorume abrangida na área de estudo, estimada anteriormente, observa-se uma quantificação quase total das explorações alvo, tendo-se englobado principalmente aquelas que apresentam grandes dimensões do efectivo bovino e que provocam num maior impacto.

Tabela 9 - Contabilização das explorações, do efectivo bovino e chorume que entraram na análise da localização das centrais de digestão anaeróbia

Concelhos	Explorações	Efectivo Bovino	Chorume
Arouca	48%	85%	88%
Maia	47%	95%	99%
Oliveira de Azeméis	14%	65%	74%
Póvoa do Varzim	51%	92%	94%
Santo Tirso	3%	22%	25%
Trofa	4%	11%	12%
Vila do Conde	67%	97%	98%

Na Figura 24 é possível observar a distribuição das explorações pelos respectivos concelhos.

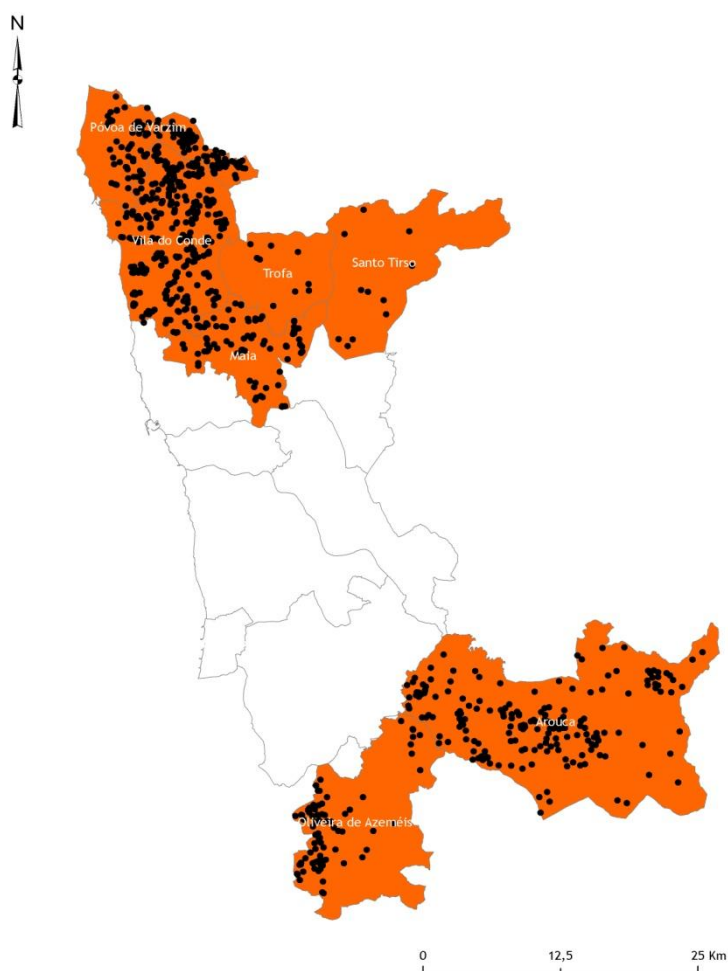


Figura 24 - Marcação de todas as explorações consideradas na área em estudo

5.1.2. Núcleos de densidade

Um aspecto fulcral na escolha do local para a implantação de uma central de digestão anaeróbia reside na minimização dos custos de transporte associados à recolha dos efluentes. Explorações de elevadas dimensões ou seja, tendencialmente com maiores quantidades de chorume geradas, apresentam necessidades de meios de transporte superiores, traduzindo-se em maiores custos associados. A georeferenciação das explorações por si só não permitem identificar quais as áreas propícias à implementação do digestor tendo em conta a minimização das distancias percorridas pelos camiões de recolha. Posto isto é necessário olhar mais detalhadamente para cada exploração e avaliar individualmente a quantidade de efluente que cada uma produz. Uma forma de observar quais as explorações que apresentam uma maior contribuição para a produção de efluentes, e deste modo localizar a central o mais perto possível destas, é a criação de núcleos de densidade face ao efluente produzido por exploração, extrapolando a densidade de um dado parâmetro radialmente face ao ponto de maior densidade. O *ArcMap* apresenta uma extensão, *Density - Kernel density*, que permite criar núcleos de densidade em torno das explorações. Através da quantidade de chorume é possível identificar as áreas onde essa produção é mais intensa, sendo estas as favoráveis à construção da central onde certamente os custos de transporte serão minimizados. Na Figura 25 encontra-se um exemplo da função de densidade aplicada aos concelhos de Arouca e Oliveira de Azeméis.

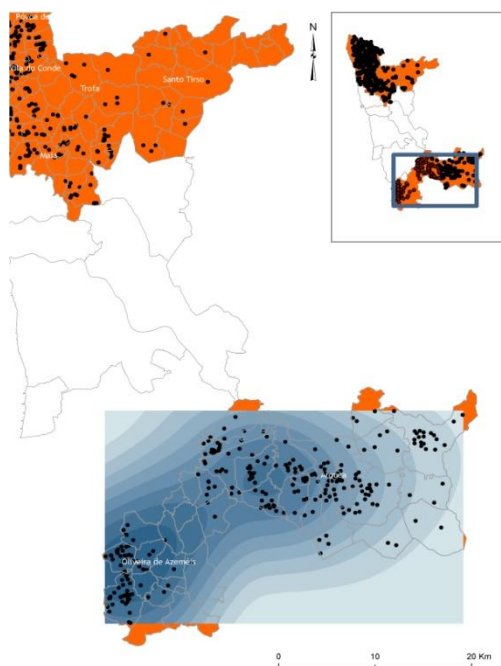


Figura 25 - Georeferenciação das explorações de Arouca e Oliveira de Azeméis e a respectiva função de densidade

5.1.3. Áreas de implementação

No que diz respeito à implementação de centrais para a produção de biogás a legislação existente não é clara quanto às medidas de segurança que devem ser tidas em conta na escolha do local. Tendo em conta as restrições de construção de determinadas áreas definidas nos Planos Directores Municipais (PDM)⁵ foi possível estabelecer critérios que permitissem identificar locais restritos para a sua implementação. Estas áreas, para além de facilitarem a decisão, visam à diminuição dos impactos que estas centrais possam provocar no ambiente e na sociedade. As áreas podem assim dividir-se em inconvenientes, convenientes e favoráveis.

Áreas Inconvenientes - são todas as áreas onde a construção de uma central é proibida ou de evitar, tendo-se considerado que incluem, no âmbito deste estudo, as seguintes:

- Reserva Ecológica Nacional (REN)

A REN engloba áreas de protecção do litoral, áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e áreas de prevenção de riscos naturais, sendo proibidas quaisquer operações de loteamento, obras de urbanização, construção e ampliação, vias de comunicação, escavações, aterros e destruição do revestimento vegetal. Sendo assim, são áreas onde a construção da central é interdita (Decreto-Lei nº 166/2008).

- Reserva Agrícola Nacional (RAN)

De acordo com o Decreto-Lei n.º 73/2009, de 31 de Março, são interditas nestas áreas “todas as acções que diminuam ou destruam as potencialidades para o exercício da actividade agrícola” contudo de acordo com o artigo 22º estas podem ser utilizadas quando estiverem em causa “instalações ou equipamentos para produção de energia a partir de fontes de energia renováveis” embora apenas seja aplicável quando não

⁵ Neste caso específico apenas foi consultado o PDM de Oliveira de Azeméis mas, pelo teor deste tipo de instrumentos de gestão territorial, assumiu-se que as indicações nele constantes seriam idênticas e aplicáveis aos restantes municípios. É de referir que as informações georreferenciadas das áreas para diferentes usos de território foram fornecidas pelo Departamento de Ordenamento do Território da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

existirem alternativas viáveis fora desta área. Assim, assumiu-se que a área pertencente à RAN seria de evitar, entrando como área inconveniente à construção da central.

- Áreas de elevada inclinação

Dificuldades de construção, e custos associados, agravam-se à medida que se aumenta o declive. Posto isto, assumiu-se que áreas com declives superior a 3% eram inconvenientes à construção da central.

- Áreas urbanas

São áreas onde já existem habitações (urbanizadas) ou que se encontram destinadas à construção destas (urbanizáveis). De acordo com o artigo 47º do Regulamento do PDM de Oliveira de Azeméis, referente à recolha e tratamento de lixo, “é interdita a execução de quaisquer edificações a menos de 200 m dos limites das Instalações”. Adoptou-se para todos os concelhos de igual forma uma margem de segurança em torno das áreas urbanas de 200 m onde será proibida a construção da central.

- Parques Urbanos

O Regulamento do PDM de Oliveira de Azeméis mencionado refere ainda que são proibidas nestas áreas “todas as acções de destruição do coberto vegetal e não destinadas à sua protecção e valorização para o recreio e lazer das populações”. Admitiu-se de igual modo que este critério é abrangido por todos os concelhos sendo proibida a construção da central em parques urbanos.

- Hidrografia, em particular, proximidade a Rios

Face ao risco de contaminação e erosão dos cursos de água é normalmente imposto por lei uma distância mínima para a execução de quaisquer edificações. Neste estudo, face à incorporação da REN, não foi necessário adoptar nenhuma margem de segurança em relação aos cursos de água uma vez que esta já se encontra aí inserida. A REN, face às linhas de água superficiais, adopta uma protecção de 50 e 100 m consoante a sua importância (Decreto-Lei nº 166/2008).

Estes parâmetros foram adoptados para todos os concelhos com excepção de Oliveira de Azeméis. Neste apenas a REN, a RAN, as Áreas Urbanas e os Rios foram contabilizadas como áreas inconvenientes, por não conter informações sobre o declive e os parques urbanos. De salientar que as áreas urbanas neste concelho resultaram da

união entre: área de cidade, “compreende a cidade de Oliveira de Azeméis”; área a consolidar, “compreende as áreas centrais das freguesias, excluída a de Oliveira de Azeméis”; área de transição, “constituída pelos espaços compreendidos entre as áreas centrais de todas as freguesias e os limites dos Perímetros Urbanos que não estejam incluídos em Área de Equipamento ou em Área de Indústria” onde a construção da central é permitida. De notar que não existe nenhuma referência aos parques urbanos podendo estes encontrar-se, ou não, inseridos nessas áreas (PDM de Oliveira de Azeméis, 1998).

Áreas Convenientes - são todas as áreas onde é possível localizar a central tendo em conta os critérios adoptados na definição das áreas inconvenientes.

Áreas Favoráveis - áreas onde existe uma maior preferência para a localização da central, tendo-se entrado neste estudo com áreas destinadas à implementação de indústrias. O desconhecimento da rede viária, face à falta de dados em formato digital, leva à escolha destas áreas uma vez que, em princípio, asseguram uma adequada acessibilidade.

Na Figura 26 encontra-se uma representação das áreas mencionadas anteriormente nos concelhos em estudo.

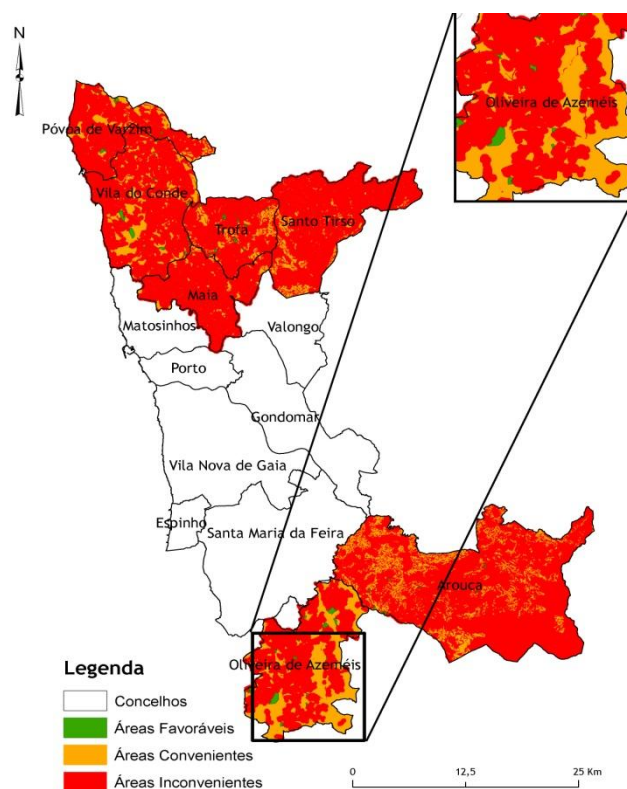


Figura 26 - Representação dos diferentes tipos de áreas consideradas neste estudo

5.2. Tratamento dos dados e Resultados

Cruzando a informação da quantidade de chorume produzida por cada exploração, obtida inicialmente no capítulo 4.3.1, com as moradas abrangidas nesta parte do estudo, chegou-se à conclusão que, de acordo com os critérios de viabilidade admitidos, seriam necessárias mais de 7 centrais de forma a tratar uma quantidade total de 1 509 122 m³/ano. Optou-se por separar os concelhos em três grupos distintos, tendo em conta a sua localização/proximidade e a quantidade de resíduos envolvidos. Na Tabela 10 é apresentada essa divisão e as respectivas características de cada grupo.

Tabela 10 - Divisão dos concelhos pelos 3 grupos e as respectivas características

Grupos	Nº Explorações	Nº efectivos	Chorume (m ³ /ano)
1 (Póvoa do Varzim e Vila do Conde)	479	41 726	1 157 584
2 (Maia, Trofa e Santo Tirso)	107	7 107	143 945
3 (Arouca e Oliveira de Azeméis)	573	21 465	207 592

De seguida procedeu-se a uma análise individual de cada grupo de forma a avaliar o número de digestores a implementar por grupo e a respectiva localização.

Grupo 1

Este grupo é o que apresenta a maior fatia de efluentes gerados sendo uma prioridade o respectivo aproveitamento, quando comparado com os restantes.

De forma a avaliar as necessidades em relação ao número de centrais e a sua localização, optou-se pela realização duma análise entre as diversas freguesias envolvidas. Foram criados subgrupos que delimitavam o número de centrais necessárias, tendo-se adoptado critérios que se regeram pela proximidade entre freguesias e a quantidade total de efluente que produzem, que se encontrava limitada a 200 000 m³/ano.

Um exemplo é Rio Mau que apresenta diversas freguesias em seu redor, sendo todas elas possíveis candidatas a uma união. Contudo, se for tida em conta a quantidade de efluente existente em cada uma, esta união não é tão linear. Se

agruparmos a Rio Mau a freguesia de Rates, constata-se que as quantidades de efluentes geradas anualmente perfazem os 200 000 m³/ano estipulados para cada central. Por outro lado, se agruparmos com Arcos, observamos uma deslocação da freguesia de Balazar, na Póvoa de Varzim, face às restantes, uma vez que esta também não pode ser agrupada com Rates, já que perfaz novamente a quantidade máxima admissível. No anexo 4 encontra-se uma listagem da quantidade de chorume presente em cada freguesia bem como mapas com a indicação das respectivas freguesias.

Tendo em conta esta extensiva análise foram criados 6 subgrupos distintos entre as diversas freguesias da Póvoa de Varzim e Vila do Conde, sendo estes apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Distribuição das freguesias da Póvoa de Varzim e Vila do Conde pelos diversos subgrupos adoptados

Subgrupos	Concelhos abrangidos
CDA1	Laúndos, Estela, Rates e parte de Terroso ¹
CDA2	Amorim, Argivai, Beiriz, Póvoa do Varzim, Rio Mau, Touguinha, Touguinhó e resto de Terroso
CDA3	Arcos, Balazar e Outeiro Maior
CDA4	Bagunte, Ferreiró, Fornelo, Junqueira, Macieira da Maia e Parada
CDA5	Árvore, Azurara, Fajozes, Mindelo, Retorta, Tougues, Vairão, Vila Chã e Vila do Conde
CDA6	Aveleda, Canidelo, Gião, Guilhabreu, Labruge, Lavra, Malta, Modivas, Mosteiró, Vilar e Vilar do Pinheiro

¹ A junção total do concelho de Terroso perfazia a quantidade máxima admissível, sendo excluídas 4 explorações que se encontravam mais afastadas.

No final para cada subgrupo procedeu-se à análise mencionada anteriormente, de forma a localizar cada central, 6 no total, nas áreas que melhor convêm.

De seguida são apresentadas as imagens que mostram a escolha do local para cada subgrupo e uma breve discussão sobre esta (Figura 27).

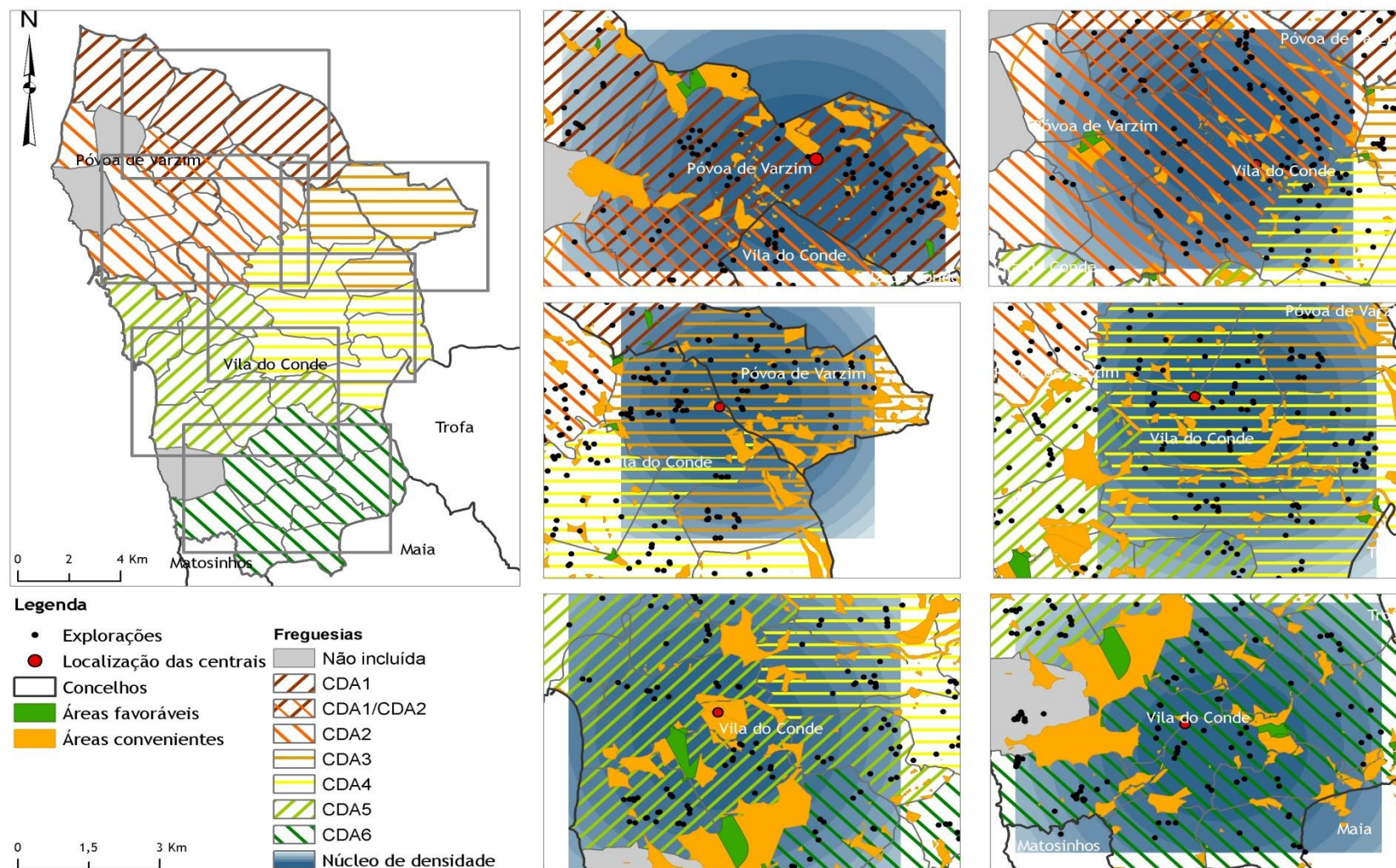


Figura 27 - Representação da localização das centrais abrangidas no grupo 1 e toda a sua envolvente

Anotações: Nas centrais CDA2, CDA4, CDA6 os pontos de localização foram marcados em áreas favoráveis o mais ao epicentro do núcleo possível, observando-se excepções no caso da central CDA5 que, apesar de ter uma área favorável, já se encontrava ocupada por indústrias, e nas centrais CDA1 e CDA3, onde não era visível nenhuma área favorável dentro do núcleo. Nestas excepções foram adoptadas áreas convenientes para a implementação das centrais.

Grupo 2

A escolha do local para este grupo foi mais simples, uma vez que face à quantidade total de chorume apenas seria necessária uma central. Procedeu-se com a análise descrita na metodologia.

Ao analisar-se a Figura 28 observa-se a presença de 3 áreas favoráveis à localização da central dentro do núcleo de densidades. Neste caso, devido à distância das explorações da Trofa e Santo Tirso achou-se por bem seleccionar como mais favorável aquela que mais próxima destas se encontrava.

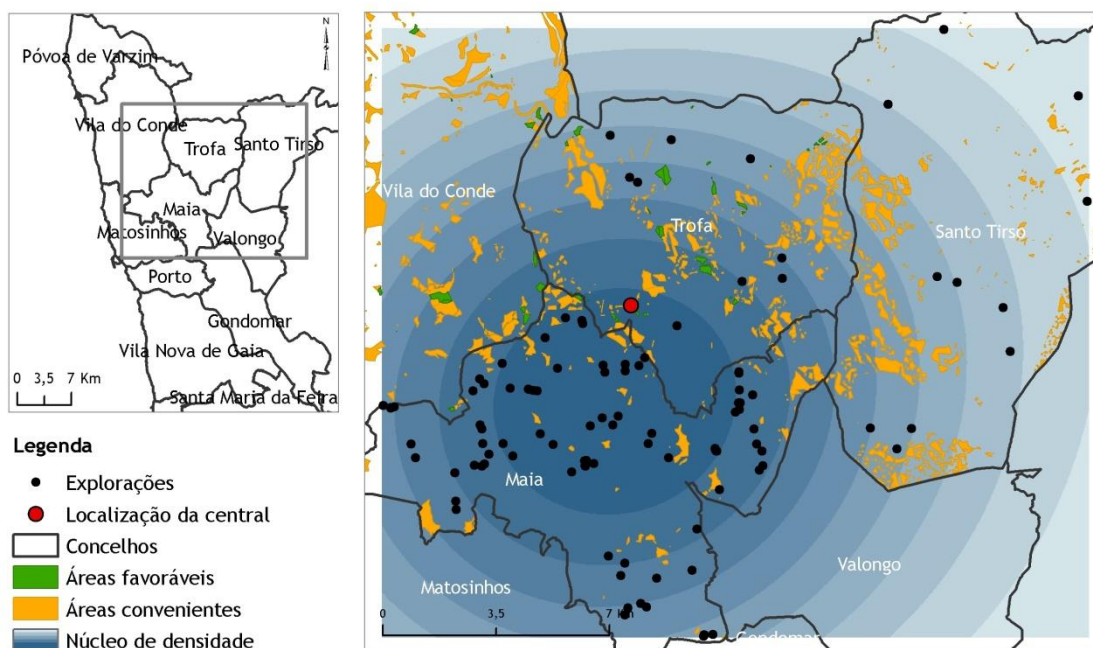


Figura 28 - Representação da localização da central dos concelhos do grupo 2 e toda a sua envolvente

No final observou-se que num raio de 15 km esta central englobava todas as explorações presentes neste grupo, tratando integralmente todos os efluentes produzidos.

Grupo 3

Em relação ao grupo 3 observou-se que aquando da aplicação da função de densidade foram gerados 2 núcleos distintos, um em Oliveira de Azeméis e outro em Arouca. A escolha do núcleo baseou-se na quantidade máxima de resíduos que era possível englobar num raio de 15 km. Ao analisar-se separadamente cada núcleo constatou-se que a localização da central em Oliveira de Azeméis abrangia quantidades de efluentes muito superiores, tendo-se optado por proceder com a localização da central neste concelho.

Ao analisar-se as áreas disponíveis no núcleo averiguou-se a existência de diversas áreas favoráveis, contudo tendo na mesma em consideração a proximidade face às explorações de Arouca procedeu-se com aquela que mais próxima destas se encontrava, como é possível observar pela Figura 29.

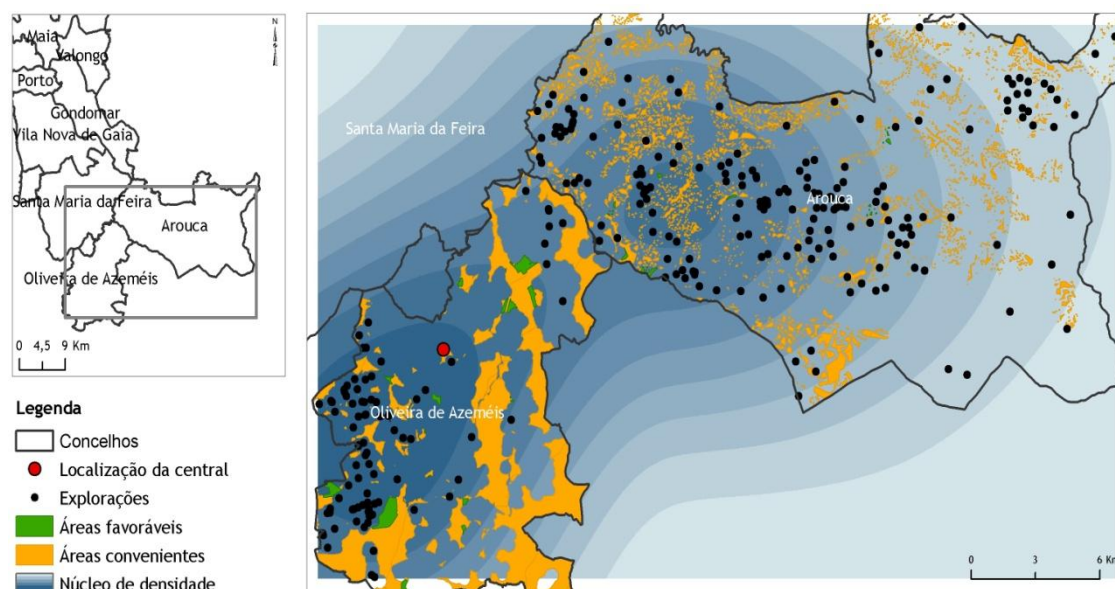


Figura 29 - Representação dos núcleos de densidade de Oliveira de Azeméis e as respectivas áreas favoráveis e convenientes

Contudo, adoptando um raio de 15 km face ao ponto marcado para a localização da central observa-se que nem todas as explorações de Arouca são abrangidas, tendo ficado cerca de 265 exploração excluídas, o que perfaz um total de 49.935 m³ de chorume por ano. Contudo ao observar-se a cartografia desta região constatou-se que as regiões situadas mais a Oeste, pertencentes nomeadamente às freguesias de Alvarenga, Covelo de Paivô, Espiunca e Janarde, dificilmente seriam

incorporadas numa central uma vez que a sua localização em zonas montanhosas e distantes eleva significativamente os custos associados ao transporte.

É de notar que quando se procedeu com a marcação do ponto da localização da central, em todos os casos, teve-se ainda em atenção a área disponível, tendo sido estipulado que a área mínima necessária seria de 1 ha, a ocupação do solo e a rede viária, usando-se cartas militares de forma a obter-se uma melhor percepção.

Na Figura 30 encontra-se representada a localização final das 8 explorações adoptadas para este estudo.

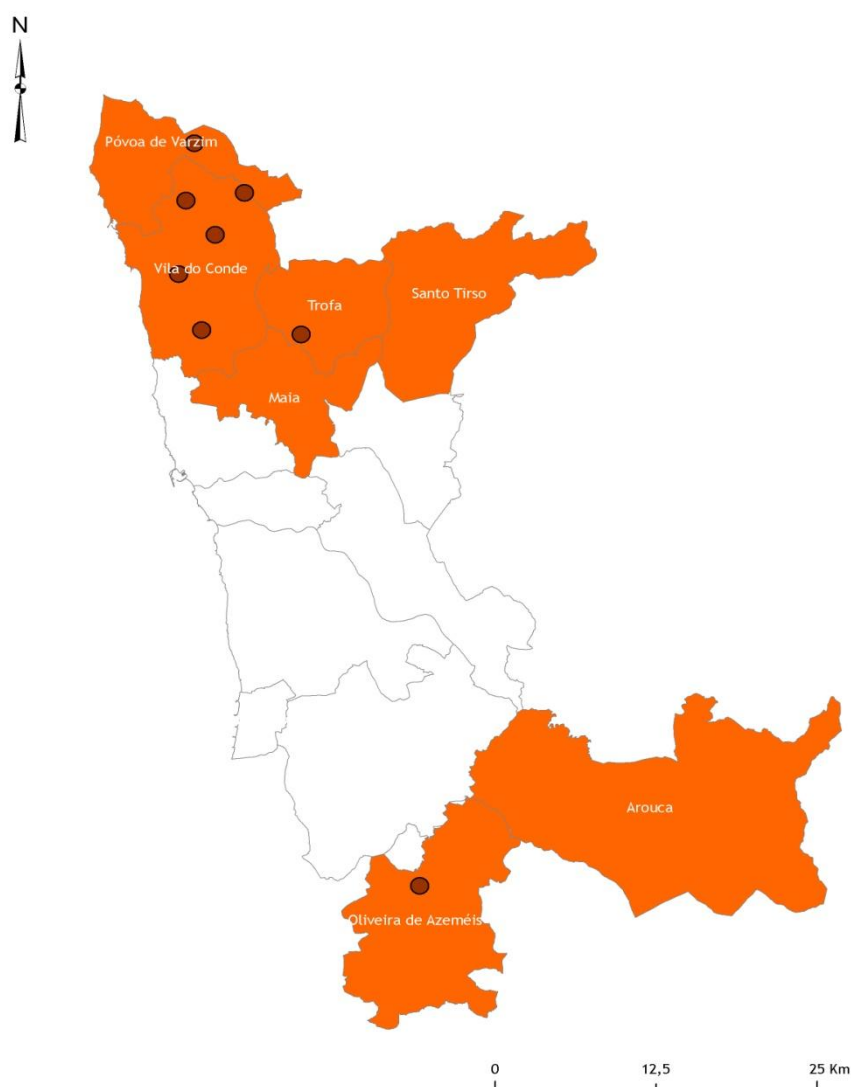


Figura 30 - Representação final da localização de cada central

De seguida encontra-se na Tabela 12 um resumo para cada central acerca da sua localização, a área envolvente disponível e a quantidade de chorume que está previsto receber anualmente.

Tabela 12 - Características da localização de cada central, bem como a respectiva quantidade de chorume a tratar

Chorume a tratar							
Centrais	Concelho	Freguesia	Coordenadas Geográficas ¹		Área disponível (ha)	Chorume a tratar (m³/ano)	
			Latitude	Longitude			
Grupo 1	CDA1	Póvoa do Varzim	Rates	41,43327	-8,69023	34	195 324
	CDA2	Vila do Conde	Touguinhó	41,38956	-8,69768	1,7	194 094
	CDA3	Vila do Conde	Arcos	41,39561	-8,64320	4,4	192 332
	CDA4	Vila do Conde	Bagunte	41,36348	-8,67027	3,5	196 248
	CDA5	Vila do Conde	Árvore	41,33344	-8,70389	7,9	194 482
	CDA6	Vila do Conde	Modivas	41,29781	-8,68206	1,8	183 788
Grupo 2	Trofa	Coronado (São Mamede)	41,28764	-8,58978	9,8	143 945	
Grupo 3	Oliveira de Azeméis	São Roque	40,86694	-8,47739	2,5	157 657	

¹Em graus decimais

No final conclui-se a necessidade de implementar 8 centrais de digestão anaeróbia, das quais 5 se localizam no concelho de Vila do Conde. Do efluente total incorporado no estudo, 1 509 122 m³/ano, apenas foram excluídos 3%, que face à viabilidade do transporte não foram incluídos.

6. Viabilidade Sócio-económica

Perante o cenário crescente do efectivo bovino nacional e a tendência para a adopção de um regime intensivo de estabulação com produção de efluentes, é necessário promover a implementação de sistemas adequados à sua gestão, tendo estes que constituir uma alternativa eficaz face à minimização do impacto gerado e viável do ponto de vista económico.

A viabilidade da implementação de centrais destinadas à produção de biogás pode ser analisada por duas perspectivas, nomeadamente em relação à sua parte técnica e económica, sendo feita uma análise dentro dos limites da indústria (porta a porta), ou procedendo-se com uma análise das vantagens e desvantagens que esta pode causar no desenvolvimento da região onde insere (viabilidade sócio-económica), sendo esta última análise inserida no âmbito desta tese.

Uma avaliação com resultados concretos sobre o que se evidenciará no futuro, aquando a implementação da central, não é possível face à constante mudança de diversos factores. Contudo, com base no que têm vindo a ser observado até à data face à implementação desta tecnologia, pode ser feita avaliação de possíveis benefícios previsíveis de serem gerados na região onde a central se inserirá, tais como:

- criação de postos de trabalho, levando à redução da taxa de desemprego;
- fixação por parte de outras indústrias que pretendam usufruir dos benefícios gerados pela central, nomeadamente no escoamento dos seus resíduos ou uso de produtos;
- aumento da população activa;
- estímulo à actividade pecuária, dado que permite o escoamento dos efluentes pecuários que representam um problema para alguns produtores;
- sensibilização junto dos produtores de práticas agrícolas mais sustentáveis, permitindo que estes actuem activamente na resolução de problemas ambientais;
- possibilidade de integrar outros resíduos biodegradáveis provenientes da região;
- aumento da qualidade da água, face à diminuição de cargas associadas a fontes de poluição difusa, particularmente associadas à prática do espalhamento.

Contudo factores externos à central podem por a sua viabilidade em causa, nomeadamente:

Perspectivas de abandono da actividade por parte dos produtores

O encerramento das explorações consiste num factor extremamente importante aquando da análise da viabilidade da implementação de uma central numa determinada região, dado que o seu sustento reside nos efluentes produzidos por estas.

Ao analisar-se a evolução dos produtores singulares no período 1999 - 2009 constatou-se uma redução em todos os concelhos estudados no âmbito da escolha da localização das centrais. Na Figura 31 é possível observar essa redução tendo em conta a distribuição etária dos produtores e o agrupamento dos concelhos adoptados anteriormente, onde o grupo 1 é constituído pela Póvoa de Varzim e Vila do Conde, o grupo 2 pela Maia, Santo Tirso e Trofa e o grupo 3 por Arouca e Oliveira de Azeméis.

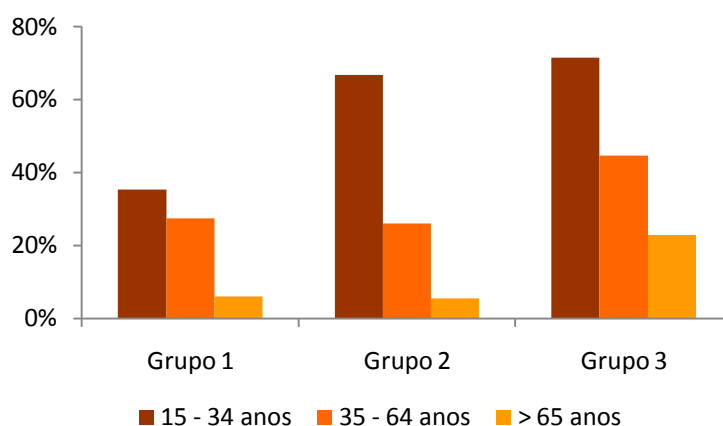


Figura 31 - Redução do número de produtores singulares por grupo etário entre 1999 e 2009 nos concelhos em estudo (INE, 2011)

Em todos os concelhos, as reduções são mais acentuadas nos produtores jovens, seguindo-se os produtores com idades entre os 35 e 64 anos. Os produtores com mais de 65 anos apresentam reduções pouco significativas. No anexo 5 é possível avaliar de forma detalhada o número de produtores distribuídos por cada grupo etário. Constatou-se um elevado número de produtores com uma idade superior a 65 anos, observando-se um reduzido número de produtores no grupo etário entre os 15 - 34 anos.

Em média mais de 95% dos produtores pretendia continuar com a actividade por mais 2 anos (INE, RA 2009). A razão que leva à continuidade da actividade por parte dos produtores pode ser observada na Figura 32.

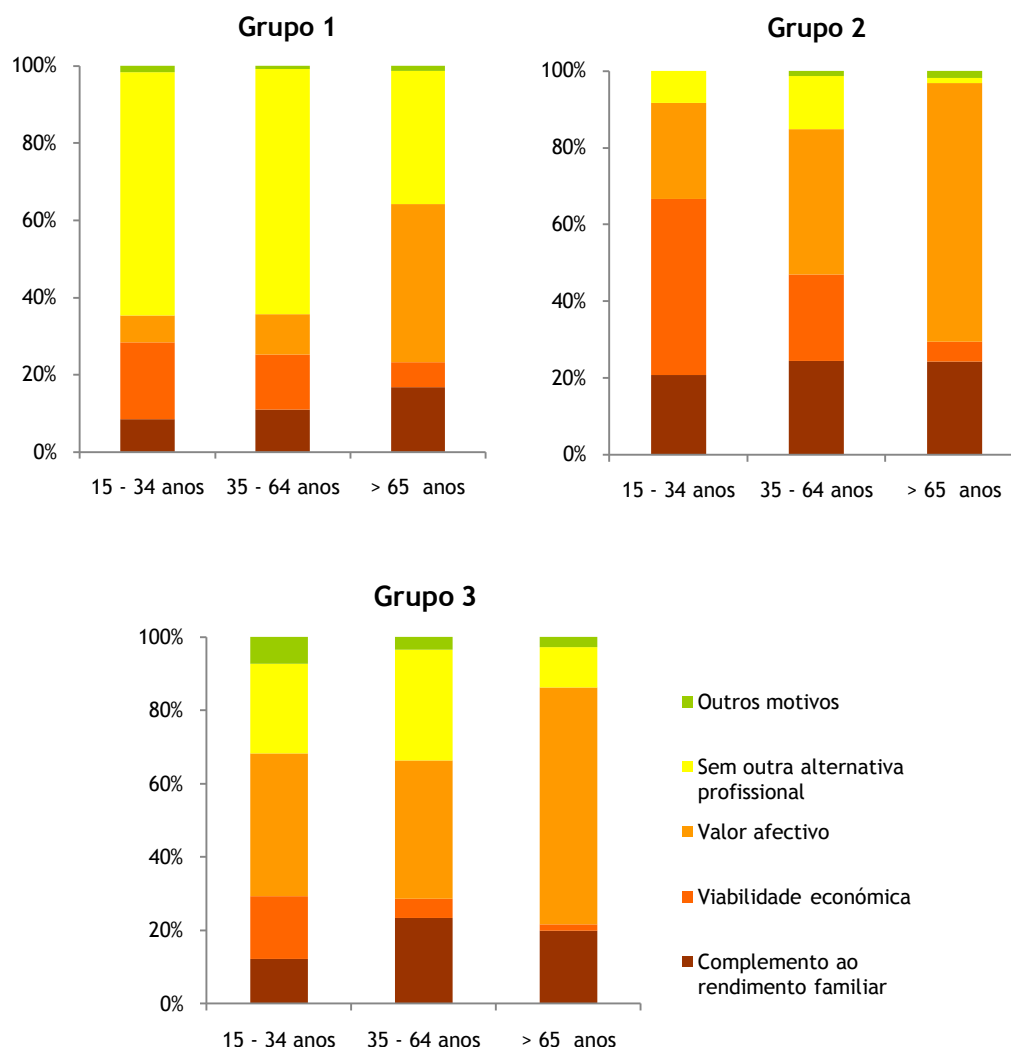


Figura 32 - Distribuição da razão de continuidade da actividade por grupo etário para os diferentes grupos abrangidos

A falta de alternativa profissional por parte dos produtores mais jovens, entre 15 a 64 anos, dos concelhos da Póvoa de Varzim e Vila do Conde foi a principal razão apontada para a continuação da actividade. Quanto aos produtores com mais de 65 anos, estes devem a sua continuidade ao valor afectivo que esta apresenta. Nos concelhos do grupo 2 os produtores com mais de 35 anos também se regem, na sua maioria, pelo valor afectivo, enquanto que a população jovem é movida pela viabilidade económica. Quanto ao grupo 3, para todo o grupo etário a razão de continuidade da maioria dos produtores deve-se ao valor afectivo que esta traduz.

Agregando esta informação observa-se que de uma forma geral, os produtores jovens são aqueles que no futuro se encontram mais aptos para continuar com a actividade, são os que se encontram em minoria. A falta de população jovem interessada neste sector é uma preocupação crescente. Por outro lado, os principais produtores pertencentes a um grupo etário envelhecido, que mais tarde ou mais cedo devido à sua incapacidade irão cessar a actividade.

Outro factor que ainda têm estado na origem do abandono desta actividade é a crise instalada no sector leiteiro. Grande parte dos produtores singulares apresentam como principal fonte de rendimento a actividade agro-pecuária. Uma contínua subida dos preços dos consumíveis utilizados pelos produtores, face à diminuição do preço de venda dos seus produtos, tem originado bastantes controvérsias e até mesmo gerado a cessação da actividade por parte de muitos.

Se esta tendência se mantiver, sem medidas que incentivem à continuação da actividade bovina, pode-se vir a ser observado num futuro próximo redução ainda mais drástica do que àquelas que se observaram entre 1999 e 2009, tornando-se inviável a implementação de centrais em determinadas regiões e a necessidade de um maior número destas noutras, dado que se registaram aumentos do efectivo bovino nacional face à intensificação do número de animais nas explorações já existentes.

Aceitação por parte dos produtores

Os efluentes só são incorporados na central se os produtores aceitarem a sua incorporação, pelo que é importante perceber a disponibilidade dos produtores. É ainda conveniente averiguar quais os condicionantes que poderão surgir para a incorporação do efluente num tratamento centralizado, nomeadamente a distribuição dos encargos: se este pode ser administrado na central sem encargos para os produtores ou, como acontece em outros sistemas de tratamentos de resíduos, mediante o pagamento de uma taxa de recepção. A recolha deste tipo de informação poderá ser realizada ao nível das cooperativas ou associações que englobem os produtores de cada concelho, sendo estas entidade um meio de ligação preferencial entre os responsáveis pela gestão da central e os produtores. A utilização de vias comunicacionais preferenciais favorecerá o diálogo integrador e facilitará o processo de gestão da central, evitando a comunicação individual com cada produtor, e favorecendo uma abordagem de escala superior e centralizada.

Falta de um mercado sólido para a venda dos produtos gerados pelo processo de digestão

Do ponto de vista económico uma central só é viável quando os gastos necessários para o tratamento dos resíduos são inferiores às receitas geradas.

O escoamento da energia não constitui um factor crítico para a viabilidade de uma central. Contudo a falta de mercado na venda dos produtos resultantes da digestão pode-se traduzir num problema. A venda destes produtos será viável a nível local e/ou regional, sendo impraticável a sua distribuição a longas distâncias face aos custos de transporte associados. Conforme mencionado, é necessário proceder-se a um estudo detalhado do mercado envolvente de modo a avaliar, de entre as diversas possibilidades de escoamento do produto, qual aquela que apresentava vantagens económicas. É necessário abordar na região os diversos utilizadores destes produtos, nomeadamente hortos, floristas, agricultores, etc., de modo a avaliar a sua receptividade face à compra do produto e estipular um valor de mercado para este. Esta análise, devido à sua especificidade e extensão, não foi incluída no âmbito do presente estudo.

7. Conclusão

Numa análise inicial procedeu-se à quantificação do efluente gerado em todas as explorações dos concelhos em causa, nomeadamente Vila do Conde, Póvoa de Varzim, Oliveira de Azeméis, Trofa, Maia, Santo Tirso e Arouca. Como era expectável, observou-se que Vila do Conde, com 585 explorações, é o concelho que mais quantidade de chorume produz, perfazendo 47% do total em estudo. É de salientar ainda a importância do sector leiteiro nesta análise, uma vez que adoptaram-se critérios que favoreciam a distribuição do efectivo bovino pelas vacas leiteiras. A quantidade de efluente gerado por estas é cerca de 1,5 vezes superior às vacas aleitantes e quase o triplo em relação aos bovinos.

No que toca à análise da escolha das áreas para a implementação das centrais, face às diversas exclusões e falta de informação, foi possível observar uma redução significativa na quantidade de explorações inseridas neste estudo. Constatou-se que em média apenas foram contabilizadas 33% das explorações totais para cada concelho, com destaque Santo Tirso e Trofa onde as percentagens foram 3 e 4 %, respectivamente. Contudo, analisada a quantidade de chorume abrangida por estas, concluiu-se que em média se incluiu 70% do total produzido por concelho. Deste modo, as principais explorações englobadas correspondem àquelas que apresentam grandes dimensões do efectivo bovino e com maior impacto associado.

Nos concelhos estudados determinou-se que era necessário implementar 8 centrais para tratar um total de 1 459 186 m³/ano de resíduos, perfazendo 82% do efluente total gerado nestes concelhos. Vila do Conde e Póvoa de Varzim são os que mais contribuem para essa produção, abrangendo 6 das 8 centrais a implementar e recebendo 80% do efluente total a tratar.

A implementação de centrais para o tratamento de efluente na área de estudo poderá ter inúmeras vantagens para o desenvolvimento da região, nomeadamente na criação de postos de trabalho, aumento da população activa, fixação por parte de outras indústrias que pretendam usufruir dos benefícios gerados pela central, etc. No entanto é necessário prever e avaliar quais os factores externos que possam inviabilizar a sua implementação. Um exemplo reside na falta de população jovem inserida na actividade bovina e no facto de muitos produtores pertencerem a um grupo etário com mais de 65 anos. Isto traduzir-se-á na cessação da actividade em poucos anos por parte os produtores mais velhos, havendo falta de novos produtores que os substituam.

A falta de explorações numa região, bem como a aceitação dos produtores em incorporar os seus efluentes na central consistem em factores extremamente importante aquando da análise da viabilidade da sua implementação, dado que o seu sustento reside nos efluentes produzidos pelas explorações envolventes.

7.1. Limitações e Trabalho Futuro

Os receios evidenciados por parte dos produtores e pelos detentores desses dados relativamente a termos de confidencialidade foi o principal factor limitante deste estudo. A falta de informação da rede viária também contribuiu negativamente, uma vez que não pode ser feita uma análise mais detalhada da distância da central à fonte tendo-se aplicado alternativamente o critério de 15 km como raio máximo para a viabilidade do transporte entre as explorações e as centrais. O desconhecimento detalhado das características de cada exploração bovina também é um factor limitante da qualidade dos resultados apresentados, contudo face aos recursos disponíveis tentou-se, de forma o mais correcta possível, proceder com esta análise. Quanto à análise da viabilidade sócio-económica da implementações dos digestores esta foi escassa uma vez que.

Face às dificuldades evidenciadas na obtenção de dados essenciais à escolha das localizações das centrais de digestão anaeróbia, e a sua extensa análise, a avaliação da viabilidade sócio-económica destes sistemas não pode ser efectuada devidamente, sendo necessário proceder-se em trabalhos futuros com uma análise mais detalhada.

De seguida, encontram-se indicadas outras recomendações para trabalhos futuros:

- Proceder com estudos sobre a redução do efluente na fonte, aplicando-se a hierarquia de resíduos recomendada: primeiro evitar a sua formação e só depois proceder com o seu tratamento,
- Avaliação da possibilidade de incorporação de outro tipo de resíduos no processo, sendo necessário analisar as regiões onde as centrais se inserem de forma a estudar quais as indústrias que produzam resíduos adequados,
- Caracterização detalhada de cada exploração de forma a proceder-se com uma rigorosa quantificação do efluente gerado,

- Proceder-se a um estudo detalhado do mercado envolvente de modo a avaliar, de entre as diversas possibilidades de escoamento do produto, qual aquela que apresentava maiores vantagens económicas,
- Avaliar a aceitabilidade por parte dos produtores na incorporação dos resíduos na central e ainda averiguar quais os condicionantes que poderão surgir para a incorporação do efluente num tratamento centralizado, nomeadamente a distribuição dos encargos (sem encargos para os produtores ou, mediante o pagamento de uma taxa de recepção). A recolha deste tipo de informação poderá ser realizada ao nível das cooperativas ou associações que englobem os produtores de cada concelho.

Referências Bibliográficas

- AD (2011), *www.biogas-info.co.uk*, acedido em Junho de 2011
- ADENE (2003), Agência para a energia, Estudo de viabilidade do tratamento centralizado de resíduos agro-pecuários no Concelho de Montemor-o-Novo
- ADNett (2011), The European Anaerobic Digestion Network, <http://www.adnett.org/>, acceded at 19th of January of 2011
- amp (2011), Área Metropolitana do Porto, *www.amp.pt*, acedido em Junho de 2011
- Burke, D. A. (2001), Environmental Energy Company, Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook: Options for Recovering Beneficial Products From Dairy Manure
- CBMI (2010), Centre for Bioenergy and Environmental Technology, Best Available Technologies for manure treatment - for intensive rearing of pigs in Baltic Sea region EU Member States
- CBPA (1997), Código de Boas Práticas Agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola, Ministro da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
- CBPA (2009), Anexo II - Quantidade e composição média de estrumes e de chorumes não diluídos produzidos anualmente por diferentes espécies pecuárias e sua conversão em cabeça normal (CN)
- Chen, Y.; Cheng, J. J.; Creamer, K. S. (2007), Bioresouce Technology, Inhibition of anaerobic digestion process: A review, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University
- Ciborowski, P. (2001), Minnesota Pollution Control Agency, Anaerobic Digestion of Livestock Manure for Pollution Control and Energy Production: A Feasibility Assessment
- Decreto-Lei n.º 73/2009 de 31 de Março, *Diário da República*, n.º 63 - I Série, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
- Decreto-Lei n.º 122/2006 de 27 de Junho, *Diário da República* n.º 122 - I Série-A, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
- Decreto-Lei n.º 166/2008 de 22 de Agosto, *Diário da República* n.º 162 - I Série – N.º 162. Ministério do Ambiente, do Desenvolvimento do Território e do Desenvolvimento Regional.

- Decreto-lei nº 202/2005 de 24 de Novembro, *Diário da República* nº 226 - I Série-A
- Decreto-Lei nº 214/2008 de 10 de Novembro, *Diário da República* nº 218 - I Série, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
- Decreto-Lei nº 235/97 de 3 de Setembro, *Diário da República* nº 203 - I Série-A, Ministério do Ambiente
- Dias, J. M. (2009), Apontamentos de Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos I (RS I), Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente (MIEA), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)
- Dias, J. M. (2010), Apontamentos de Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos II (RS II), Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente (MIEA), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)
- Directiva 2000/60/CE de 23 de Outubro de 2000, *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* L 327/1, do Parlamento Europeu e do Conselho
- Directiva nº 91/676/CEE 12 de Dezembro, *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* L 375/1, do Conselho
- Durão, V. L. C. (2009), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, *Análise comparativa de sistemas centralizados e descentralizados de valorização de chorumes de suiniculturas, utilizando o Software Umberto*
- EDP (2011), Energias de Portugal, <http://www.edp.pt>, acedido em Junho de 2011
- Eds.norte (n.d.), Energia e Desenvolvimento Sustentável na Região Norte, *Digestão Anaeróbia - Metodologia de Desenvolvimento*, disponível em www.biologicaonline.com/pt//attachments/DataBase/attachs2.pdf
- ENEPAI (2007), Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, *Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-pecuários e Agro-Industriais*
- ETSU (1997), British Biogen, Anaerobic Digestion of farm and food processing residues GoodPractice Guidelines
- Eurostat (2009), European Commission, *Energy, transport and environment indicators*, disponível em epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DK-09-001/EN/KS-DK-09-001-EN.PDF

- FCT (2011), Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus.fct.unl.pt/afr/ipa_0203/g03_agua/agua_files/page0005.html, acedido em Junho de 2011
- FEC (2003), Energy Consultancy, Anaerobic digestion, storage, oligolysis, lime, heat and aerobic treatment of livestock manures
- Fernandes, A.; Silva, P (n. d.), Universidade do Minho, Divisão Infraestruturas Rurais Hidráulica Eng.º Agrícola e Ambiente, *Chorumes nas Explorações de Bovinicultura Leiteira Intensiva: Opções de Tratamento*
- Friends of the Earth (2007), Briefing Anaerobic digestion
- Gonçalves, C. S. (2010), Avaliação do Potencial de Geração de Biogás a partir de Resíduos de Boviniculturas na Área Metropolitana do Porto, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)
- Hamilton, D. W. (n.d.), Oklahoma Cooperative Extension Service, Anaerobic Digestion of Animal Manures: Understanding the Basic Processes
- INE (2009), Instituto Nacional de Estatísticas, Agricultura, Floresta e Pesca, *Indicadores Agro-Ambientais 1989-2007*
- INE (2011), Dados Estatísticos, Agricultura, Floresta e Pesca: Recenseamento agrícola e inquéritos estruturais, www.ine.pt, acedido em Junho de 2011
- Karim, K.; Hoffmann, R.; Klasson, T.; Al-Dahhan, M.H. (2005), Water Research, *Anaerobic digestion of animal waste: Waste strength versus impact of mixing*, Department of Chemical Engineering, Washington University
- Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro, *Diário da República nº 249 - I Série-A*, Assembleia da República
- Moreira, M. F. (2011), Viabilidade Técnica e Económica da Digestão Anaeróbia aplicada ao tratamento dos resíduos das boviniculturas da Área Metropolitana do Porto, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)
- Nelson, C.; Lamb, J.(2002), The Minnesota Project, Final Report: Haubenschild Farms Anaerobic Digester
- Ogejo, J. A. (2009), Virginia Polytechnic Institute and State University, *Selecting a Treatment Technology for Manure Management*

- Oliveira, L. C.(2005), Universidade dos Açores: Departamento de Ciências Agrárias, Digestão anaeróbia: Uma visão sustentável no tratamento dos subprodutos de origem animal
- PDM de Oliveira de Azeméis (1998), Plano Director Municipal de Oliveira de Azeméis
- PE (2011), Parlamento Europeu, Pacote Clima-Energia: “três vintes”, www.europarl.europa.eu, acedido em Junho de 2011
- POBLP-EDM (2007), Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Direcção Regional da Agricultura e Pesca do Norte, *Plano de Ordenamento da Bacia Leiteira Primária de Entre Douro e Minho*
- Portaria nº 631/2009 9 de Junho de 2009, *Diário da República nº 111 - I Série*, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
- RA (2011), Instituto Nacional de Estatística, Recenseamento Agrícola 2009 - Análise dos principais resultados
- Regulamento (CE) nº 1774/2002 de 3 de Outubro de 2002, *Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 273/1*, do Parlamento Europeu e do Concelho
- Santos, R. P (2009), *Introdução ao ArcGis: Conceitos e Comandos*, disponível em xa.yimg.com/kq/groups/17314041/51088737/name/Apostila+Renato+Prado+Vol+2.pdf
- ST (2011), Sustainable Table, Animal Waste, the Environment, and Human Health, www.sustainabletable.org/issues/waste/, acedido em Junho de 2011
- Starmer, E. (n.d.); The Agrobusiness Accountability Initiative, Environmental and Health Problems in Livestock Production: Pollution in the Food System
- UM (2011) University of Minnesota, www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/components/7401_02.html, acedido em Junho de 2011

Anexos

Anexo 1

Quantidade e composição média de estrumes e de chorumes não diluídos produzidos anualmente por diferentes tipos de bovinos de acordo com o Código de Boas Práticas Agrícolas

Tipo de Bovinos	Efluente pecuário ¹	m ³ ou t/animal/ano ²	Kg/ t de estrume ou kg/m ³ de chorume					
			MS	MO	N _t ³	N _{disp} ⁴	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vaca leiteira ⁶	Estrume	21,0	210	175	5,3	1,3 - 2,5	2,2	10,8
	Chorume	23,0	90	70	4,3	2,2 - 3,0	1,8	8,0
Vaca aleitante	Estrume	14,0	210	175	5,3	1,3 - 2,5	2,2	10,8
	Chorume	15,5	90	70	4,3	2,2 - 3,0	1,8	8,0
Bovinos de recria (6 a 24 meses) ⁷	Estrume	7,0	210	175	5,3	1,3 - 2,5	2,2	10,8
	Chorume	8,0	90	70	4,3	2,2 - 3,0	1,8	8,0
Bovino de engorda intensiva	Estrume	6,8	210	155	5,4	1,3 - 2,5	2,3	8,9
	Chorume	7,5	90	65	4,3	2,2 - 3,0	1,7	5,2
Vitelo de recria (< 6 meses)	Estrume	2,2	210	150	5,3	1,3 - 2,5	2,3	5,5
Vitelo aleitamento (< 3 meses) ⁷	Estrume	1,4	90	150	5,3	1,3 - 2,5	2,3	5,5

¹O efluente pecuário produzido depende do tipo de animal e da percentagem de fezes que contém. O chorume contém todas as fezes e urina, sendo que as quantidades referidas na tabela não consideram a adição de águas de lavagens ou pluviais. Em função de eventuais diluições, a composição mineral final do efluente pecuário, para efeitos de valorização agrícola, deve ser ajustada. O estrume é a mistura dos dejectos sólidos e líquidos dos animais com resíduos de origem vegetal constituinte das camas. O tipo e qualidade do estrume dependem da quantidade e qualidade da cama utilizada e da proporção de fezes e de urina que contém;

²Valores referentes a uma produção média. Quando a produção é mais intensiva a quantidade de estrume e chorume aumenta consequentemente. A produção de estrume ou de chorume depende do sistema de estabulação. Se o sistema de estabulação previr a produção conjunta de estrumes e chorumes, devem ser atribuídas percentagens a cada um destes efluentes;

³Tendo como referência o valor de N excretado nas fezes e urina, deduziram-se a este as perdas de N (principalmente na forma de amoníaco) que para animais que consomem forragem grosseira são de 15% em estabulação condicionada e de 20% em estabulação livre;

⁴O N_{disp}. corresponde à fracção que resulta da mineralização do azoto orgânico que pode ser utilizada pelas culturas em condições óptimas. Esta fracção inclui o azoto disponível a curto prazo, bem como o azoto que ficará disponível nos anos seguintes. Nas parcelas de terreno que recebem regularmente estrumes ou chorumes será o valor de N_{disp}. que deverá ser tomado em conta no plano de fertilização, pois assim entra-se em consideração com o efeito residual do azoto fornecido através daqueles efluentes em anos anteriores. Em culturas forrageiras, será melhor considerar os valores superiores do intervalo de variação do N_{disp}. apresentado, enquanto que nas culturas mais intensivas (milho, trigo, batata, etc.) será de considerar os valores inferiores. Se o estrume ou o chorume não é aplicado no momento óptimo, o azoto que é efectivamente disponibilizado para a cultura pode ser apreciavelmente inferior. No caso de uma aplicação isolada de estrume ou chorume, a percentagem do azoto total (N_t) que ficará disponível

para a cultura no 1º ano pode ser estimada em cerca de: 20% para o estrume de bovino; 60% para o chorume de bovino;

⁵ Valores reportados a uma produção média de 7 000 kg de leite. Para uma produção média de menos 1 000 kg de leite, as quantidades podem ser reduzidas em 10%; por cada 1 000 kg de leite de produção média a mais, o volume dos efluentes devem ser acrescidos em 2%. Esta correcção tem em conta o peso vivo dos animais;

⁶ No caso dos bovinos de recria com menos de 1 ano, de 1 a 2 anos, ou com mais de 2 anos, o volume de efluentes produzidos por animal e ano deve ser de 5, 7, ou 10 toneladas de estrume ou 5,5, 8 e 11 m³ de chorume, respectivamente, com as mesmas características dos efluentes das vacas aleitantes. Nos vitelos em aleitamento artificial /recria até 90 dias de idade, as quantidades são consideradas por lugar/ano (4 ciclos);

Anexo 2

Valores indicativos no Código de Boas Práticas Agrícolas para o cálculo das quantidades de água de lavagem que vão parar aos tanques de recepção dos dejectos

Tipo de água usada	Unidade	m³/ano
Água de limpeza do estábulo e de tratamento dos animais ¹	UGB ⁴	7
Estabulação com grelha e dreno ²	UGB	6
Escorrências das pilhas de estrume a céu aberto e lugares de passagem não cobertos ³	m ²	0,5

¹A quantidade de águas usadas pode variar enormemente consoante o tipo de lavagem e mesmo a época do ano. Os valores apresentados devem, assim, ser tomados com as devidas reservas. Cada exploração beneficiará se tiver um contador individual que lhe permita fazer as suas próprias estimativas.

²Esta quantidade adiciona-se geralmente à que é utilizada para a limpeza normal dos estábulos.

³Quantidade a ser tida em consideração apenas quando a água vai parar ao tanque de recepção dos dejectos

⁴UGB = Unidade de Gado Bovino

Anexo 3

Distribuição do número de explorações pelos concelhos em estudo de acordo com a Direcção-Geral de Veterinária

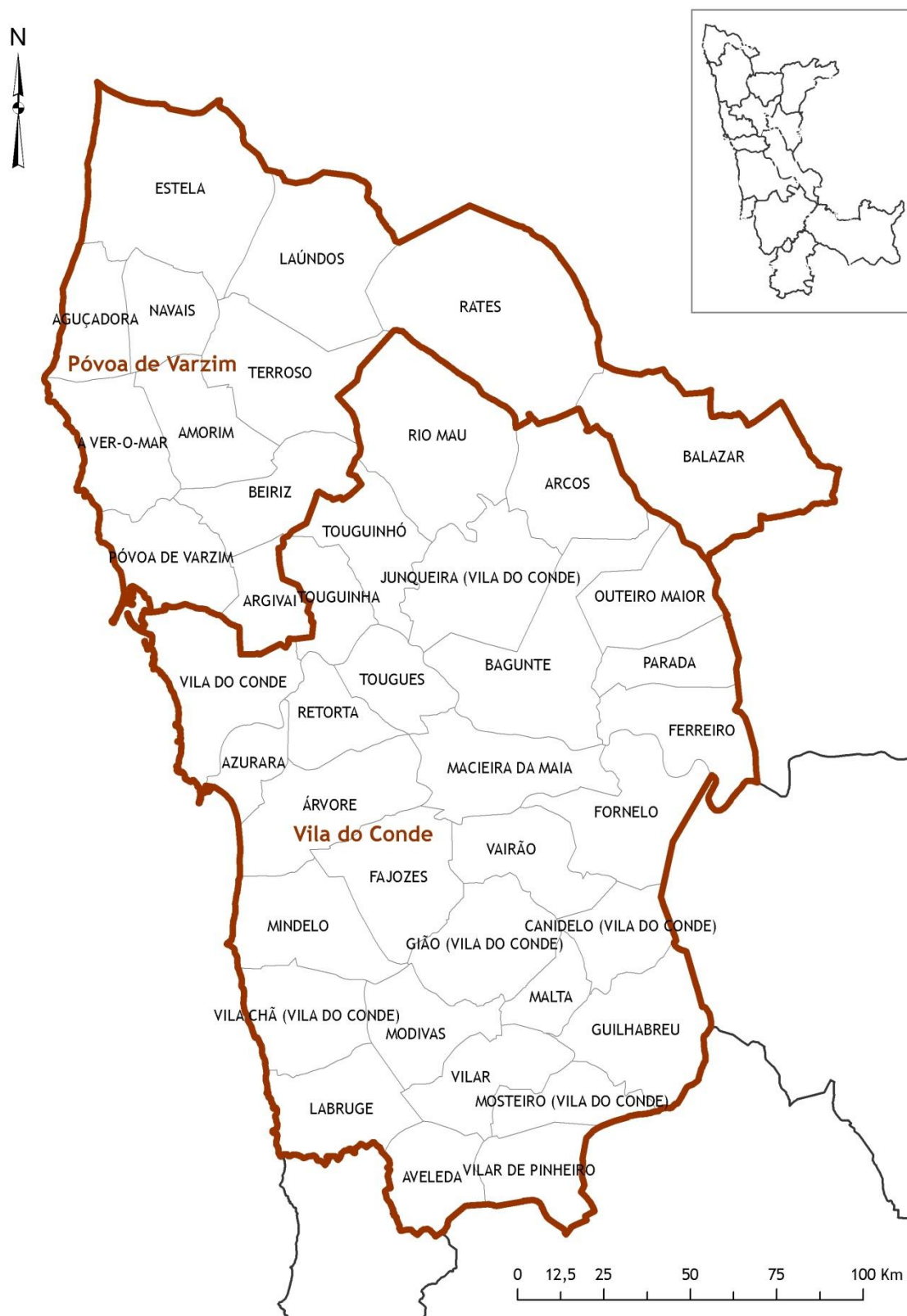
	Arouca	Maia	Oliveira de Azeméis	Póvoa do Varzim	Santo Tirso	Trofa	Vila do Conde
Explorações	857	183	603	341	317	264	585

Anexo 4

Quantificação do efluente gerado por freguesia nos concelhos de Póvoa do Varzim e Vila do Conde

Concelho	Freguesia	Nº Effectivos	Chorume (m ³ /ano)
Póvoa do Varzim	Amorim	612	13.221
	Argivai	147	3.096
	Balazar	5.188	115.379
	Beiriz	905	19.375
	Estela	1.052	22.846
	Laúndos	1.430	32.005
	Póvoa de Varzim	258	5.259
	Rates	5.669	125.692
	Terroso	975	21.180
Vila do Conde	Arcos	2.136	46.013
	Árvores	1.298	27.738
	Aveleda	92	1.921
	Azurara	92	1.921
	Bagunte	2.816	62.053
	Canidelo	238	4.926
	Fajozes	2.070	44.520
	Ferreiró	1.246	27.402
	Fornelo	580	11.041
	Gião	939	20.157
	Guilhabreu	1.875	41.028
	Junqueira	3.080	66.761
	Labruge	1.968	43.989
	Lavra	29	667
	Macieira da Maia	1.001	22.117
	Malta	13	106
	Mindelo	1.489	32.492
	Modivas	773	16.248
	Mosteiró	368	7.909
	Outeiro Maior	1.550	34.334
	Parada	310	6.875
	Retorta	927	19.971
	Rio Mau	4.648	100.869
	Tougues	758	16.448
	Touguinha	784	16.604
	Touguinhó	1.303	27.193
	Vairão	1.332	27.031
	Vila Chã	733	16.409
	Vila do Conde	364	7.952
	Vilar	1.380	29.911
	Vilar do Pinheiro	714	14.841

Representação geográfica da localização das freguesias dos concelhos da Póvoa do Varzim e Vila do Conde



Anexo 5

Distribuição dos produtores singulares pelos grupos em análise e a respectiva idade de acordo com o Instituto Nacional de Estatística

	Período de referência	Grupo etário		
		15 - 34 anos	35 - 64 anos	>65 anos
Grupo 1	1999	209	1.537	383
	2009	135	1.115	360
Grupo 2	1999	72	872	570
	2009	24	645	539
Grupo 3	1999	144	1.809	781
	2009	41	1.003	602