



Instituto Politécnico
de Viana do Castelo

Ricardo Rafael Pinheiro Barros

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA VALORIZAÇÃO AGRONÓMICA DE
EFLUENTES PECUÁRIOS E GESTÃO DE NUTRIENTES BASEADA NA SUA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Mestrado em Zootecnia

Trabalho efetuado sob orientação do
Professor Doutor Joaquim Mamede Alonso
e sob a coorientação
Doutor Bruno Alexandre de Sousa Leitão

Agosto de 2023

As doutrinas expressas neste trabalho são da exclusiva responsabilidade do autor.

TRABALHOS REALIZADOS NO ÂMBITO DA DISSERTAÇÃO

- i) Comunicação em póster e publicação em livro de resumos nas Jornadas do Instituto de Ciências da Terra 2023.
- ii) Comunicação em póster e publicação em livro de resumos nas IX Jornadas Internacionais de Bovinicultura.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. A PRODUÇÃO E GESTÃO DE EFLUENTES PECUÁRIOS NA BACIA LEITEIRA PRIMÁRIA.....	3
2.1. Sustentabilidade na bacia leiteira	4
2.1.1. Caracterização das explorações na Bacia Leiteira Primária.....	5
2.1.2. A produção, gestão, valorização de efluentes pecuários na Bacia Leiteira Primária	7
2.1.3. Zona Vulnerável a nitratos Esposende - Vila do Conde.....	8
2.2. Fatores com influência na produção e gestão dos efluentes pecuários.....	9
2.2.1 O armazenamento de efluentes pecuários	10
2.2.2. A valorização agronómica de efluentes pecuários	10
2.2.2.1. Equipamentos utilizados na valorização de efluentes	11
2.2.2.1.1. “ <i>Trailing-hose</i> ”	13
2.2.2.1.2. “ <i>Trailing shoe</i> ”	14
2.2.2.1.3. Distribuidores com incorporação.....	14
2.2.2.1.4. “ <i>Open slot injection</i> ”	15
2.2.2.1.5. “ <i>Close slot injector</i> ”	15
2.2.2.1.6. Distribuidores de injeção direta.....	16
2.2.2.1.7. “ <i>Strip injection</i> ”	17
2.2.2.2. Calibragem dos equipamentos de distribuição de efluentes pecuários.....	17
2.2.2.3. Condicionantes à valorização agronómica de efluentes pecuários.....	18
2.2.2.4. Valorização de efluentes pecuários segundo o teor de fósforo no solo.....	19
2.2.3. A modelação da gestão de efluentes pecuários	20
2.2.3.1. Balanço de nutrientes à escala da exploração.....	22
2.2.3.2. Realização de análises químicas aos efluentes pecuários, ao solo e matérias-primas usadas na alimentação.....	24

2.2.3.2.1. Análises químicas aos efluentes pecuários.....	24
2.2.3.2.2. Análises químicas do solo	25
2.2.3.2.3. Análise química às matérias-primas utilizadas na alimentação animal.....	25
2.2.3.3. Exportação de efluentes pecuários	26
2.2.3.4. Separação de frações de efluentes pecuários	29
2.2.3.5. Compostagem da fração sólida dos efluentes pecuários	34
2.2.4. Efetivo pecuário, instalações pecuárias e encabeçamento animal.....	35
2.2.4.1. Encabeçamento animal	35
2.2.4.2. Relocalização dos animais de reposição.....	36
2.2.4.3. Longevidade produtiva das vacas em produção	38
2.2.4.4 Produtividade das vacas em produção.....	38
2.2.4.7 Cama quente	39
2.2.4.8 Perda de azoto por volatilização de amoníaco.....	42
2.2.4.8.1. Emissão de amoníaco com origem nas instalações pecuárias	43
2.2.4.8.2. Emissão de amoníaco durante o armazenamento de efluentes pecuários ...	44
2.2.4.9 Nutrição animal de precisão	46
2.2.4.9.1. Formação de lotes de acordo com o nível produtivo dos animais.....	47
2.2.5 As culturas como facilitadoras da gestão e valorização agronómica dos efluentes pecuários.....	47
2.2.5.1 Necessidades nutricionais das culturas.....	47
2.2.5.2 Cultivo de duas culturas anuais	48
2.2.5.3 Produção de culturas para exportação	48
2.2.5.4 Cultivo de leguminosas	48
2.2.5.5 Aumento da área de superfície agrícola utilizável por exploração.....	50
3. METODOLOGIA.....	51
3.1. Âmbito e objetivos	51
3.2. Área de estudo e abordagem metodológica.....	51

3.3. Recolha e organização de dados	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Quantidade de nutrientes indicados nas análises químicas de efluentes pecuários ...	56
4.2 Evolução temporal da quantidade de nutrientes nos efluentes pecuários.....	59
4.3 Separação de frações	60
4.4 Estrutura das explorações e capacidade de armazenamento de efluentes pecuários .	61
4.5 Valorização agronómica dos efluentes pecuários em explorações de bovinos de leite	69
4.6 Balanço agronómico de nutrientes	70
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
8. LEGISLAÇÃO REFERENCIADA.....	92
ANEXOS.....	93

RESUMO

A valorização agronómica de efluentes pecuários tem sido associada à perda de nutrientes para o ambiente e a problemas ambientais relacionados ao aumento da concentração de nutrientes no solo e nas águas, principalmente azoto e fósforo.

A gestão e a valorização agronómica dos efluentes produzidos nas explorações pecuárias classificadas pelo Novo Regime de Exercício da Atividade Pecuária (Decreto-Lei n.º 81/2013 de 14 de junho) como de classe 1 e classe 2 (sistema de produção intensivo), estão condicionadas pelo Plano de Gestão de Efluentes Pecuários, cujo balanço agronómico de nutrientes é determinado pela utilização de valores de referência para a composição química dos efluentes de bovinos de leite definidos no Código da Boas Práticas Agrícolas publicado no ano de 1997. Sabe-se, no entanto, que a composição química dos efluentes pecuários difere de exploração para exploração, variação essa que se deve à utilização de matérias-primas para alimentação animal com diferentes composições nutricionais.

Neste trabalho foram realizados diversos balanços agronómicos de nutrientes, determinados através da utilização da composição química dos efluentes pecuários produzidos numa amostra de 20 explorações de bovinos de leite do concelho de Barcelos. A composição química dos efluentes pecuários gerados em cada uma das explorações foi conseguida pela execução da análise química aos efluentes pecuários produzidos em cada uma das explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022.

Segundo o balanço agronómico de nutrientes determinado no Plano de Gestão de Efluentes Pecuários, a valorização agronómica de efluentes pecuários nas explorações da amostra não resulta na disponibilização excessiva de azoto e/ou fósforo às culturas. Porém, os diversos balanços agronómicos de nutrientes executados no presente trabalho indicaram a disponibilização de uma quantidade de fósforo superior à necessária pelas culturas.

As conclusões deste trabalho indicam a necessidade de se diminuir o volume de efluente pecuário a valorizar agronomicamente nas explorações da amostra de forma a se reduzir o risco de se verificar a perda de fósforo para o ambiente.

Palavras-chave: Efluentes Pecuários; Gestão e Valorização Agronómica de Efluentes Pecuários; Gestão de Nutrientes; Balanço Agronómico de Nutrientes.

ABSTRACT

The agronomic valorization of livestock effluents has been associated with the loss of nutrients to the environment and environmental problems related to the increase in the concentration of nutrients in the soil and water, mainly nitrogen and phosphorus.

The management and agronomic valorization of effluents produced on livestock farms classified by the New Regime for the Exercise of Livestock Activity (Decree-Law no. 81/2013 of 14 June) as class 1 and class 2 (intensive production system), are conditioned by the Livestock Effluent Management Plan, whose agronomic nutrient balance is determined by the use of reference values for the chemical composition of dairy cattle effluents defined in the Code of Good Agricultural Practices published in 1997. It is known, however, the chemical composition of livestock effluents differs from farm to farm, a variation that is due to the use of raw materials for animal feed with different nutritional compositions.

In this work, several agronomic nutrient balances were carried out, determined through the use of the chemical composition of livestock effluents produced in a sample of 20 dairy cattle farms in the municipality of Barcelos. The chemical composition of the livestock effluents generated on each of the farms was obtained by carrying out chemical analysis on the livestock effluents produced on each of the sample farms in the years 2011, 2016 and 2022.

According to the agronomic balance of nutrients determined in the Livestock Effluent Management Plan, the agronomic valorization of livestock effluents on the sample farms does not result in excessive nitrogen and/or phosphorus being made available to crops. However, the various agronomic nutrient balances carried out in the present work indicated the availability of a quantity of phosphorus greater than that required by the crops.

The conclusions of this work indicate the need to reduce the volume of livestock effluent to be agronomically valued on the sample farms in order to reduce the risk of phosphorus being lost to the environment.

Keywords: Livestock Effluents; Agricultural Management and Valorization of Livestock Effluents; Nutrient Management; Agronomic Nutrient Balance.

AGRADECIMENTOS

Aos meus estimados pais, por todo o esforço realizado desde o dia em que me conceberam. Sou imensamente e internamente grato por toda a educação e valores que me têm vindo a transmitir. Agradeço-lhes por me terem possibilitado concretizar a minha formação superior, numa área que lhes é também bastante querida.

À minha maravilhosa companheira de “viagem”, à Alexia, por me brindar todos os dias com seu sorriso, alegria e entusiasmo de viver. Obrigado por me fazeres acreditar e estimular todo o meu potencial e por catalisares a melhor pessoa que à em mim.

A todos os meus amigos e familiares que me aturaram durante os meus longos e intermináveis monólogos sobre gestão e valorização de efluentes pecuários.

Aos meus orientadores, Prof. Joaquim Alonso e Dr. Bruno Leitão, por serem os responsáveis pelo interesse que desenvolvi sobre a temática estudada neste trabalho, por terem acreditado desde o início na minha dissertação, por todo o entusiasmo e boa disposição com que foram recebendo nas reuniões que realizamos, por todo o tempo despendido, por toda a ajuda e possança facultadas, mas sobretudo, obrigado pela paciência e persistência.

À Eng^a. Margarida Furtado e à Cooperativa Agrícola de Barcelos por me terem disponibilizado a “pólvora” essencial à elaboração da minha dissertação, sem a informação facultada, esta dissertação não teria sido possível.

À Direção Regional de Agricultura e Pescas do Norte, por me terem aberto as portas da sua instituição, pela oportunidade de estágio e por me terem permitido trabalhar e confraternizar com os seus técnicos.

ABREVIATURAS

VAEP – Valorização Agronómica de Efluentes pecuários

VA – Valorização Agronómica

PGEP – Plano de Gestão de Efluentes Pecuários

BAN – Balanço Agronómico de Nutrientes

CBPA – Código de Boas Práticas Agrícolas

DRAPN – Direção Regional de Agricultura e Pescas do Norte

SAU – Superfície Agrícola Utilizável

CO₂ - Dióxido de Carbono

N - Azoto

P - Fósforo

K – Potássio

P₂O₅ – Pentóxido de Fósforo

K₂O – Óxido de Potássio

BL – Bovinos de Leite

BLP – Bacia Leiteira Primária

CN – Cabeça Normal

ZVN – Zona Vulnerável a Nitratos

MS – Matéria Seca

CB – “*Compost Barn*”

CQ – Composição Química

EL – Estabulação Livre

FS – Fração Sólida

FL – Fração Líquida

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Características estruturais e produtivas das explorações de bovinos de leite das principais regiões especializadas na produção de bovinos de leite (Raison <i>et al.</i> , 2006).	7
Quadro 2 - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2011 (kg/m ³).	57
Quadro 3 - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2016 (kg/m ³).	58
Quadro 4 - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2022 (kg/m ³).	59
Quadro 5- Composição química da fração sólida (kg/ton) e fração líquida (kg/m ³) produzida nas explorações da amostra no ano de 2011.	60
Quadro 6 - Principais indicadores produtivos e características das explorações de bovinos de leite da amostra.	61
Quadro 7 - Indicadores produtivos médios e características estruturais médias das explorações de bovinos de leite piloto estudadas no projeto “Green Dairy” (Raison <i>et al.</i> , 2006).	62
Quadro 8 - Produção média de leite nas explorações da amostra.	63
Quadro 9 - Produção média de leite nas explorações piloto avaliadas no projeto “Green Dairy” (Raison <i>et al.</i> , 2006).	64
Quadro 10 - Quantidade de pentóxido de fósforo e óxido potássio disponível nos EP para valorização agronómica por cada 1000 kg leite produzido nos anos de 2011, 2016 e 2022 (kg/m ³).	66
Quadro 11 - Volume de efluente pecuário gerado e capacidade de armazenamento nas explorações de bovinos de leite da amostra.	67
Quadro 12 - Capacidade de armazenamento em meses nas explorações de bovinos de leite piloto ao abrigo do projeto “Green Dairy” (Raison <i>et al.</i> , 2006).	68
Quadro 13 - Quantidade produzida e capacidade de armazenamento de fração sólida e fração líquida nas explorações de bovinos de leite da amostra.	68
Quadro 14 - Volume de chorume valorizado nas explorações de bovinos de leite da amostra (m ³ /ha/ano).	70
Quadro 15 - Quantidade de fração líquida e sólida valorizada agronomicamente nas explorações de bovinos de leite da amostra (ha/ano).	70

Quadro 16 - Fertilidade do solo, produtividade e necessidades nutricionais das culturas produzidas nas explorações de bovinos de leite da amostra.....	72
Quadro 17 - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP calculado pela utilização da composição química dos EP de bovinos de leite utilizada no PGEP (kg/ha/ano).....	74
Quadro 18 - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP e calculado pela utilização da composição química dos EP produzido nas explorações de bovinos de leite da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022.	76
Quadro 19 - Quantidade média de azoto disponibilizada às culturas e balanço agronómico médio nas explorações de bovinos de leite estudadas no projeto “Green Dairy” (kg/ha/ano) (Raison <i>et al.</i> , 2006).	77
Quadro 20 - Balanço agronómico anual de nutrientes nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2011 (kg/ha/ano).....	78
Quadro 21 - Risco de ocorrer a transferência de fósforo para as águas superficiais nas principais regiões especializadas na produção de bovinos de leite (Pflimlin <i>et al.</i> , 2006).	79
Quadro 22 - Valorização agronómica de efluente pecuário nas explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 (m ³ /ha/ano).	80
Quadro 23 -. Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado nas explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 (kg/ha/ano).....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Enquadramento geográfico da Bacia Leiteira Primária (Silva, <i>et al.</i> , 2007).....	5
Figura 2 - Dispositivo de projeção do efluente pecuário nas tradicionais cisternas de transporte e distribuição de efluente pecuário (Tamm <i>et al.</i> , 2016).....	12
Figura 3 - Distribuidor de efluente pecuário de injeção direta (Tamm <i>et al.</i> , 2016).....	17
Figura 4 - Principais “ <i>outputs</i> ”, “ <i>inputs</i> ” e perdas de nutrientes em explorações de bovinos (Sheffield <i>et al.</i> , 2008).....	23
Figura 5 - Relação “ <i>inputs</i> ”: “ <i>outputs</i> ” de nutrientes em uma exploração de bovinos de leite (Sheffield <i>et al.</i> , 2008).....	23
Figura 6 - Separador de frações do tipo “ <i>Screw Press</i> ” (Hjorth <i>et al.</i> , 2010).	31
Figura 7 - Separador de frações do tipo “ <i>Decanter Centrifuge</i> ” (Hamilton <i>et al.</i> , 2016). .	32
Figura 8 - Perda de N por volatilização após a excreção de urina e fezes (Herbert <i>et al.</i> , s/d).	43
Figura 9 - Hidrólise da ureia.....	43
Figura 10- Cálculo das necessidades nutricionais das culturas agrícolas.....	47
Figura 11- Fluxograma da metodologia utilizada.	55
Figura 12 - Teor médio de nutrientes nos efluentes pecuários gerados nas explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 (kg/m ³).	59
Figura 13 - Quantidade média de nutrientes disponível para valorização agronómica nas explorações de bovinos de leite da amostra por cada 1000 kg de leite/ano produzido (kg/m ³).	66
Figura 14 – Volume de efluente pecuário valorizado nas explorações de bovinos da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 (m ³ /ha/ano).	81
Figura 15 - Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado (kg/ha/ano).	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I - Distribuição por NUT II do número de CN de bovinos (mil CN) em regime intensivo (Soares <i>et al.</i> , 2022).	94
Anexo II - Distribuição das CN de bovinos em regime intensivo nas cinco Zonas Vulneráveis Nitratos mais representativas de Portugal (Soares <i>et al.</i> , 2022).	94
Anexo III - Lista dos 10 Concelhos com maior número de CN de bovinos em regime intensivo (Soares <i>et al.</i> , 2022).	95
Anexo IV - Lista dos 10 concelhos com maior produção de efluentes de bovinos em regime intensivo (Soares <i>et al.</i> , 2022).	95
Anexo V - Lista dos 10 Concelhos com maior produção de azoto de origem animal (kg/ano) não incluindo bovinos e suínos em regime extensivo (Soares <i>et al.</i> , 2022).	96
Anexo VI- Lista dos 10 Concelhos com maior produção de fósforo de origem animal (kg) não incluindo bovinos e suínos em regime extensivo (Soares <i>et al.</i> , 2022).	96
Anexo VII - Lista dos 10 concelhos com maior quantidade de azoto de origem pecuária anual em excesso, considerando que 50% das necessidades das culturas agrofloretais são supridas com origem nos efluentes pecuários: não incluindo os bovinos e suínos em regime extensivo (Soares <i>et al.</i> , 2022).	97
Anexo VIII - Lista dos 10 concelhos com maior quantidade de fósforo de origem pecuária anual em excesso, considerando que 50% das necessidades das culturas agrofloretais são supridas com origem nos efluentes pecuários: não incluindo os bovinos e suínos em regime extensivo (Soares <i>et al.</i> , 2022).	97
Anexo IX - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2011 (kg/m ³).	98
Anexo X - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2016 (kg/m ³).	98
Anexo XI - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2022 (kg/m ³).	99
Anexo XII - Indicadores produtivos e características das explorações de bovinos de leite da amostra.	100
Anexo XIII - Produtividade de leite e grau de intensificação das explorações de bovinos de leite da amostra.	101
Anexo XIV - Quantidade de pentóxido de fósforo e óxido potássio disponível nos EP para valorização agronómica no ano de 2011 por cada 1000 kg leite produzido.	102

Anexo XV - Quantidade de pentóxido de fósforo e óxido potássio disponível nos EP para valorização agronómica no ano de 2016 por cada 1000 kg leite produzido.....	102
Anexo XVI - Quantidade de pentóxido de fósforo e óxido potássio disponível nos EP para valorização agronómica no ano de 2022 por cada 1000 kg leite produzido.....	103
Anexo XVII - Volume de efluente pecuário gerado e capacidade de armazenamento nas explorações de bovinos de leite da amostra.....	104
Anexo XVIII - Volume de chorume valorizado nas explorações de bovinos de leite da amostra (m ³ /ha/ano).	105
Anexo XIX -Volume de efluente pecuário valorizado agronomicamente por cultura (m ³ /ha/ano).....	106
Anexo XX - Fertilidade do solo, produtividade e necessidades nutricionais das culturas produzidas nas explorações de bovinos de leite da amostra.....	107
Anexo XXI - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP calculado pela utilização da composição química dos EP de bovinos de leite utilizada no PGEF (kg/ha/ano).....	108
Anexo XXII - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP e calculado pela utilização da composição química dos EP produzido nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2011 (kg/ha/ano).	109
Anexo XXIII - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP calculado e pela utilização da composição química dos EP produzido nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2016 (kg/ha/ano).	109
Anexo XXIV - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP e calculado pela utilização da composição química dos EP produzido nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2022 (kg/ha/ano).	110
Anexo XXV - Valorização agronómica de efluente pecuário nas explorações de bovinos da amostra no ano de 2011 (m ³ /ha/ano).	110
Anexo XXVI - Valorização agronómica de efluente pecuário nas explorações de bovinos da amostra no ano de 2016 (m ³ /ha/ano).....	111
Anexo XXVII - Valorização agronómica de efluente pecuário nas explorações de bovinos da amostra no ano de 2022 (m ³ /ha/ano).....	111
Anexo XXVIII - Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado nas explorações da amostra no ano de 2011 (kg/ha/ano).....	112

Anexo XXIX - Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado nas explorações da amostra no ano de 2016 (kg/ha/ano).....	112
Anexo XXX - Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado nas explorações da amostra no ano de 2022 (kg/ha/ano).....	113

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a necessidade de se produzir elevadas quantidades de alimentos a baixo custo e a forte pressão dos mercados desencadeou a reconversão dos diferentes setores de produção de alimentos. Verificou-se a gradual intensificação e especialização das explorações agrícolas e pecuárias. O sector da produção de Bovinos de Leite (BL) não foi uma exceção à regra, em todo o mundo ocorreu a intensificação e especialização das explorações de BL e a sua concentração em regiões com condições edafoclimáticas favoráveis à produção de BL.

O número de produtores de BL, de explorações e de vacas em produção diminuíram. No entanto, registou-se o aumento da dimensão das explorações de BL e do número de vacas em produção por exploração. A especialização e intensificação das explorações a par do aumento da utilização e dependência de fatores necessários à produção (ex. fertilizantes, alimentos concentrados, fitofármacos, medicamentos, mecanização, etc.) possibilitaram o aumento gradual da quantidade produzida de leite por exploração e por vaca em produção.

Contudo, a intensificação das explorações tem sido associada ao agravamento de vários problemas ambientais, nomeadamente, à degradação da qualidade da água. A concentração de explorações em regiões especializadas na produção de BL, o aumento do encabeçamento animal por exploração, o aumento dos “*inputs*” de nutrientes necessários à produção (ex. alimentos concentrados e fertilizantes) originaram a produção e concentração de um elevado volume Efluentes Pecuários (EP) em zonas de área de Superfície Agrícola Utilizável (SAU) reduzida. Nestas zonas, a aplicação de EP no solo resulta muitas vezes na disponibilização de uma quantidade de nutrientes superior à quantidade necessária pelas culturas produzidas, por esta razão é favorecida a acumulação de nutrientes no solo e a sua perda para o ambiente.

O aumento do teor de Azoto (N) nos oceanos e do teor de Fósforo (P) nos cursos de água doce tem promovido a eutrofização das águas, que conduz à degradação da qualidade da água e dos ecossistemas naturais. A perda e o aumento do teor de nitratos nas águas subterrâneas promove a redução da qualidade da água para consumo humano e a diminuição do número de pontos de captação de água potável.

Contudo, os EP se conveniente valorizados permitem a redução da utilização de fertilizantes minerais e de síntese para a produção das culturas agrícolas, a redução dos

impactos ambientais negativos resultantes da produção de fertilizantes, a melhoria da solo e o aumento da rentabilidade das explorações.

Para garantir uma correta Valorização Agronómica de Efluentes Pecuários (VAEP) é necessário ter-se em consideração: i.) a fertilidade do solo onde se perspetiva a valorização dos EP; ii.) a Composição Química (QC) dos EP e iii.) as necessidades nutricionais das culturas.

Este trabalho teve como objetivo entender se a VAEP produzidos nas explorações da Bacia Leiteira Primária (BLP) promovem a acumulação de nutrientes no solo, a perda de nutrientes para o ambiente e a degradação da qualidade das águas. Para tal, analisaram-se as principais características e fatores que influenciam a produção e gestão de EP (Encabeçamento animal, volume de EP, área de superfície agrícola utilizável, culturas produzidas, necessidades nutricionais das culturas e CQ dos EP) num conjunto de 20 explorações de BL do concelho de Barcelos.

2. A PRODUÇÃO E GESTÃO DE EFLUENTES PECUÁRIOS NA BACIA LEITEIRA PRIMÁRIA

As condições climáticas (precipitações abundantes e temperaturas amenas) das regiões Atlânticas são favoráveis à produção forrageira e à produção de BL (Raison *et al.*, 2006). Nestas regiões, o sistema produtivo de BL baseava-se até algumas décadas na produção sazonal de leite através do aproveitamento de pastagens e produção de forragens para a alimentação dos animais nos meses de inverno. No entanto, a forte pressão dos mercados e de vários fatores económicos desencadeou a transição dos tradicionais sistemas de produção sazonal para sistemas de produção de BL altamente especializados, intensivos e industrializados, onde o objetivo é maximização da produtividade e a redução dos custos associados à produção (Weidema *et al.*, 2000). Atualmente, a maioria do leite recolhido pela indústria da União Europeia é produzido em explorações intensivas de grandes dimensões e especializadas na produção de BL (Bos *et al.*, 2003).

A intensificação e especialização das explorações de BL na União Europeia permitiu o aumento da produtividade de leite por vaca e a redução do número total de BL, desencadeou o aumento do número de animais por exploração e a ampliação das explorações, no entanto, fomentou a redução do número de explorações detentoras de BL e a concentração da produção e das explorações (Weidema *et al.*, 2000).

A intensificação das explorações de BL e o conseqüente aumento de produtividade foi possível devido ao grande aumento da utilização de fatores de produção (ex. fertilizantes minerais, alimentos concentrados, pesticidas, mecanização, etc) (Chatellier & Pflimlin, 2006). Nos dias de hoje a maioria das explorações depende de grandes quantidades de fertilizantes minerais e de alimentos concentrados para alimentar o elevado número de animais por exploração e animais de alta produtividade (Bos *et al.*, 2003). Nas explorações especializadas, o pastoreio e a produção de forragens são cada vez menos significativos, para a alimentação do efetivo animal recorre-se cada vez mais à compra culturas agrícolas (ex. oleaginosas, cereais e forragens) produzidas em outras explorações, alimentos concentrados e coprodutos da indústria alimentar (Weidema *et al.*, 2000).

A intensificação e especialização das explorações culminou no aumento da quantidade de nutrientes necessária à produção de BL. O aumento de “*inputs*” necessários à produção (ex. fertilizantes, alimentos concentrados) está associado ao aumento de “*outputs*” (ex. leite, carne, EP, etc.). Contudo, na maioria das explorações, a quantidade de nutrientes

necessária à produção supera em grande medida a quantidade de nutrientes exportada (Weidema *et al.*, 2000). Apesar da elevada produtividade de leite obtida por vaca em produção e por unidade de SAU a eficiência de utilização de nutrientes, especialmente N e P, é reduzida na maioria das explorações especializadas (Aarts *et al.*, 2003). A reduzida eficiência de utilização de nutrientes contribui consideravelmente para a poluição ambiental, principalmente através da perda de amoníaco e óxido nitroso para a atmosfera, de nitratos para as águas subterrâneas e de P para as águas superficiais. Para além disso, a reduzida eficiência de utilização de nutrientes representa um desperdício de energia e prejudica a rentabilidade das explorações (Bos *et al.*, 2003).

A reduzida eficiência de utilização de nutrientes e a poluição ambiental são exacerbadas quando a gestão e VAEP gerados pela atividade pecuária não é conveniente executada. Além disso, a deficiente gestão e VAEP obriga à aquisição e utilização de uma quantidade considerável de fertilizantes minerais nas explorações de BL (Chatellier & Pflimlin, 2006).

2.1. Sustentabilidade na bacia leiteira

Em Portugal, o sector da produção de BL registou um crescimento exponencial nas últimas décadas do século XX. Durante este período, decorreu o processo de reestruturação do setor de BL, que culminou na modernização, intensificação, especialização e concentração das explorações. O processo de concentração da produção de BL foi particularmente evidente na faixa litoral da região do Norte de Portugal, onde devido às condições edafoclimáticas favoráveis à produção forrageira está implantada a BLP, a maior bacia leiteira do país. A BLP (Figura 1) engloba um total de 11 concelhos (Barcelos, Esposende, Maia, Matosinhos, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Viana do Castelo, Vila do Conde, Vila Nova de Famalicão e Oliveira de Azeméis) e possui uma área de SAU total de aproximadamente 158.000 ha (Curado *et al.*, 2007).

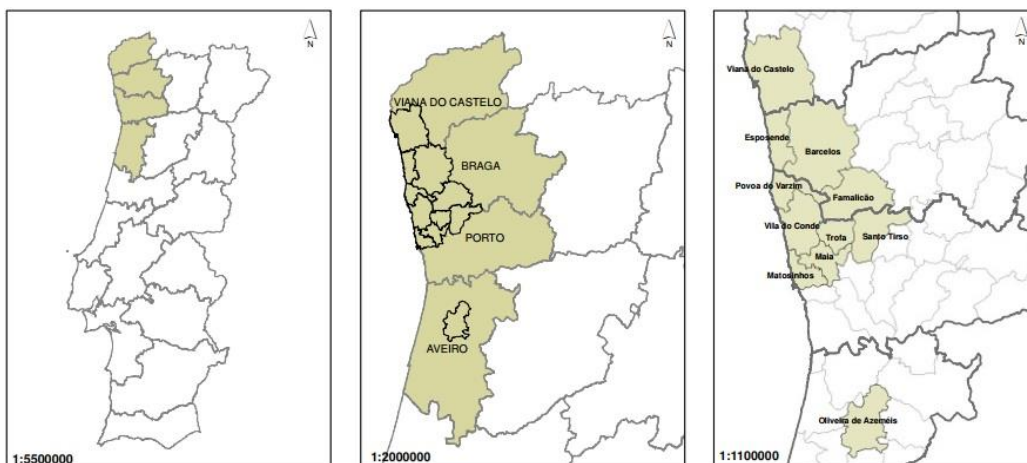


Figura 1 - Enquadramento geográfico da Bacia Leiteira Primária (Silva, *et al.*, 2007).

Tal como em grande parte dos países da Europa, em Portugal, o processo de reestruturação técnica económica ocorrido no setor da produção de BL resultou na diminuição do número total de explorações detentoras de BL, no aumento do número de animais por exploração, no aumento do encabeçamento animal das explorações e no aumento do volume de EP gerado por exploração (Nogueira *et al.*, 2020).

2.1.1. Caracterização das explorações na Bacia Leiteira Primária

Segundo Chatellier & Pflimlin (2006), a BLP é no conjunto das principais regiões produtoras de BL do noroeste europeu (Quadro 1) aquela onde as explorações de BL possuem a menor área de SAU (8 ha), o menor número Cabeças Normais (CN) por exploração (37 CN) e o menor número de vacas em produção (27 CN), no entanto, possuem o maior encabeçamento animal (5,2 CN).

O elevado encabeçamento animal característico das explorações da BLP resultou do aumento do número de animais por exploração aquando do processo de reestruturação e modernização do setor. Na BLP, o aumento do número total de animais por exploração não foi acompanhado por um aumento equivalente da área de SAU por exploração. A escassez de parcelas agrícolas, o elevado custo das mesmas e a crescente urbanização da região são os fatores que mais dificultam o aumento da área de SAU das explorações da BLP (Raison *et al.*, 2006).

Na maioria das explorações de BL da BLP os animais encontram-se permanentemente estabulados (Raison *et al.*, 2006). O pastoreio é impossibilitado na maioria das vezes

devido à elevada fragmentação das parcelas agrícolas e reduzida dimensão das mesmas (Aarts & Jarvis., 2006) A produção de culturas para a alimentação animal assenta fundamentalmente na produção de duas culturas anuais, o milho silagem e o azevém (Curado *et al.*, 2007).

O sistema cultural praticado nas explorações da BLP é caracterizado por períodos curtos e bem definidos de sementeira e colheita, operações culturais que recorrem a elevada mecanização, fertilização e proteção fitossanitária (Brito *et al.*, 2011) As condições edafoclimáticas favoráveis da BLP permitem a obtenção de elevadas produtividades (20.000 kg de MS/ha de milho silagem e 10.000 kg de MS/ha de azevém). Contudo, a maioria das explorações necessitam de recorrer à aquisição de uma grande quantidade de alimentos concentrados e forragens para compensar a reduzida área SAU e o elevado encabeçamento animal. Na maioria das explorações é produzida toda a silagem de milho necessária à alimentação animal, no entanto, tem aumentado o número de explorações que precisam de recorrer à compra de parte da silagem de milho de que necessitam (Chatellier & Pflimlin, 2006).

Nas explorações da BLP, a silagem de milho é a principal matéria-prima utilizada na alimentação dos animais. As dietas fornecidas aos animais são frequentemente complementadas com grandes quantidades de alimento concentrado (> 3 ton/vaca/ano) (Raison *et al.*, 2006). Nas explorações mais intensivas o alimento concentrado representa mais de 50% da dieta das vacas em produção (Aarts & Jarvis, 2006). A quantidade de alimento concentrado utilizada na maioria das explorações varia entre 300 e 400 gramas por cada quilograma de leite produzido (Moreira & Trindade, 2002).

O manejo alimentar praticado nas explorações da BLP permite obter a produção de uma elevada quantidade de leite. A produtividade obtida supera geralmente 6.300 kg de leite/vaca/ano e 24.100 kg de leite/ha/ano. Nas explorações mais intensivas a produtividade ultrapassa frequentemente os 8.500 kg de leite/vaca/ano e os 30.000 kg/leite/ha/ano. No entanto, a elevada produtividade obtida é essencialmente devido à grande utilização de fatores de produção, especialmente alimento concentrado (Raison *et al.*, 2006; Curado *et al.*, 2007).

Nas explorações da BLP a aquisição e utilização de alimentos concentrados e fertilizantes representa cerca de 60% dos custos de produção. Em várias regiões da Europa especializadas na produção de BL o custo de produção associado à aquisição e utilização

de fatores de produção representa apenas entre 15 e 30% dos custos de produção (Raison *et al.*, 2006).

Quadro 1- Características estruturais e produtivas das explorações de bovinos de leite das principais regiões especializadas na produção de bovinos de leite (Raison *et al.*, 2006).

Região	Características estruturais e produtivas				Produção de leite (kg/ano)		
	SAU (ha)	Nº total (CN)	Nº vacas (CN)	Encabeçamento animal (CN/ha)	Exp.	Vaca	Hectare
Irlanda	50	89	48	1,8	253.900	5.300	5.200
Irlanda do Norte	60	113	67	1,9	425.100	6.300	7.200
Escócia	128	217	116	1,9	761.600	6.500	6.600
País de Gales	103	197	113	2	736.900	6.500	7.400
Sudoeste de Inglaterra	87	156	106	2,1	754.800	7.100	10.000
Bretanha	57	64	39	1,5	264.100	6.700	6.300
Pays de la Loire	70	75	41	1,5	270.800	6.600	5.300
Aquitânia	58	61	41	1,7	261.200	6.400	7.500
Pais Basco	25	50	38	2	280.300	7.400	11.500
Galiza	15	37	29	2,5	154.100	5.300	10.500
Norte Litoral de Portugal	8	37	27	5,2	172.500	6.300	24.100

2.1.2. A produção, gestão, valorização de efluentes pecuários na Bacia Leiteira Primária

Segundo Soares *et al.*, (2022):

a) O Norte de Portugal é a região do país onde se concentra o maior número de bovinos (132 mil CN) criados em regime intensivo (Anexo I);

b) Na Zona Vulnerável a Nitratos (ZVN) de Esposende – Vila do Conde concentram-se mais de metade das CN bovinas do país exploradas em regime intensivo em ZVN (Anexo II);

c) Quatro dos onze concelhos pertencentes à BLP (Barcelos, Vila do Conde, Póvoa de Varzim e Vila Nova de Famalicão) são os quatros concelhos de Portugal Continental com o maior número de CN bovinas exploradas em regime intensivo (Anexo III);

d) Barcelos, Vila do Conde, Póvoa de Varzim e Vila Nova de Famalicão são os quatro concelhos do país com maior produção de EP resultante da produção de bovinos em regime intensivo (Anexo IV);

e) Barcelos, Vila do Conde e Póvoa de Varzim encontram-se entre os dez concelhos do país com a maior excreção de N e P nos EP gerados pela produção pecuária intensiva (Anexo V e VI).

Segundo Soares *et al.*, (2022), num exercício apresentado na Estratégia Nacional para os Efluentes Agropecuários e Agroindustriais considerou-se a utilização dos EP gerados pela produção pecuária intensiva em cada concelho português para a fertilização e supressão de 50% das necessidades de N e P das culturas produzidas nas suas áreas agroflorestais. Os resultados obtidos demonstraram que quatro dos concelhos pertencentes à BL (Vila do Conde, Barcelos, Póvoa de Varzim e Vila Nova de Famalicão) estão entre os dez concelhos do país com a maior quantidade de nutrientes em excesso (Anexo VII e VIII).

Segundo Brito *et al.* (2011), a produção e gestão de EP nas explorações da BLP baseia-se quase exclusivamente na forma de chorume. O chorume consiste numa mistura líquida de fezes e urina dos animais, bem como água de lavagens e outras, contendo por vezes desperdícios da alimentação animal, material da cama dos animais e escorrências provenientes de nitreiras e silos (Portaria nº 631/2009). Na BLP, o número de explorações que procedem à separação de frações é ainda pouco significativo. (Brito *et al.*, 2011).

Na BLP os EP gerados nas explorações são maioritariamente valorizados nas parcelas agrícolas cultivadas pelas explorações onde são produzidos (Brito *et al.*, 2011).

2.1.3. Zona Vulnerável a nitratos Esposende - Vila do Conde

Com o objetivo de controlar e minimizar os possíveis impactos negativos provocados pela produção agrícola e pecuária sobre a qualidade das águas subterrâneas e superficiais foi criada pela Portaria nº 1037/1997 no seguimento da implementação da Diretiva nº 91/676/CEE a ZVN de Esposende – Vila do Conde (Portaria nº 1037/1997). As ZVN são classificadas como áreas que drenam para águas poluídas por nitratos provenientes de atividades agropecuárias ou em vias de o serem se não forem adotadas medidas preventivas (Diretiva 91/676/CEE). A ZVN Esposende – Vila do Conde estende-se por cerca de 206 km² de superfície, integra todo o concelho de Esposende e parte dos

concelhos de Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Barcelos, abrangendo cerca de 6000 ha de área de SAU da BLP (Miranda *et al.*, 2020).

A gestão e VAEP em ZVN apresentam diferenças significativas face à gestão e VAEP fora dessas áreas. Em ZVN, por exemplo, a quantidade de resíduos orgânicos anualmente valorizada não pode disponibilizar uma quantidade de N total superior a 250 kg/ha, destes, só 170 kg/ha podem ser vinculados pela VAEP (Portaria n.º 259/2012). No entanto, Aarts *et al.* (2003) alertam que a valorização agronómica de compostos orgânicos e/ou EP pode implicar a disponibilização de uma quantidade de P superior à quantidade requerida pelas culturas e conseqüentemente promover a acumulação de P no solo e a sua perda para o ambiente, mesmo quando a quantidade de compostos orgânicos e/ou EP anualmente valorizada não vincule uma quantidade de N total superior ao limite legalmente estabelecido, este fenómeno ocorre essencialmente quando se procede à valorização de compostos orgânicos e/ou EP com uma reduzida relação N: Pentóxido de Fósforo (P_2O_5).

Segundo Nogueira *et al.* (2020), o teor médio de nitratos na água subterrânea da área territorial da ZVN de Esposende- Vila do Conde foi no ano de 2019 de 56,6 mg de nitratos /L. Das amostras de água recolhidas e analisadas, 60,1% apresentavam um teor inferior a 50 mg de nitratos/L, 35,7% um teor entre 50 e 100 mg de nitratos/L e as restantes 4,2%, um teor superior a 100 mg de nitratos/L (Nogueira *et al.*, 2020). Segundo a Diretiva nº 75/440/CEE a água destinada a consumo humano não deve conter uma concentração de nitratos superior a 50 mg/L.

2.2. Fatores com influência na produção e gestão dos efluentes pecuários

O aumento do número de animais por exploração de BL, o aumento do volume de EP produzido por exploração e a maior concentração espacial das explorações, resultado do processo de reestruturação, especialização e intensificação das explorações da BLP comprometeram o adequado armazenamento e a conveniente gestão e VAEP. Para além disso, características intrínsecas à BLP, como a reduzida área de SAU, a elevada fragmentação e dispersão das parcelas agrícolas, a grande densidade populacional e a inexistência de estruturas e equipamentos para o processamento e tratamento de EP contribuíram para que todo o processo de produção de BL na BLP se torna-se ambientalmente desequilibrado (Curado *et al.*, 2007).

O aumento de produtividade e o maior número de animais por exploração, ambos consequência da intensificação e especialização das explorações da BLP desencadearam o aumento de “*inputs*” necessários à produção (ex. alimentos concentrados e fertilizantes minerais), o aumento da relação “*inputs*” : “*outputs*” e o maior fluxo de nutrientes (“*inputs*” e “*outputs*”) (Fangueiro *et al.*, 2008). O aumento da relação “*inputs*” : “*outputs*” fomenta a maior perda de nutrientes para o ambiente, especialmente amoníaco, nitratos, óxido nítrico e P. Nas explorações da BLP os “*inputs*” de N e P excedem em grande medida os “*outputs*” resultantes da produção (ex. venda de leite, animais e cedência ou venda de EP) (Aarts & Jarvis, 2006).

Nas explorações da BLP os alimentos concentrados e fertilizantes minerais representam os principais “*inputs*” de N e P. A aquisição e utilização destes fatores de produção contribuem para mais de 95% dos “*inputs*” de P, a comercialização do leite produzido representa mais de 60% dos “*outputs*” de P. Os “*inputs*” de N são cerca de 2,5 a 3 vezes superiores aos “*outputs*” (Fangueiro *et al.*, 2008). Na generalidade das explorações da BLP a relação “*inputs*” : “*outputs*” de N é superior a 350 kg/ha/ano e a de P superior a 120 kg/ha/ano (Raison *et al.*, 2006).

2.2.1 O armazenamento de efluentes pecuários

Segundo Silva *et al.* (2007), as unidades de armazenamento de EP nas explorações de BL da BLP são frequentemente subdimensionadas, existindo por isso a necessidade de se proceder à distribuição de EP com elevada frequência, situação que potencia a aplicação de EP ao solo em períodos menos apropriados, como por exemplo, em períodos de reduzido crescimento das culturas, de elevada precipitação e/ou com o solo saturado. Nestas condições a eficiência de utilização de nutrientes é reduzida e é fomentada a perda de nutrientes para o ambiente pelas seguintes vias:

- a) Poluição atmosférica proocada pela perda amoníaco e outros gases azotados;
- b) Poluição das águas subterrâneas desencadeada pela perda de nitratos;
- c) Eutrofização das águas superficiais provocada pelo aumento do seu teor de P.

2.2.2. A valorização agronómica de efluentes pecuários

A relativa ineficiência de utilização de nutrientes pelos animais origina a excreção de cerca de 70-80 % do N, 60 a 85 % do P e 80 a 90% do Potássio (K) disponibilizado nas dietas,

contudo, os nutrientes presentes nos EP têm o potencial de serem reciclados através da fertilização de culturas agrícolas (Robertson & Vitousek, 2009; Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022).

A VAEP é uma prática de elevado interesse agronômico, os nutrientes presentes nos EP podem suprimir uma significativa fração da quantidade de nutrientes necessária à produção das culturas agrícolas (Atlantic Swine Research Partnership, 2014). Além do mais, a VAEP disponibiliza matéria orgânica ao solo, promove a vida do solo e o adequado crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (Sheffield, 2001).

A VAEP deve ser a forma predominante de utilização dos nutrientes presentes nos EP. Uma apropriada VAEP permite a reciclagem dos nutrientes presentes nos EP, a redução da quantidade de fertilizantes comerciais necessária à produção de culturas agrícolas e a redução da quantidade de nutrientes que se escapam para o ambiente. Contudo, a conveniente VAEP depende da disponibilização de uma quantidade de nutrientes igual ou inferior à necessária pelas culturas. A disponibilização excessiva de nutrientes às culturas pela aplicação de EP aumenta o risco dos nutrientes se acumularem no solo e de se perderem para o ambiente (Robertson, & Vitousek, 2009; Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022).

Devido à excessiva distribuição de EP nas parcelas agrícolas próximas das instalações pecuárias, têm-se assistido a nível global ao aumento acelerado do teor de nutrientes nos solos das zonas especializadas na produção pecuária. A distribuição de EP baseada na conveniência e a consequente disponibilização de uma quantidade de nutrientes superior às necessidades das culturas tem promovido a acumulação de nutrientes no solo, a redução da eficiência de utilização dos nutrientes e fomentado a poluição ambiental (Sheffield *et al.*, 2008). A VAEP é a causa de diversos conflitos entre produtores pecuários e a população residente próxima a parcelas agrícolas, sobretudo pela difusão de odores desagradáveis, mas também devido à crescente preocupação ambiental da sociedade no geral (Sheffield, 2001; Miranda *et al.*, 2020).

2.2.2.1. Equipamentos utilizados na valorização de efluentes

A VAEP líquidos ou semilíquidos é maioritariamente executada através das tradicionais cisternas de transporte e distribuição de EP. Estes equipamentos permitem o transporte e a VAEP de forma mais rápida e económica do que equipamentos alternativos, no entanto, a

sua utilização implica a maior perda de N por volatilização e a maior difusão de odores desagradáveis. Os fatores que mais contribuem para tal são o modo como as tradicionais cisternas aplicam os EP ao solo (Figura 2) e a impossibilidade de se executar a imediata incorporação dos EP no solo (Sommer & Hutchings, 2001). A VAEP é responsável por uma considerável fração emissão de amoníaco associadas às atividades agrícola e pecuária (Bittman *et al.*, 2015).



Figura 2 - Dispositivo de projeção do efluente pecuário nas tradicionais cisternas de transporte e distribuição de efluente pecuário (Tamm *et al.*, 2016).

A quantidade de N suscetível a se perder por volatilização e a percepção do odor desagradável tendem a intensificarem-se com o aumento do intervalo de tempo que decorre entre a distribuição e a incorporação dos EP no solo, com aumento da temperatura ambiente e da velocidade do vento e com a redução do teor de humidade do ar (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022). Por as cisternas de transporte e distribuição de EP não executarem a imediata incorporação do EP no solo existe o risco de parte dos nutrientes disponibilizados se perderem por escoamento superficial em caso de ocorrência de precipitação durante ou após a distribuição do EP (Tamm *et al.*, 2016).

A imediata incorporação do EP no solo permite minimizar a quantidade de N que se volatiliza, reduzir a difusão de odores desagradáveis e a quantidade de nutrientes que se perde por escoamento superficial em caso de precipitação. Contudo, a imediata incorporação do EP nem sempre é possível, principalmente no caso de se recorrer às cisternas de transporte e distribuição de EP, pois são necessários no mínimo três tratores

em simultâneo para se proceder à imediata incorporação do EP (um trator para proceder à agitação dos EP, um ou dois tratores para transportar e distribuir os EP e um outro para proceder à incorporação do EP). Segundo a Portaria nº 259/2012 os EP devem ser incorporados no solo até um limite de 4 horas após a distribuição.

De forma a reduzir os problemas ambientais associados à emissão de amoníaco para a atmosfera e aumentar a eficiência de utilização do N nos EP é de extrema importância minimizar a emissão de amoníaco que ocorrem durante e após a VAEP (Bittman *et al.*, 2015). Para além disso, os elevados custos associados à fertilização das culturas e a necessidade de se aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes presentes nos EP promovem o desenvolvimento de novos equipamentos a VAEP.

Os modernos equipamentos de VAEP permitem a redução dos riscos e limitações associadas à VAEP executada pelas cisternas de transporte e distribuição de EP. Alguns dos modernos equipamentos garantem a imediata incorporação dos EP, outros, permitem a distribuição de EP durante o período de crescimento das culturas, possibilitando por isso, a VAEP e disponibilização de nutrientes nos períodos de maiores necessidades nutricionais das culturas (Smith *et al.*, 2011).

De seguida são apresentados alguns dos equipamentos que permitem reduzir a emissão de amoníaco, minimizar a percepção de odores desagradáveis e diminuir o risco de os nutrientes se perderem para o ambiente através do escoamento superficial.

2.2.2.1.1. “*Trailing-hose*”

Os “*Trailing-hose*” são equipamentos que executam distribuição de EP líquidos à superfície do solo através de uma série de tubos suspensos, distanciados entre si entre 20 e 30 cm. A largura de trabalho deste tipo de equipamento é na maioria das vezes de 12 m (Smith *et al.*, 2011).

Apesar de os “*Trailing-hose*” realizarem a aplicação de EP líquidos à superfície do solo, a sua utilização permite a redução da emissão de amoníaco se comparados com as tradicionais cisternas de transporte e distribuição de EP. Caso não se proceda à incorporação dos EP distribuídos, a emissão de amoníaco representa a perda de cerca de 24 % do total de N disponibilizado através da VAEP. Se a incorporação dos EP se proceder até 12 h após a distribuição, apenas 10% do total de N disponibilizado é perdido pela volatilização de amoníaco (Tamm *et al.*, 2016).

Tal como acontece pela utilização das tradicionais cisternas, a distribuição de EP líquidos com recurso a este tipo de equipamentos suscita a difusão de um intenso e desagradável odor. Existe também o risco de o EP valorizado e dos nutrientes disponibilizados se perderem por escoamento superficial (Smith *et al.*, 2011).

A utilização dos “*Trailing-hose*” é recomendada em parcelas aráveis, em pastagens e nas entrelinhas de culturas em crescimento (ex. cereais e colza). Caso se preveja o aproveitamento das culturas através do pastoreio ou para a produção de silagem, deve ser considerado o risco de os EP valorizados contaminarem a forragem com microrganismos patogênicos. Pela elevada largura de trabalho deste tipo de equipamento (12 m), a sua utilização está limitada a parcelas de grande dimensão, de formato regular e de reduzido declive (Tamm *et al.*, 2016).

2.2.2.1.2. “*Trailing shoe*”

Os “*Trailing shoe*” são um tipo de equipamento adequado para executar a distribuição de EP líquidos e semilíquidos em pastagens e culturas forrageiras. Este tipo de equipamento procede à distribuição de EP em bandas à superfície do solo com um distanciamento entre bandas de 20 a 35 cm. A distribuição de EP é realizada abaixo da copa das plantas, permitindo por esta razão, a redução da perda de amoníaco por volatilização e o aumento da eficiência de utilização de N pela cultura. De forma a limitar a perda de amoníaco, a distribuição de EP deve ser apenas realizada quando a cultura possuir no mínimo 8 cm de altura. A largura de trabalho deste tipo de equipamento varia entre 7 e 8 m, pelo que a sua utilização é limitada pela dimensão, formato e inclinação das parcelas. Também a presença de pedras à superfície do solo limita o emprego deste tipo de equipamento (Smith *et al.*, 2011).

2.2.2.1.3. Distribuidores com incorporação

Este tipo de equipamento realiza a distribuição e a imediata incorporação de EP líquido. São constituídos por uma cisterna, uma bomba, tubagem para a distribuição do EP e órgãos de enterramento (discos ou dentes). O EP é encaminhado através da tubagem até à superfície do solo onde é imediatamente incorporado (3 – 10 cm de profundidade) pelos órgãos de enterramento. É possível a utilização deste tipo de equipamento em culturas em linhas (entrelinha: 45 a 100 cm) durante o período de crescimento. A largura de trabalho deste tipo de equipamento varia de 3 a 7,5 m (Tamm *et al.*, 2016).

A emissão de amoníaco é reduzida devido à imediata incorporação do EP no solo (cerca de 5 % do N total disponibilizado), no entanto, o odor é perceptível. A hipótese de se verificar o escoamento superficial do EP deve ser considerada em parcelas de declive pronunciado. A utilização deste tipo de equipamento requer maior força de tração e não possibilita a distribuição de EP durante o período de crescimento em culturas com uma entrelinha inferior a 45 cm (Tamm *et al.*, 2016).

2.2.2.1.4. “Open slot injection”

Os “Open slot injection” são um tipo de equipamento destinado à distribuição de EP líquidos em terras aráveis, pastagens e forragens. Este tipo de equipamento possui órgãos ativos (dentes ou discos) que procedem à abertura de sulcos onde o EP é incorporado, a profundidade dos sulcos varia entre os 5 e 10 cm e a distância entre estes de 20 a 40 cm. A largura de trabalho deste tipo de equipamento é de aproximadamente 6 m (Sommer & Hutchings, 2001). A emissão de amoníaco gerada pela utilização deste tipo de equipamento representa cerca de 10% do total de N disponibilizado (Tamm *et al.*, 2016).

Neste tipo de equipamento, o volume de EP a valorizar deve ser apropriadamente ajustado, de forma que se verifique a incorporação do EP nos sulcos abertos, o volume de a distribuir deve estar compreendido entre os 15 e os 20 m³/ha. No entanto, no caso de se utilizarem discos de grandes dimensões para a abertura dos sulcos é possível valorizar até 30 m³/ha de EP. Se o volume de EP distribuído for superior à capacidade dos sulcos, o EP permanecerá à superfície do solo, potenciando o escoamento superficial e a volatilização de amoníaco. A distribuição do volume adequado de EP permite que as plantas não sejam contaminadas pelos EP (Tamm *et al.*, 2016).

Por este equipamento proceder à abertura de sulcos no solo a sua utilização é menos efetiva ou mesmo impossível em parcelas com pedras à superfície, de textura pesada e/ou com solos compactados (Sommer & Hutchings, 2013). Em parcelas de declive pronunciado, existe o risco de se verificar o escoamento superficial do EP caso se proceda à distribuição do EP no sentido do maior declive (Tamm *et al.*, 2016).

2.2.2.1.5. “Close slot injector”

Os equipamentos conhecidos como “Close slot injector” estão equipados com órgãos ativos (discos ou dentes) e por rolos compressores, os primeiros procedem à abertura dos sulcos onde o EP é incorporado e os segundos realizam o seu fecho. Os dispositivos que

conduzem o EP até ao sulco estão instalados atrás dos órgãos que procedem à abertura dos sulcos. Dependendo do equipamento utilizado, o EP pode ser incorporado a uma profundidade compreendida entre 5 e 10 cm ou de 15 a 20 cm. Os equipamentos que executam a incorporação dos EP a maior profundidade estão equipados com pequenos bicos de pato que auxiliam na dispersão do EP no solo, o que possibilita a distribuição e incorporação de um considerável volume de EP (Tamm *et al.*, 2016). O espaçamento entre os órgãos de distribuição varia entre 20 e 50 cm e a largura de trabalho entre 2 e 7 m (Sommer & Hutchings, 2013).

Quando o tipo de solo e as condições de humidade permitem o completo fecho dos sulcos, a emissão de amoníaco gerada pela utilização deste tipo de equipamento é de apenas 1% do total de N disponibilizado pela VAEP. No entanto, há o risco de ocorrer a emissão de óxido nítrico e a lixiviação de nitratos (Tamm *et al.*, 2016).

A utilização deste tipo de equipamentos permite mitigar a difusão de odores desagradáveis e reduzir o risco de se verificar escoamento superficial em parcelas de declive pronunciado (Tamm *et al.*, 2016).

O uso deste tipo de equipamento está geralmente restrito a parcelas aráveis, pois os órgãos ativos prejudicam o desenvolvimento e crescimento de pastagens e forragens. O emprego deste tipo de equipamentos é limitado pelo tipo de solo (ex. profundidade do solo, conteúdo de argila, presença de pedras, inclinação da parcela), pela reduzida largura de trabalho e pela elevada força de tração necessária. Por este tipo de equipamento proceder à incorporação de EP a grande profundidade existe o risco de se registar a emissão de óxido nítrico e a lixiviação de nitratos (Sommer & Hutchings, 2013).

2.2.2.1.6. Distribuidores de injeção direta

Os equipamentos de injeção direta (Figura 3) realizam a incorporação do EP no solo a uma pressão de 13 atm a uma profundidade que atinge normalmente os 5 cm. Por este tipo de equipamento não possuir órgãos ativos é possível a sua utilização em parcelas com grande quantidade de pedra à superfície do solo. A utilização deste tipo de equipamento não é aconselhada em pastagens ou em culturas aráveis em crescimento, pois existe o risco de se contaminar as culturas com EP. Por parte do EP distribuído permanecer à superfície do solo ocorre a volatilização de parte do N disponibilizado (Tamm *et al.*, 2016).



Figura 3 - Distribuidor de efluente pecuário de injeção direta (Tamm *et al.*, 2016).

2.2.2.1.7. “Strip injection”

Os equipamentos de “Strip injection” são utilizados para executar a VAEP em sistemas de sementeira direta. Nestes sistemas, o solo é apenas mobilizado nas linhas de cultivo. Dependendo da densidade de sementeira, cerca de 70 % do solo não é sujeito a mobilização (Tamm *et al.*, 2016).

O sistema de sementeira direta, para além de prevenir a erosão e a perda de água do solo, permite a redução dos custos associados à preparação do solo. Este tipo de equipamento distribui o EP apenas nas linhas de cultivo. A emissão de amoníaco é reduzida e representa apenas 1 % do total de N disponibilizado. O odor difundido é imperceptível e não existe risco de ocorrência de escoamento superficial (Tamm *et al.*, 2016).

2.2.2.2. Calibragem dos equipamentos de distribuição de efluentes pecuários

Para a realização de uma adequada VAEP é imprescindível garantir a distribuição homogénea dos EP por toda a superfície do terreno, pois só assim é possível fazer coincidir a quantidade de nutrientes disponibilizada por determinado volume de EP valorizado à quantidade de nutrientes necessária ao cultivo de determinada cultura. Para tal, é necessário garantir que os equipamentos utilizados para a distribuição se encontram em boas condições e devidamente regulados e calibrados (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022).

Para se proceder à calibração e regulação dos equipamentos podem ser empregues diversas técnicas. Uma delas passa por entender qual o volume de EP distribuído e área de terreno que é beneficiada por uma passagem do equipamento. Pela alteração da velocidade de progressão e/ou regulação do equipamento é possível adequar o caudal de distribuição ao volume de EP que é pretendido. (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022).

2.2.2.3. Condicionantes à valorização agronómica de efluentes pecuários

A relação N: P₂O₅ dos EP é normalmente reduzida e extremamente variável, por esta razão, é pouco provável conseguir-se ajustar o volume de EP a valorizar a quantidade de nutrientes necessária pela cultura a beneficiar. A maioria dos EP possuem uma relação N: P₂O₅ de 2:1 ou inferior, no entanto, as culturas requerem em média 5 a 7 vezes mais N do que de P. Por esta razão, a valorização de um volume de EP capaz de suprimir a necessidade de N de uma determinada cultura, resulta no fornecimento de uma quantidade de P superior à necessária pela mesma (Alberta Government, 2015). A disponibilização de uma quantidade de P superior à necessária pelas culturas promove a acumulação de P no solo e aumenta o risco deste nutriente se perder para o ambiente através do escoamento superficial, lixiviação e erosão (Bauder *et al.*, 2008).

O aumento do volume de EP capaz de ser conveniente valorizado pode ser conseguido pela produção de EP com uma relação N: P₂O₅ elevada, objetivo que pode ser essencialmente alcançado através da redução da perda de amoníaco após a excreção dos EP e pela redução da quantidade de P disponibilizada na dieta e excretada nos EP. Na maioria das explorações de BL intensivas, a VAEP permite prescindir da utilização de P mineral para a fertilização das culturas agrícolas (Aarts *et al.*, 2003).

De forma a aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes disponibilizados e reduzir a sua perda do sistema solo-planta, a VAEP deve ser preferencialmente realizada próxima aos momentos de maior necessidade de nutrientes pelas culturas. Esses momentos, decorrem essencialmente durante a primavera e início do verão, pois é durante esse período que se regista a maior taxa maior crescimento das culturas e por isso a maior taxa de assimilação de nutrientes. A valorização de EP durante o outono resulta geralmente em grandes perdas de nutrientes, principalmente de nitratos (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022).

A VAEP não deve ser realizada durante ou após períodos de precipitação e/ou em solos saturados, nestas condições, o solo não é capaz de reter os nutrientes (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022). Segundo a Portaria nº 79/2022, a VAEP está interdita sempre que a probabilidade de ocorrência de precipitação prevista pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera for superior a 15 % no prazo de 8 dias consecutivos após a data prevista para a VAEP, em solos inundados e inundáveis e sempre que durante o ciclo vegetativo das culturas ocorram situações de excesso de água no solo.

2.2.2.4. Valorização de efluentes pecuários segundo o teor de fósforo no solo

Em solos com um reduzido teor de P_2O_5 (<75 ppm) é possível valorizar um volume de EP capaz de suprimir a necessidade total de N das culturas, mesmo que para tal ocorra a disponibilização de quantidade de P superior à necessária pelas culturas. Contudo, de forma a reduzir a perda de P para o ambiente devem ser implementadas medidas que previnam o escoamento superficial e a erosão. Nestes solos, o fornecimento de uma quantidade de P superior à necessária pelas culturas e o consequente aumento do teor de P é benéfico e permite a redução da utilização de fertilizantes minerais fosfatados (Sadeghpour *et al.*, 2017).

Em solos com um teor de P_2O_5 compreendido entre 75 ppm e 150 ppm, o volume de EP a valorizar deve corresponder à disponibilização de uma quantidade de P_2O_5 igual ou inferior à quantidade necessária pelas culturas. Esta estratégia possibilita a manutenção do teor de P no solo estável (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022). A valorização de um volume de EP capaz de fornecer apenas a quantidade de P necessária às culturas é mais dispendiosa pois é necessário a utilização de fertilizantes azotados para garantir a disponibilização da quantidade de N necessária pelas culturas. A adoção desta estratégia reduz o risco de verificar a acumulação de P no solo e a perda deste nutriente para o ambiente. A Valorização Agronómica (VA) de um volume de EP que disponibilize uma quantidade de P inferior à necessária pelas culturas permite a redução gradual do teor de P no solo (Sheffield *et al.*, 2008).

A VAEP em solos com um teor de P_2O_5 superior a 150 ppm não é recomendada (Sheffield *et al.*, 2008). Por exemplo, na região italiana de Emília Romana, a VAEP está interdita em parcelas agrícolas com um teor de P_2O_5 no solo superior a 200 ppm (Grignani *et al.*, 2003). Nesses solos, o risco de o P se perder pela ocorrência de fenómenos de escoamento superficial, lixiviação e erosão é muito elevado, pelo que é recomendada a implementação

de práticas que previnam a perda de P para o ambiente (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022). O cultivo desses solos é a forma mais rápida e eficiente de reduzir o seu teor de P_2O_5 . A VAEP e a utilização de fertilizantes fosfatados só deve ser retomada quando o teor de P_2O_5 no solo for inferior a 150 ppm (Sheffield *et al.*, 2008). O déficit das culturas em N e outros nutrientes tem que necessariamente ser suprimido pela utilização de fertilizantes minerais.

Nas parcelas com um teor de P_2O_5 no solo inferior a 150 ppm é possível proceder à VA de um volume de EP capaz de vincular uma quantidade de P equivalente à quantidade necessária pelas culturas produzidas durante um determinado período (2 a 4 anos). Esta estratégia, é normalmente adotada em situações em que pelo reduzido débito de distribuição requerido não é exequível a VA de um volume de EP capaz de disponibilizar uma quantidade de P igual ou inferior à quantidade removida por uma cultura, quando há necessidade de se proceder à VA de um elevado volume de EP ou quando a relação N: P_2O_5 do EP a valorizar é reduzida. No entanto, o volume de EP a valorizar não pode disponibilizar uma quantidade de N superior à necessária à produção da primeira cultura. Durante o período pré-determinado (2 a 4 anos) está interdita nova VAEP e a aplicação fertilizante fosfatado. Esta estratégia de VAEP depende da utilização de fertilizante azotado para o fornecimento do N necessário às culturas precedentes (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022).

2.2.3. A modelação da gestão de efluentes pecuários

As explorações pecuárias têm a obrigatoriedade de gerir da forma mais adequada possível todo o volume EP gerado pela produção animal. Os EP são preferencialmente geridos e utilizados para efeitos de VA, pois a VAEP permite a reutilização dos nutrientes e da matéria orgânica para a fertilização das culturas agrícolas e a redução da quantidade de fertilizantes minerais necessária para a fertilização das culturas. Os produtores pecuários devem procurar tratar os EP na exploração, caso não exista a possibilidade de se valorizar parte ou a totalidade dos EP na exploração onde são produzidos, devem ser encaminhados para destino intermédio (Portaria n.º 79/2022). O destino alternativo à VAEP na exploração onde são gerados deve considerar a hierarquia definida no artigo nº6 da Portaria n.º 79/2022 e que de seguida é apresentada:

- a) Valorização orgânica em unidades de compostagem;

- b) Valorização orgânica e energética em unidades de produção de biogás;
- c) Valorização energética em unidades de combustão;
- d) Outros destinos sustentáveis;
- e) Tratamento em ETAR;
- f) Eliminação em aterro após esterilização sob pressão.

Segundo a Portaria nº 79/2022, a escolha do tratamento ao qual submeter os EP depende do objetivo a atingir e do destino final dos mesmos. Os objetivos do processamento dos EP podem ser:

- a) A recuperação dos nutrientes e matéria orgânica e a reutilização da água contida nos EP;
- b) A recuperação da energia residual presente nos EP;
- c) A redução de odores desagradáveis;
- d) Possibilitar o transporte adequado pela diminuição da massa e volume;
- e) A gestão dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos EP em função do seu destino final.

Os objetivos enumerados podem ser alcançados pela aplicação das seguintes técnicas ou processos:

- a) Físicos: tamisagem, arejamento, evaporação e secagem;
- b) Químicos: aplicação de aditivos para redução de odores e para a redução da perda de amoníaco por volatilização;
- c) Biológicos: compostagem, produção de biogás (digestão anaeróbia) e lagunagem;
- d) Térmicos: combustão, coincineração e incineração;
- e) Outros que sejam reconhecidos como adequados em sede do licenciamento da atividade pecuária.

Com o objetivo de promover a conveniente produção, gestão e VAEP produzidos nas explorações pecuárias e a redução da utilização de fertilizantes minerais, foi criada ao abrigo do Plano Estratégico da Política Agrícola Comum para o período 2023 a 2027 uma

medida intitulada “Gestão do Solo – Promoção da fertilização orgânica”. Essa medida, tem por objetivo promover a substituição parcial de fertilizantes minerais por fertilizantes orgânicos, a redução da emissão de óxido nitroso, a melhoria da fertilidade do solo através do incremento do teor de matéria orgânica, o aumento sequestro de carbono e da capacidade de retenção de água no solo, bem como a adoção de boas práticas de incorporação de EP que tenham por finalidade reduzir a perda de N por volatilização (GPPAG, 2022). No entanto, essa medida só abrange a VAEP executada em áreas agrícolas fora das ZVN. No caso da BLP, a ZVN corresponde apenas a cerca de 6.000 ha de área SAU de um total de cerca de 154.000 ha.

As explorações que pretendam se candidatar a esta medida de apoio devem executar a fertilização das culturas agrícolas de modo que 25% do N_{total} utilizado para a fertilização das culturas e registada no caderno de campo seja disponibilizado pela utilização de fertilizantes orgânicos. Haverá lugar a uma majoração de 10% do nível de apoio base nos casos em que a fertilização orgânica disponibiliza mais de 50% do N_{total} utilizado na fertilização das culturas. O apoio base previsto para essa medida é de 50 €/ano por cada hectare sujeito a VAEP (GPPAG, 2022).

As explorações que se pretendam candidatar a essa medida de apoio necessitam de deter o registo das atividades executadas nas parcelas agrícolas de acordo com o conteúdo normalizado em formato eletrónico e de acordo com o previsto no Anexo II da Portaria n.º 79/2022. Devem também garantir que a VAEP é executada segundo as condições previstas nos pontos 19 a 23 do artigo 10º da Portaria n.º 259/2012 (GPPAG, 2022).

2.2.3.1. Balanço de nutrientes à escala da exploração

O balanço de nutrientes à escala da exploração possibilita determinar a eficiência de utilização de nutrientes nas explorações agropecuárias e comparar a eficiência de utilização de nutrientes em diferentes explorações. A execução do balanço de nutrientes à escala da exploração possibilita determinar a relação “*inputs*”: “*outputs*” para os vários nutrientes (Aarts *et al.*, 2003). O balanço de nutrientes à escala da exploração é executado isoladamente para cada nutriente e permite quantificar o risco de se verificar a sua perda para o ambiente e/ou a sua acumulação no solo (Comissão Europeia, 2010).

Para se determinar o balanço de cada nutriente à escala da exploração é indispensável proceder-se à listagem, quantificação e qualificação nutricional de todos os “*inputs*” e

“outputs”. Os “inputs” são todos os fatores de produção necessários às atividades agrícola e pecuária, os “outputs” são todos os produtos e coprodutos gerados pela atividade agropecuária (Figura 4) (Comissão Europeia, 2010).



Figura 4 - Principais “output”, “input” e perdas de nutrientes em explorações de bovinos (Sheffield *et al.*, 2008).

O adequado balanço de nutrientes à escala da exploração e a conveniente eficiência de utilização de nutrientes à escala da exploração são alcançados quando a quantidade de “inputs” é próxima da quantidade de “outputs”, ou seja, próxima de 1 (Comissão Europeia, 2010). O conveniente balanço de nutrientes à escala da exploração contribui para explorações economicamente e ambientalmente sustentáveis. No entanto, na maioria das explorações agropecuárias a relação “inputs” : “outputs” varia entre 2 e 4 (Figura 5), o que significa que o risco de registrar a perda de nutrientes para o ambiente e/ou a sua acumulação no solo é elevada (Sheffield *et al.*, 2008).

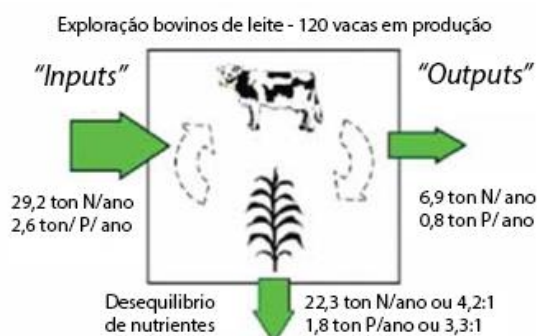


Figura 5 - Relação “inputs” : “outputs” de nutrientes em uma exploração de bovinos de leite (Sheffield *et al.*, 2008).

Nas explorações em que se determina uma relação "inputs": "outputs" superior a dois para um ou vários nutrientes é necessário se promover o aumento da eficiência de utilização de nutrientes. Essa, pode ser alcançada pela alteração de certas práticas de manejo e gestão. As alterações a realizar podem passar pela redução do encabeçamento animal (ex. aumento da área de SAU e/ou redução do número de animais na exploração), pelo ajuste da composição nutricional das dietas fornecidas dos animais, pela redução da utilização de fertilizantes minerais e/ou pela exportação de EP e culturas (Comissão Europeia, 2010; Sheffield *et al.*, 2008).

2.2.3.2. Realização de análises químicas aos efluentes pecuários, ao solo e matérias-primas usadas na alimentação

O conhecimento do teor de nutrientes e volume de EP anualmente produzido são elementos necessários para garantir a conveniente gestão e VAEP produzidos nas explorações agropecuárias. O volume de EP a valorizar por hectare de área de SAU depende do teor de nutrientes no solo das parcelas agrícolas, das necessidades nutricionais das culturas e do teor de nutrientes dos EP.

2.2.3.2.1. Análises químicas aos efluentes pecuários

Grande parte dos agricultores e produtores pecuários desvalorizam o potencial fertilizante dos EP, por esta razão, é frequentemente disponibilizada através da distribuição de EP ao solo uma quantidade de nutrientes superior à necessária pelas culturas (Daniel *et al.*, 1998).

A CQ dos EP é extremamente variável, os principais fatores responsáveis por variação são a espécie e a classe animal, a composição nutricional das dietas fornecidas aos animais, o tipo de cama utilizado, o grau de diluição dos EP e as transformações químicas e físicas ocorridas durante o período de armazenamento dos EP (Plunkett *et al.*, 2019; Kleinman *et al.*, 2020).

Devido à grande variabilidade da CQ dos EP não se aconselha a utilização de composições químicas de referência para efeitos de VAEP. A análise química dos EP é essencial e deve ser realizada antes do início de cada campanha cultural (outono/inverno e de primavera/verão). A utilização de resultados de análises químicas anteriormente realizadas não é recomendada, a CQ dos EP produzidos por uma exploração está sujeita a variação temporal, que pode por exemplo resultar da alteração de uma ou várias matérias-primas

utilizadas na formulação das dietas fornecidas aos animais (Plunkett *et al.*, 2019; Kleinman *et al.*, 2020).

2.2.3.2.2. Análises químicas do solo

O teor de nutrientes do solo deve ser determinado através da execução de análises químicas a todas as parcelas cultivadas por determinada exploração a cada 2-3 anos (Plunkett *et al.*, 2019). A variação temporal do teor de nutrientes no solo resulta das diferentes quantidades de nutrientes aplicadas ao solo através da VAEP e fertilizantes minerais, das distintas quantidades de nutrientes extraídas pelas várias culturas produzidas, da variação das condições climáticas e das diferentes quantidades de nutrientes que se escapam do sistema solo-planta (Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022).

2.2.3.2.3. Análise química às matérias-primas utilizadas na alimentação animal

A composição nutricional das matérias-primas utilizadas na alimentação animal é altamente variável. Deste modo, nutricionistas e produtores pecuários utilizam rotineiramente “margens de segurança” para formulação das dietas fornecidas aos animais, de modo a minimizarem possíveis perdas produtivas resultantes da variação da composição nutricional das matérias-primas utilizadas (Sudduth & Loveless, s/d). A suplementação mineral das dietas é frequentemente realizada em excesso, para alguns nutrientes não é comum considerar-se a contribuição mineral das matérias-primas utilizadas, adicionando-se por esta razão, a quantidade correspondente às necessidades totais dos animais. A disponibilização de uma quantidade de nutrientes superior às necessidades dos animais reduz a eficiência de utilização dos nutrientes, aumenta a quantidade de nutrientes excretada nos EP e potencia a acumulação de nutrientes e a sua perda para o ambiente (Cotanch *et al.*, 2003).

De modo a prescindir-se da utilização de “margens de segurança”, é essencial determinar e considerar a composição nutricional de todas as matérias-primas utilizadas na formulação das dietas fornecidas aos animais. Deste modo, é recomendada a realização de análises químicas periódicas (mensal ou trimestral) às forragens e coprodutos utilizados, de forma a garantir a formulação de dietas apropriadas às necessidades reais dos animais, aumentar a taxa de absorção dos nutrientes disponibilizados e reduzir a quantidade de nutrientes excretada nos EP. Devido à grande variação nutricional das matérias-primas não é

aconselhada a utilização de valores de referência ou de resultados de análises anteriormente realizadas (Sutton & Lander, 2003; Sudduth & Loveless., s/d).

2.2.3.3. Exportação de efluentes pecuários

Nas últimas décadas a dimensão das explorações de BL tem aumentado significativamente, situação que tem contribuído para o aumento volume de EP produzido por exploração e para a concentração de um elevado volume de EP nas regiões especializadas na produção de BL. Nestas regiões, a área total de SAU é geralmente insuficiente para se proceder à apropriada valorização do volume total de EP produzido (Paul, 1999). Sem opções economicamente viáveis para garantir a conveniente, gestão e valorização do volume total de EP anualmente gerado pela atividade pecuária, alguns produtores, distribuem o volume total de EP apenas nas parcelas agrícolas cultivadas pela exploração, esta prática origina a disponibilização de quantidade de nutrientes superior à necessária pelas culturas, promove a acumulação de nutrientes no solo e a perda de nutrientes para o ambiente (Sustainable Conservation, 2017).

De forma a evitar a disponibilização excessiva de nutrientes e com o objetivo de se promover a eficientemente utilização dos nutrientes presentes nos EP, as explorações devem exportar o volume de EP em excesso para explorações de reduzido encabeçamento animal e/ou unidades de processamento de EP (Paul, 1999).

A exportação do volume de EP em excesso é a maneira mais eficiente de se equilibrar o balanço de nutrientes nas explorações, de se atenuar o aumento do teor de nutrientes no solo e de se reduzir o risco de os nutrientes se perderem para o ambiente. No entanto, a exportação de EP em regiões de elevada densidade animal é dispendiosa, já que nessas regiões, a SAU disponível para se proceder à conveniente VAEP é normalmente escassa. A tendência atual, é a necessidade de se exportar os EP a distâncias cada vez maiores, provocando, portanto, o aumento dos custos associados à exportação de EP. Os custos de transporte dependem do tipo de EP (líquido ou sólido, concentração de nutrientes nos EP, etc), do tipo de veículo utilizado no transporte e da distância a percorrer (Sheffield *et al.*, 2008).

Como o conteúdo dos EP produzidos nas explorações de BL é maioritariamente água (75 a 95%), torna-se essencial executar-se a separação de fracções dos EP, de modo a reduzir os

custos associados ao transporte dos EP e possibilitar o seu transporte a grandes distâncias (Paul, 1999).

A separação de frações dos EP é um processo pelo qual os chorumes são separados em duas frações, a fração sólida (FS) e a fração líquida (FL). Este processo, possibilita a concentração do P e da matéria orgânica presente nos EP na FS e a concentração do N e K na FL (Lesschen *et al.*, 2021). A exportação da FS permite a redução dos custos de transporte associados à exportação de EP. O volume da FS obtida pela utilização de separação de frações mecânica representa apenas 5 a 20% do volume do EP do qual foi separada. (Chastain, 2019). A exportação da FS atenua o aumento do teor de P no solo das explorações e regiões de elevada densidade animal, permitindo por isso, reduzir o risco de se verificar a perda de P para o ambiente (Lyons *et al.*, 2021). Os equipamentos utilizados na separação de frações dos EP devem possuir elevada capacidade de extração e concentração de P na FS de maneira a possibilitar a exportação da maior quantidade de P para regiões de reduzida densidade animal (Chastain, 2019).

A FL possui uma elevada relação N: P₂O₅, próxima da necessária às culturas agrícolas. A utilização da FL para a fertilização das culturas agrícolas produzidas nas explorações permite suprimir grande parte das necessidades de N das culturas sem que se verifique a disponibilização excessiva de P (Möller *et al.*, 2010). Geralmente, a relação N: P₂O₅ da FL varia entre 1,50 e 4. No entanto, existem equipamentos de separação de frações com elevada capacidade de extração e concentração de P na FS, sendo por isso capazes de originar uma FL com uma relação N: P₂O₅ superior (Chastain, 2019).

O reduzido teor de matéria seca da FL facilita a sua bombagem e distribuição quando comparada com os EP não processados. Desta maneira, é possível a utilização de equipamentos de rega e modernos equipamentos de distribuição de EP para se proceder à VA da FL. A FL tem menos tendência a sedimentar-se durante o seu armazenamento, não sendo necessário por isso a sua agitação aquando da sua remoção para VA, possibilitando assim, reduções energéticas significativas. O risco de se verificar a obstrução das tubagens utilizadas para o encaminhamento da FL é também menor. A redução do volume da FL em 10 a 20% quando comparado ao EP não processado, permite a redução dos custos de transporte associados à VAEP e possibilita a redução da capacidade de armazenamento necessária para o armazenamento de EP nas explorações (Lyons *et al.*, 2021).

Devido ao elevado custo de aquisição e manutenção dos equipamentos utilizados na separação de frações dos EP, a sua instalação, pode muitas vezes ser apenas viável nas explorações em que não é possível valorizar apropriadamente nas parcelas próximas à exploração o volume total de EP produzido (Paul, 1999). O custo associado à separação de frações dos EP tende a diminuir com aumento do volume de EP processado. O custo associado à separação de frações deve ser balanceado com a redução do custo associado ao transporte de EP, com aumento do valor fertilizante dos produtos resultantes da separação e com o valor conseguido pela venda da FS (Lyons et al., 2021).

A FS pode ser sujeita ao processo de compostagem antes da sua exportação (Paul, 1999). A compostagem, permite a redução do peso e do volume da FS em 20 a 60% (Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit *et al.*, 2005), o controlo de sementes e organismos patogénicos, a redução da difusão de odores desagradáveis associados à sua VA e o aumento da concentração e estabilidade dos nutrientes (Paul, 1999; Wortmann & Shapiro, 2012).

A redução do peso e do volume da FS possibilita aumentar a distância a que esta pode ser exportada de forma economicamente viável e aumentar a área de SAU onde os seus nutrientes podem ser eficientemente utilizados. O controlo de organismos patogénicos conseguido pelo processo de compostagem possibilita a utilização de composto na fertilização de culturas agrícolas para o consumo humano (Sustainable Conservation, 2017). A VA de composto por explorações agrícolas permite a redução da quantidade de fertilizantes minerais necessária à produção das culturas agrícolas. A separação de frações dos EP, a compostagem da FS e a comercialização de composto representa uma fonte de rendimento para as explorações produtoras de EP (San Joaquin Valley Dairy Manure *et al.*, 2005).

O composto estabilizado possui características similares às do húmus e à matéria orgânica do solo. (Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit *et al.*, 2005; Sustainable Conservation, 2017). A VA de composto promove o aumento da porosidade e saúde do solo, o aumento da infiltração de água, o aumento da capacidade de retenção de água e nutrientes e o aumento do teor de matéria orgânica. O aumento da porosidade do solo proporciona um meio adequado para o crescimento e desenvolvimento das raízes e reduz a resistência à penetração das raízes e alfaias agrícolas. A melhoria da saúde do solo reduz a incidência de pragas e doenças (Livestock Engineering Unit & Environmental

Practices Unit *et al.*, 2005). Ao contrário dos EP líquidos, a maioria do N presente no composto encontra-se na forma orgânica e por isso não é imediatamente absorvível pelas plantas, a disponibilização do N mineral às plantas depende da mineralização do N orgânico. A mineralização é um processo lento e gradual. A disponibilização gradual do N às plantas limita a perda de N por lixiviação. A disponibilidade e absorção pelas plantas de P, K e dos micronutrientes presentes no composto é similar à dos EP (San Joaquin Valley Dairy Manure *et al.*, 2005).

A VA do composto pode ser executada com diferentes objetivos: para produção agrícola, como corretivo orgânico e fertilizante, na produção de substratos para o cultivo de plantas ornamentais, como mulching em jardins (Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit *et al.*, 2005), no controlo da erosão e na biorremediação de solos (Sustainable Conservation, 2017).

O controlo dos organismos patogénicos conseguido através do processo de compostagem permite a utilização de composto na cama de BL (San Joaquin Valley Dairy Manure *et al.*, 2005).

As explorações que pretendam comercializar o composto produzido devem ser capazes de gerar um produto homogéneo e garantir a ausência de organismos patogénicos e sementes de infestantes. A produção de um composto de elevada qualidade e com as características exigidas pelo mercado depende de consideráveis investimentos em equipamentos e infraestruturas (Paul, 1999).

2.2.3.4. Separação de frações de efluentes pecuários

A separação de frações foi inicialmente desenvolvida e executada com o objetivo de melhorar as características físicas dos EP, de modo a facilitar a bombagem e a valorização da FL através de dispositivos de irrigação (Phelps & Ryan, 2008). A FS resultante do processo de separação de frações é habitualmente submetida ao processo de compostagem e posteriormente aplicada ao solo. A separação de frações foi, portanto, inicialmente realizada com a finalidade de facilitar a gestão a VAEP. No entanto, atualmente, esta operação visa essencialmente a simplificação da gestão de nutrientes à escala das explorações pecuárias e agropecuárias, o aumento da eficiência de utilização dos nutrientes, evitar a acumulação de nutrientes no solo e reduzir o risco de perda de nutrientes para o ambiente (Phelps & Ryan, 2008).

Para a execução da separação de frações dos EP podem ser empregues processos gravitacionais ou mecânicos. Os métodos gravitacionais (ex. lagoas de sedimentação) são processos pelos quais o material sólido presente nos EP se vai depositando gradualmente no fundo das lagoas de armazenamento por ação da gravidade. Alternativamente, podem ser utilizados diversos equipamentos mecânicos, são exemplo destes, a “*Screw Press*”, “*filter press*”, “*belt press*”, “*centrifuge, grate*”, “*drum filters*”, entre outros (Lesschen *et al.*, 2021).

Na Europa, países como a Dinamarca, a Holanda, a Espanha e a Bélgica demonstram especial interesse no emprego dos métodos mecânicos de separação de frações, em especial por equipamentos do tipo “*Screw Press*” e “*Decanter Centrifuge*” (Fangueiro *et al.*, 2008; Lesschen *et al.*, 2021).

Devido a diversas características das explorações da BLP e dos EP produzidos nas mesmas, no presente trabalho analisaram-se de forma mais aprofundada equipamentos de separação de frações mecânica, em particular o “*Screw Press*” e o “*Decanter Centrifuge*”, principalmente no que diz respeito à sua construção, funcionamento, eficiência de separação, características físicas e químicas das frações resultantes da separação e custos associados à aquisição, manutenção e utilização destes equipamentos.

A eficiência de separação dos diferentes equipamentos e tecnologias de separação de frações é especialmente influenciada pelo teor de matéria seca (MS) dos EP a separar, assim é essencial considerar este fator aquando da escolha e/ou aquisição do processo ou tecnologia a implementar. Para além de fatores como, a espécie animal, a quantidade de água de lavagem, o tipo de substrato utilizado na cama dos animais, etc. O teor de MS é especialmente influenciado pelo período de armazenamento que antecede a separação de frações. O aumento do período de armazenamento diminui o conteúdo de MS dos EP, por exemplo um EP de bovino que ao 57º dia de armazenamento possua 7.26% de MS, possui no 102º dia 3,29% de MS e 2,53% MS no 129º dia. A redução do conteúdo de MS dos EP durante o seu armazenamento é resultado da degradação da matéria orgânica (Phelps & Ryan, 2008).

A sedimentação gravítica (método gravítico de separação de frações) é recomendada para executar a separação de EP com um teor de MS inferior a 3%. Os equipamentos de “*Decanter Centrifuge*” são especialmente adequados para proceder à separação de EP com um teor de MS entre 3 e 5%. Os equipamentos de “*screw press*” não são recomendados

para executar a separação de frações de EP com reduzido teor de MS, são, no entanto, uma das melhores opções para realizar a separação de frações de EP com um teor elevado de MS (Phelps & Ryan, 2008).

Os equipamentos de “*Screw Press*” (Figura 6) possuem um parafuso sem fim que pressiona o EP contra um cilindro perfurado, este cilindro retém o material sólido e permite a passagem da parte líquida e de partículas sólidas de pequenas dimensões. O material sólido é posteriormente conduzido até ao final do separador através do parafuso sem fim, onde é novamente prensado contra um prato raspador que aí existe. A FL é coletada no cilindro perfurado e drenada através de uma saída aí existente (Hjorth *et al.*, 2010).

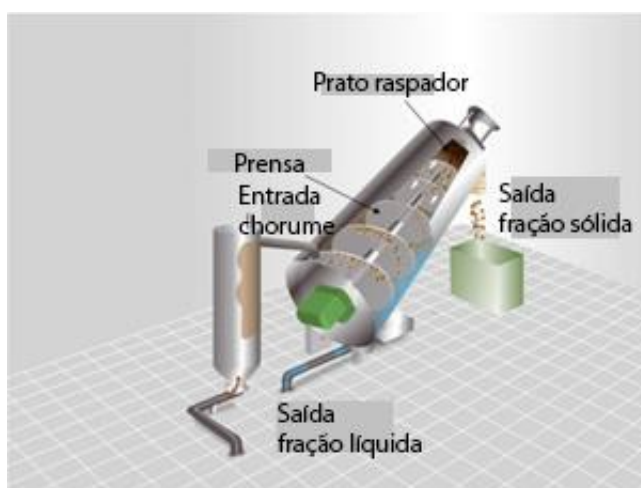


Figura 6 - Separador de frações do tipo “*Screw Press*” (Hjorth *et al.*, 2010).

A quantidade de FS separada pelos equipamentos do tipo “*Screw Press*” depende fundamentalmente do teor de MS do EP. No entanto, outros fatores como a dimensão dos orifícios do cilindro perfurado, a velocidade de entrada do EP e a pressão exercida sobre o material sólido contra o prato raspador condicionam a eficiência de separação e o volume de FS separada. O aumento da pressão exercida pelo prato raspador sobre o EP aumenta o conteúdo de MS da FS. Após a separação, a maior parte partículas sólidas de dimensão inferior a 1 mm encontram-se na FL (Lyons *et al.*, 2021).

Quando processado EP com um teor de MS de 10%, 60% do volume inicial dos EP constitui FL. Para EP com teor um de MS de aproximadamente 5%, 95 % do volume inicial do EP constitui FL (Lyons *et al.*, 2021) Para além da separação de EP, a “*Screw*

Press” pode ser utilizada para proceder à desidratação de FS originada pela implementação de outros processos de separação (ex. gravitacionais) (Chastain, 2019).

Os equipamentos de separação de frações do tipo “*Decanter Centrifuge*” (Figura 7) são equipamentos mecânicos que exploram as diferentes densidades dos materiais presentes no EP para a remoção do material sólido em suspensão. A aceleração das partículas é alcançada pela rotação (3500 a 5000 rpm) do EP em torno de um eixo fixo, a rotação atingida é dependente da velocidade e do raio de rotação. O EP é bombeado para o centro de um cilindro e a força centrífuga a que é submetido permite a separação das partículas sólidas em suspensão. O parafuso sem fim gira a maior velocidade que o cilindro onde a FS é prensada. A FS é descarregada através de uma saída existente no final cônico do separador. A FL é decantada pelo lado oposto (Chastain, 2019).

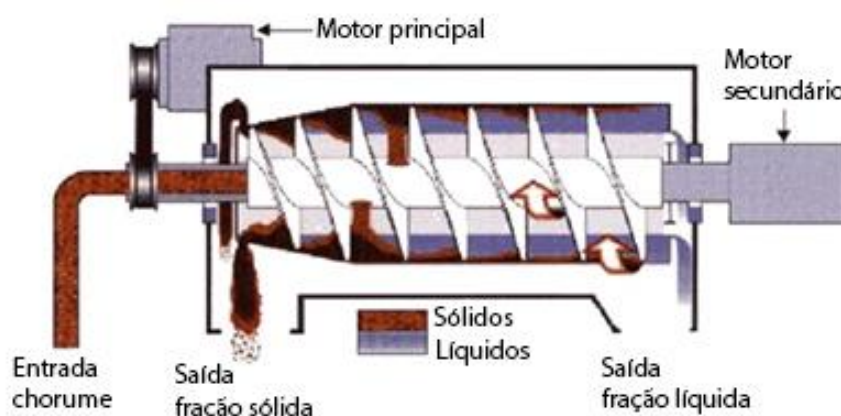


Figura 7 - Separador de frações do tipo “*Decanter Centrifuge*” (Hamilton *et al.*, 2016).

A capacidade de processamento dos equipamentos mecânicos de separação de frações é avaliada pelo volume de EP que são capazes de processar em dado período. A maioria dos equipamentos do tipo “*Screw Press*” estão aptos para processar em média 18 m³/h de EP, dependendo do equipamento utilizado o volume de EP processado varia de 6 a 25 m³/h. Os equipamentos de “*Decanter Centrifuge*” são capazes de processar em média 12 m³/h, dependendo do equipamento utilizado, o volume de EP varia entre 3 e 25 m³/h (Lyons *et al.*, 2021).

A título de exemplo, um “*Decanter Centrifuge*” a processar um volume médio de EP de 12 m³/h e a trabalhar 8 horas por dia, 5 dias por semana, 40 semanas por ano pode processar aproximadamente 19.000 m³/ano. A capacidade de processamento é dependente do

conteúdo de MS do EP e é menor para EP com elevado teor de MS e maior para EP com reduzido teor de MS (Lyons *et al.*, 2021).

Se comparada com o EP não processado, a FS resultante do processo de separação de frações pelo emprego de equipamentos de “*Decanter Centrifuge*” possui um teor de MS 3,1 a 11 vezes superior e um teor de P 4,6 a 12,5 vezes superior. Se comparada com o EP não processado, a FS separada pela utilização de equipamentos “*Screw Press*” possui um teor de MS 4,77 a 6,47 superior e um teor de P 1,69 a 3,38 superior (Møller *et al.*, 2002). A eficiência de separação de frações e concentração de P na FS é superior quando utilizados equipamentos do tipo “*Decanter Centrifuge*” (Béline *et al.*, 2008).

O emprego de equipamentos do tipo “*Screw Press*” permite a redução da perda de P para os cursos de água em 34%. A redução da perda de P para o ambiente pela utilização de equipamentos do tipo “*Decanter Centrifuge*” varia entre 30 e 93% (Lyons *et al.*, 2021).

Segundo Møller *et al.* (2002) a utilização de equipamentos do tipo “*Screw Press*” é apenas recomendada e eficiente para a remoção da MS dos EP, sendo o emprego dos equipamentos do tipo “*Decanter Centrifuge*” recomendado para explorações que necessitem exportar uma grande quantidade de P. No entanto, o custo de aquisição dos equipamentos do tipo “*Decanter Centrifuger*” é superior aos equipamentos do tipo “*Screw Press*”. O custo dos equipamentos do tipo “*Decanter Centrifuger*” varia entre 85.000 e 100.000 € e o dos equipamentos do tipo “*Screw Press*” varia entre 35.000 a 50.000 € (Gorissen & Snauwaert, 2019). A energia requerida para o funcionamento dos equipamentos de separação de frações é maior no caso dos equipamentos do tipo “*Decanter Centrifuge*” do que nos equipamentos do tipo “*Screw Press*”, variando entre 2.2 e 5.1 kW/h para os primeiros e de 0.4 e 1.2 kW/h para os segundos. Os custos de manutenção anual dos equipamentos de separação de frações correspondem normalmente a 2,5% do valor de aquisição dos mesmos (Lyons *et al.*, 2021).

Devido ao elevado custo de aquisição, energético e de manutenção dos equipamentos do tipo “*Decanter Centrifuge*”, a sua instalação e utilização não é recomenda em explorações que pretendam processar apenas o volume de EP produzido na própria exploração. Deve, no entanto, ser o primeiro tipo de equipamento a considerar a instalar e a utilizar em unidades centralizadas ou unidades móveis de separação de frações (Gorissen & Snauwaert, 2019).

2.2.3.5. Compostagem da fração sólida dos efluentes pecuários

A compostagem é um processo aeróbico de decomposição de material orgânico realizado por microrganismos sob condições controladas. Durante o processo de compostagem os microrganismos consomem oxigénio e quebram as ligações químicas dos materiais orgânicos para a obtenção da energia necessária ao seu desenvolvimento e crescimento. (San Joaquin Valley Dairy Manure *et al.*, 2005).

O processo de compostagem origina a produção de calor e a emissão de uma grande quantidade de dióxido de carbono e de vapor de água para a atmosfera. Pelo processo de compostagem ocorre a significativa redução da massa e do volume dos materiais orgânicos. O dióxido de carbono e o vapor de água emitidos para a atmosfera equivale a cerca de metade do peso dos materiais orgânicos iniciais. Durante o processo de compostagem ocorre também a emissão para a atmosfera de N₂ e amoníaco. No entanto, a maioria dos nutrientes presentes nos materiais orgânicos iniciais permanecem no composto final na forma de húmus e na composição dos microrganismos. O composto final possui reduzida atividade microbiana (San Joaquin Valley Dairy Manure *et al.*, 2005).

Existem diferentes sistemas de compostagem, contudo, essencialmente devido a fatores económicos e de facilidade de gestão, o sistema “*Turned Windrow*” é o mais adequado às características das explorações de BL. Outros sistemas como o “*Covered Windrows*”, “*Aerated Static Piles*” e “*In-vessel Composting*” permitem frequentemente, a redução dos problemas ambientais associados ao processo de compostagem e o aumento da qualidade do composto. No entanto, o investimento associado à aquisição, manutenção e funcionamento dos equipamentos e estruturas necessárias à implementação desses sistemas é superior ao necessário para a instalação e operação do sistema “*Turned Windrow*” e muitas das vezes impraticável para a maioria das explorações (Sustainable Conservation, 2017).

O sistema de compostagem do tipo “*Turned Windrows*” é normalmente constituído por várias “*Windrow*” paralelas umas às outras. Uma “*Windrow*” é uma longa pilha de material uniforme e amontoado, com 1 a 3 m de altura. Nesse sistema, é necessária maquinaria para executar o reviramento das pilhas. O reviramento da pilha de composto permite a mistura dos materiais, a introdução de oxigénio, o controlo da temperatura e reativação do processo de decomposição. Frequentemente são empregues coberturas para controlar o teor de humidade da pilha (Sustainable Conservation, 2017).

O local para executar o processo de compostagem deve possuir uma área suficiente para albergar o volume de EP a processar e área suficiente para futuras ampliações. É também necessário considerar o espaço necessário à utilização dos equipamentos envolvidos no processo (ex. tratores, equipamentos para reviramento das pilhas, reboques, etc.) (Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit *et al.*, 2005).

De forma a garantir a proteção das águas e minimizar o impacto da difusão de odores gerados pelo processo de compostagem é indispensável garantir uma distância suficiente entre a zona onde decorre o processo de compostagem, cursos de água, zonas de captação de água (ex. furos e poços) e zonas residenciais (Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit *et al.*, 2005).

Com o objetivo de reduzir a perda de nutrientes para águas subterrâneas, o local selecionado para desenvolver o processo de compostagem deve dispor de solo compactado ou superfície impermeabilizada. A superfície do terreno deve possuir um declive de 2 a 4% de modo a promover a drenagem e o armazenamento das escorrências geradas durante o processo. O local selecionado deve ser de fácil acesso e facilitar descarga dos materiais orgânicos e o carregamento do composto (Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit *et al.*, 2005).

O local tem de facilitar a drenagem das águas das chuvas e impossibilitar a acumulação de água na área de compostagem. As zonas de armazenamento de EP e de outros materiais orgânicos e a área de compostagem necessitam de estar localizadas a uma distância segura de poços, nascentes, cursos de água e zonas de acumulação de água (Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit *et al.*, 2005).

2.2.4. Efetivo pecuário, instalações pecuárias e encabeçamento animal

2.2.4.1. Encabeçamento animal

Segundo Silva *et al.* (2007), é necessário proceder à progressiva extensificação da produção de BL na BLP e reduzir e controlar o volume de EP gerado nas explorações. A redução do número total nas BL da BLP e a conseqüente redução do encabeçamento é a principal medida a adotar para se alcançar a redução dos problemas ambientais associados à produção de BL.

No entanto, a redução do número de animais nas explorações é algo bastante temido pelos produtores, pois normalmente associam-na à redução do número de vacas em produção e conseqüentemente, à redução do volume de leite anualmente produzido e comercializado. Porém, é possível proceder à redução do número total de animais e diminuição do encabeçamento animal nas explorações sem se reduzir o volume total de leite anualmente produzido e comercializado. A redução do encabeçamento animal nas explorações pode ser alcançada pela implementação das seguintes medidas:

- a) Relocalização dos animais não produtivos (ex. cria e recria) em outras explorações;
- b) Aumento da produtividade das vacas em produção;
- c) Aumento da longevidade produtiva das vacas em produção e conseqüente redução do número de animais necessários para reposição;
- d) Aumento da SAU de cada exploração.

2.2.4.2. Relocalização dos animais de reposição

O volume EP produzido por uma vaca seca ou uma fêmea para reposição é significativamente inferior ao volume produzido por uma vaca em produção. No entanto, apesar de não produtivos, esses animais contribuem para o volume total de EP produzido nas explorações de BL. Numa típica exploração de BL, os animais improdutivos são responsáveis pela produção de cerca de 25 % do volume total de EP gerado. Uma redução substancial do volume de EP produzido é conseguido pela contratualização e relocalização da cria e/ou recria em outra exploração (Weiss & St-Pierre, 2010).

Dependendo do contrato realizado, as fêmeas a criar e/ou a recriar podem ser enviadas para a exploração de cria e/ou recria ao nascimento, aos 14 dias ou aos 6 meses de vida e retomar à exploração de origem antes da sua inseminação ou parto (Peppard, 2020).

A relocalização da cria e/ou recria possui várias vantagens para além da redução do volume de EP produzido nas explorações de BL, porém, possui também algumas desvantagens que devem ser consideradas.

Vantagens:

- a) A contração da cria e/ou recria é uma opção a adotar nas explorações que possuem instalações e/ou outros recursos limitados (ex. mão de obra, alimentação, capacidade de cria e/ou recria) (USDA, 1993);
- b) Permite às explorações especializarem-se apenas na produção de BL. A permanência de apenas vacas em produção nas explorações permite aos produtores melhorarem o manejo destes animais (ex. melhor detecção de cios, alimentação mais cuidada, etc.) (Peppard, 2020);
- c) As explorações encarregues pela cria e/ou recria ficam responsáveis por todas as operações de manejo associadas a esses animais (ex. instalações, armazenamento, gestão e VAEP e alimentação). Permitido às explorações reduzir a necessidade de investimentos associados à cria e/ou recria (ex. máquina de aleitamento artificial; produção de forragens; instalações; mão de obra; etc) (Peppard, 2020);
- d) Possibilita a redução quantidade de alimento que é necessária produzir nas explorações e permite aumentar a autossuficiência forrageira (Peppard, 2020);
- e) É uma solução a adotar nas explorações em que a cria e/ou recria é muito dispendiosa ou ineficiente (USDA, 1993);
- f) Reduz o risco de os animais mais jovens serem contaminados por doenças transmitidas por animais adultos (USDA, 1993);
- g) Possibilita a redução do encabeçamento animal nas explorações sem a necessidade de se reduzir o número de vacas em produção. A realocação dos animais de substituição para zonas e/ou regiões de solos pobres e a VAEP nessas regiões é uma forma de fomentar o aumento da fertilidade do solo.

Desvantagens:

- a) Aumenta o risco de introdução de doenças nas explorações. De forma a reduzir esse risco, as explorações responsáveis pela cria e/ou recria devem executar apenas a cria e/ou recria de animais de uma exploração (Peppard, 2020);
- b) Pode-se verificar a falta de animais para reposição caso o crescimento e desenvolvimento dos animais em cria e/ou recria seja inferior ao necessário (USDA, 1993). É imprescindível executar-se a pesagem dos animais em períodos definidos do processo de cria e /ou recria de maneira a avaliar a necessidade de se proceder à suplementação alimentar dos animais (Teagasc, 2013);
- c) Há a hipótese dos animais de reposição criados e recriados por outras explorações se tornarem dispendiosos, caso a mão de obra, a alimentação e outros recursos não sejam empregues da maneira mais conveniente (USDA, 1993);
- d) Existe o risco de se sucederem conflitos entre o proprietário da exploração e produtor responsável pela cria e/ou recria. A fim de os evitar, devem ser definidos e contratualizados objetivos claros a atingir entre ambos os produtores. Além disso, deve ser previamente acordado um mediador, de maneira a facilitar a resolução dos conflitos que possam surgir entre os produtores associados (Teagasc, 2013).

2.2.4.3. Longevidade produtiva das vacas em produção

A aplicação dos princípios e normas de bem-estar e manejo animal, onde se incluem as instalações, as condições ambientais, a alimentação e as medidas profiláticas e sanitárias, permitem aumentar a eficiência produtiva e reprodutiva e a longevidade das vacas em produção. Desse modo, é possível melhorar a qualidade do leite e diminuir a taxa de substituição e de refugo. A redução do número de animais necessários à reposição do efetivo permite diminuir o número total de animais nas explorações de BL e consequentemente, reduzir o encabeçamento animal e o volume total de EP gerado na exploração (Silva *et al.* 2007).

2.2.4.4. Produtividade das vacas em produção

O aumento da quantidade de leite produzida por SAU desencadeia o aumento da quantidade de nutrientes excretada por SAU. A manutenção de uma elevada produtividade de leite por SAU exige a utilização de alimentos de elevada qualidade nutricional, que por

na maioria das vezes não serem produzidos nas explorações, são adquiridos, originando por isso, a importação de uma grande quantidade de nutrientes para as explorações de BL (Aarts *et al.*, 2003).

Nas explorações em que se opte pela produção de uma elevada quantidade de leite por SAU, a criação de vacas de alta produtividade é preferível e oportuna, pois as necessidades energéticas desses animais são se comparadas com vacas de produção moderada, inferiores por cada kg de leite produzido. Os alimentos de elevada qualidade nutricional são assim eficientemente utilizados para suprimir as elevadas necessidades de vacas de alta produção. Para a mesma quantidade de leite produzida, a criação de vacas de alta produtividade permite a redução do número total de animais nas explorações de BL e conseqüentemente, a redução do encabeçamento animal e a diminuição do volume de EP produzido nas explorações (Aarts *et al.*, 2003).

2.2.4.7. Cama quente

O sistema de cama quente ou “*Compost Barn*” (CB) é um tipo de estabulação alternativa à convencional estabulação livre (EL), surgiu nos Estados Unidos na década de 80 e o seu desenvolvimento teve como principal objetivo aumentar o bem-estar e a longevidade das vacas em produção.

No sistema de CB os animais beneficiam de maior liberdade e têm acesso a uma cama ampla e livre de obstáculos. Para além disso, o sistema CB proporciona a redução dos custos associados às estruturas de armazenamento de EP e à mão de obra associada à gestão e VAEP (Leso *et al.*, 2019; Endres, 2009).

O sistema de CB tem especial interesse em zonas de elevado encabeçamento animal e especializadas na produção intensiva de BL, pois nesse sistema, o volume de EP líquido e/ou semilíquido produzido é significativamente inferior ao gerado no sistema de EL. O valor agronómico do EP produzido no sistema de CB é superior (Leso *et al.*, 2013).

Devido às suas inúmeras vantagens, o sistema de CB tem sido disseminado por todo o mundo e tem sido sujeito a algumas variações de maneira a se adaptar aos diferentes climas e sistemas de manejo onde tem sido implementado (Leso *et al.*, 2013).

Na Europa, o sistema de CB foi implementado pela primeira vez em Itália no ano de 2006 (Leso *et al.*, 2013). A partir do ano de 2010, o sistema de CB proliferou por toda a Europa, estando atualmente implementado em diversos países europeus. (Galama *et al.*, 2015).

Na Holanda, no ano de 2014, existiam mais de 40 instalações pecuárias com o sistema de CB implementado (Galama *et al.*, 2015). Na Dinamarca, a implementação do sistema de CB iniciou-se depois da proibição da construção de novas EP baseadas no sistema de EL, interdição que surgiu como uma medida para mitigação da emissão de amoníaco (Klaas & Bjerg, 2010).

Para a implementação do sistema de CB é necessária a construção de instalações pecuárias preparadas para albergar uma camada de substrato (30 – 50 cm), substrato este, que serve de cama aos animais e permite a absorção dos líquidos excretados. Os substratos mais utilizados são o serrim e as aparas de madeira. No entanto, a reduzida disponibilidade desses materiais, o seu elevado custo e a elevada quantidade requerida, têm limitado a expansão deste sistema de CB (Klaas & Bjerg, 2010).

Para a correta gestão do sistema de CB é necessário proceder ao revolvimento do substrato duas vezes ao dia (durante o período de ordenha). O revolvimento, permite a incorporação dos excretados no substrato e garante a manutenção de uma superfície seca e confortável aos animais. Além do mais, o revolvimento promove oxigenação do substrato que estimula a atividade microbiana responsável pelo processo de degradação dos materiais orgânicos (Leso *et al.*, 2019). O revolvimento do substrato deve ser executado com um escarificador a uma profundidade de 25 a 30 cm (Endres, M., 2009).

A manutenção da adequada densidade animal (7,4 a 15 m²/vaca) é essencial à apropriada gestão do sistema de CB. A densidade animal varia consoante o clima, o manejo dos animais e do tipo de substrato utilizado (Leso *et al.*, 2019).

A redução da densidade animal permite reduzir a quantidade substrato utilizada por cada animal, no entanto, são necessárias instalações pecuárias de maiores dimensões, e portanto, um maior investimento para a construção das instalações pecuárias e mais tempo para se proceder ao reviramento do substrato (Klaas & Bjerg, 2010).

Uma das desvantagens do sistema de CB em relação ao sistema de EL é o maior investimento necessário para a construção das instalações pecuárias, pois a área disponibilizada por animal no sistema de CB é bastante superior à disponibilizada nos sistemas de EL (Leso *et al.*, 2019).

O controlo da humidade do substrato é o parâmetro mais importante na gestão de todo o sistema de CB, a manutenção de uma cama seca reduz o risco de ocorrência de mastites e

garante a adequada higiene dos animais (Leso *et al.*, 2019). O teor de humidade do substrato deve estar compreendido entre 40 e 60%. A manutenção de correto teor de humidade é garantida pela adequada frequência de reviramento e pela adição de substrato. A frequência com que se adiciona mais substrato ao sistema depende fundamentalmente do clima e da densidade animal, no entanto, deve ser adicionado substrato sempre que o teor de humidade da cama supere os 60% (Endres, 2009). De forma a reduzir a frequência de adição de substrato, deve ser promovido e mantido o conveniente arejamento das instalações pecuárias, que garante a extração da humidade gerada pelos animais e pela atividade dos microrganismos encarregues pela degradação do material orgânico. A conveniente temperatura da cama é mantida pela atividade microbiana e promove a evaporação de humidade e conseqüentemente a manutenção de uma superfície seca e confortável aos animais. A manutenção da adequada temperatura do substrato é também essencial no controlo de microrganismos patogénicos responsáveis por diversas patologias (ex. mastites) (Klaas & Bjerg, 2010; Leso *et al.*, 2019).

No sistema estabulação de CB o EP é removido uma ou duas vezes por ano e pode ser diretamente valorizado, ou armazenado para posterior VA. Em algumas situações, após a remoção do substrato é necessário proceder-se à compostagem do substrato, pois muitas vezes, a temperatura atingida pelo substrato não garante a adequada degradação do material orgânico (Endres, 2009).

O volume de EP produzido no sistema de CB depende do tipo de substrato utilizado, da densidade animal e da eficiência do processo de degradação do material orgânico (Leso *et al.*, 2019). No entanto, o volume de EP produzido no sistema de CB é significativamente inferior ao volume de EP gerado no sistema de EL, pelo que o custo associado ao transporte do EP gerado no sistema de CB é também menor. O risco de verificarem impactos ambientais decorrentes da VAEP gerados no sistema de CB é inferior ao da VAEP líquidos ou semilíquidos (Klaas & Bjerg, 2010).

Na maioria dos casos, o sistema de CB é combinado com piso ripado no corredor de alimentação. Desta forma, cerca de 25 e 50% do volume total de EP produzido corresponde a EP líquidos ou semilíquidos, que devem ser armazenados, geridos e distribuídos ao solo da forma mais adequada a esse tipo de EP. (Leso *et al.*, 2019).

Segundo Galama *et al.* (2015), os EP produzidos no sistema de CB possuem características físicas e químicas distintas dos EP gerados nos sistemas de EL. Por esta razão, a estratégia

de gestão e VAEP produzidos no sistema de CB difere da estratégia aconselhada para os EP gerados nos sistemas de EL. De seguida são apresentadas as principais diferenças entre os EP gerados no sistema de CB e os EP produzidos no sistema de EL:

- a) Devido à necessidade de se adquirir e utilizar substrato, o sistema de CB implica o aumento dos “*inputs*” de N e P nas explorações de BL;
- b) O EP gerado no sistema de CB possui uma relação N: P₂O₅ inferior à relação N: P₂O₅ dos EP líquidos ou semilíquidos. Assim, para uma mesma quantidade de P disponibilizada, a VA da CB implica a redução da quantidade de N disponibilizada em relação à VAEP líquidos ou semilíquidos;
- c) O EP gerado no sistema de CB possui uma relação carbono : N superior aos EP líquidos ou semilíquidos. Deste modo, a taxa de mineralização do EP produzido no sistema de CB é mais lenta e por isso a disponibilização de N mais gradual.

Pelas razões apontadas, o EP originado no sistema de CB é mais propenso a ser utilizado como melhorador das características químicas e físicas do solo e menos indicado para ser usado com fertilizante a curto prazo. Deste modo, deverá ser utilizado outro tipo de EP e/ou fertilizante azotado para não se registar a redução da produtividade das culturas beneficiadas pela VAEP gerado no sistema de CB (Galama *et al.*, 2015).

A emissão de amoníaco no sistema CB é inferior por unidade de superfície de EP. Contudo, como a área utilizada por animal no sistema de CB é superior, portanto, a emissão de amoníaco por animal é maior do que ocorre no sistema de EL (Galama *et al.*, 2015).

2.2.4.8. Perda de azoto por volatilização de amoníaco

A volatilização de amoníaco verifica-se desde o momento em que as fezes e a urina são excretadas até ao momento da VAEP (Figura 8) e representa a maior fonte de emissão de amoníaco para a atmosfera com origem no setor agropecuário (Bittman *et al.*, 2015). A perda de N por volatilização de amoníaco tem impactos nefastos para o ambiente e promove a redução do valor fertilizante do EP. Por estas razões, interessa promover a implementação de medidas atualmente disponíveis para a mitigação da volatilização de amoníaco. A redução da volatilização de amoníaco permite conservar uma maior quantidade de N no EP, aumentar a relação N: P₂O₅ do EP e atenuar o impacto negativo

sobre o meio ambiente (Llywodraeth Cymru Welsh Government, 2019; Misselbrook *et al.*, 2008).

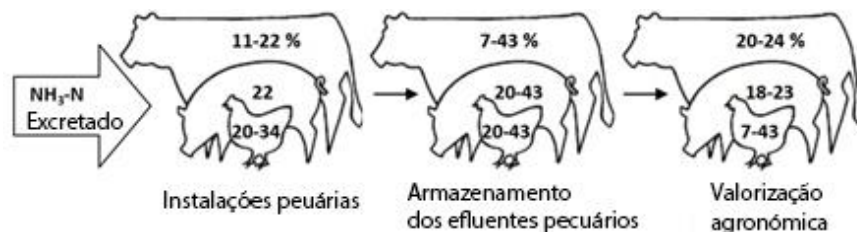


Figura 8 - Perda de N por volatilização após a excreção de urina e fezes (Herbert *et al.*, s/d).

2.2.4.8.1. Emissão de amoníaco com origem nas instalações pecuárias

No Reino Unido, a perda de amoníaco a partir das instalações pecuárias representa cerca de 24% do amoníaco emitido pela produção agropecuária (Llywodraeth Cymru Welsh Government, 2019). Para além dos problemas ambientais associados à emissão de amoníaco para a atmosfera, a acumulação de amoníaco no interior das instalações pecuárias prejudica a saúde dos produtores e dos animais.

A emissão de amoníaco nas instalações pecuárias ocorre principalmente pela hidrólise da ureia (Figura 9). A enzima *urease* presente nas fezes e nas instalações pecuárias desencadeia a catálise da ureia (excretada na urina) e a consequente emissão de dióxido de carbono e a amoníaco. A taxa de hidrólise de ureia é tanto maior quanto maior o período durante o qual as fezes e a urina se encontram expostas ao ar (Misselbrook *et al.*, 2008).

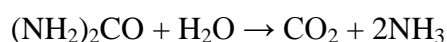


Figura 9 - Hidrólise da ureia.

A acumulação de fezes nos pisos das instalações pecuárias impede a drenagem da urina até às unidades de armazenamento de EP e promove a hidrólise da ureia. A redução da emissão de amoníaco nas instalações pecuárias é alcançada através do aumento da frequência com que se procede à limpeza dos pisos. A remoção mais frequente das fezes favorece a drenagem da urina, inibe a hidrólise de ureia e reduz a quantidade de amoníaco

que se volatiliza. Por exemplo, o aumento da frequência de limpeza do piso das instalações pecuárias de duas para quatro vezes por dia possibilita a redução do amoníaco volatilizado (20%), desencadeia o aumento da quantidade de amónio no EP e consequentemente, o aumento da quantidade de N disponível para fertilização das culturas (Misselbrook *et al.*, 2008). O piso das instalações pecuárias deve possuir um certo desnível de modo a facilitar a drenagem natural da urina e impossibilitar a formação de poças. O aumento da temperatura no interior das instalações pecuárias e a ventilação direta sobre as superfícies onde se acumulam fezes e urina devem ser mitigadas, pois são dois dos fatores que mais favorecem a volatilização de amoníaco no interior das instalações pecuárias (Llywodraeth Cymru Welsh Government, 2019).

2.2.4.8.2. Emissão de amoníaco durante o armazenamento de efluentes pecuários

A emissão de amoníaco durante o armazenamento dos EP contribui de forma significativa para o total do amoníaco emitido pelo setor agropecuário (Bittman *et al.*, 2015). Geralmente, a emissão de amoníaco durante o armazenamento de EP representa a perda de cerca de 80% do N excretado (Atlantic Swine Research Partnership, 2014).

De seguida são apresentadas diferentes medidas que contribuem para a redução da emissão de amoníaco durante o armazenamento dos EP.

2.2.4.8.2.1. Formação de película natural à superfície dos EP

Em algumas unidades de armazenamento de EP é comum ocorrer a formação de uma película à superfície do EP armazenado, essa película possibilita a redução da emissão de amoníaco durante o período em que se procede ao armazenamento do EP. A formação dessa película deve-se à desidratação das fibras de forragens não digeridas que permanecem à superfície do EP armazenado. A desidratação das fibras não digeridas ocorre pela ação do vento e da radiação solar. A elevada viscosidade da película formada reduz a emissão de amoníaco para a atmosfera. Se comparada com estruturas semelhantes, a formação de película à superfície do EP possibilita a redução da quantidade de amoníaco em pelo menos 50% (Misselbrook *et al.*, 2008). No entanto, a ocorrência de precipitação reduz a integridade da película e contribui para o aumento do volume de EP e para a sua diluição. A ocorrência de precipitação dificulta a formação da película à superfície do EP armazenado (Llywodraeth Cymru Welsh Government, 2019). A formação dessa película à

superfície dos EP só é possível em unidades de armazenamento de EP onde o abastecimento se realiza pela base (Atlantic Swine Research Partnership, 2014).

2.2.4.8.2.2. Utilização de coberturas impermeáveis

Nas unidades de armazenamento onde não ocorre a formação de película à superfície do EP armazenado, a instalação de coberturas impermeáveis revela-se bastante efetiva no controlo e redução da perda de N pela volatilização de amoníaco (Llywodraeth Cymru Welsh Government, 2019). A utilização de coberturas impermeáveis permite a redução da emissão de amoníaco em 75% (Atlantic Swine Research Partnership, 2014). A redução da emissão de amoníaco, é conseguida pela redução da área de EP exposta ao ar e pelo aumento da concentração de amoníaco sob a cobertura e que impede a formação e volatilização de amoníaco. Em regiões de elevada precipitação, a utilização de coberturas impermeáveis impede a acumulação de água das chuvas nas estruturas de armazenamento de EP e a diluição do EP. Assim, pela utilização de coberturas nas unidades de armazenamento de EP é também possível reduzir a capacidade necessária para o armazenamento de EP e o custo associado ao transporte e VAEP (Llywodraeth Cymru Welsh Government, 2019).

A utilização de coberturas impermeáveis, para além de impedir a volatilização de amoníaco, proporciona a redução da intensidade e perceção de odores desagradáveis e a redução da emissão de CH₄ e de dióxido de carbono. No entanto, a utilização de coberturas impermeáveis origina o aumento da emissão de óxido nitroso para atmosfera (insignificantes em unidades de armazenamento onde não estão implementadas medidas que visam a redução da emissão de amoníaco), e que se regista devido à criação de condições anaeróbias, que favorecem a nitrificação e desnitrificação de NH₄⁺ (Misselbrook *et al.*, 2008).

2.2.4.8.2.3. Unidades de armazenamento de EP localizadas no interior das instalações pecuárias

Existem situações em que se procede ao armazenamento do EP no interior das instalações pecuárias. Nessas instalações pecuárias, o piso é ripado, o que possibilita o encaminhamento do EP para as unidades de armazenamento. Nas instalações pecuárias em que se procede ao armazenamento de EP no seu interior, a redução da emissão de amoníaco não pode ser conseguida pela formação de crosta à superfície dos EP ou pela

utilização de coberturas impermeáveis. Assim, é necessário a implementação de medidas alternativas que permitam a redução da emissão de amoníaco durante o armazenamento do EP.

Segundo a Bittman *et al.*, (2015), a implementação das seguintes medidas contribui para a redução da emissão de amoníaco nas instalações pecuárias em que se procede ao armazenamento de EP no seu interior.

A adequada climatização das instalações pecuárias obtida pelo apropriado isolamento térmico dos telhados e adequada ventilação possibilita a redução da temperatura no interior das EP, a redução da velocidade do ar e consequentemente, a redução da emissão de amoníaco.

Quando comparado com instalações pecuárias que possuem toda a sua superfície com piso ripado, utilização parcial de piso ripado (50% da área total) reduz a emissão de amoníaco geralmente em 15 e 20%. Para além disso, a configuração do piso ripado deve facilitar e maximizar a transferência da urina e das fezes para as unidades de armazenamento de EP. De modo a promover a transferência de fezes e urina para as unidades de armazenamento de EP, a área não abrangida por piso ripado deve possuir um determinado desnível e as frestas existentes no piso devem ser limpas e desimpedidas rotineiramente.

2.2.4.9 Nutrição animal de precisão

Os nutrientes são essenciais ao adequado funcionamento do organismo e à produtividade dos animais. No entanto, o fornecimento de uma quantidade de nutrientes superior à necessária pelos animais reduz a eficiência de utilização de nutrientes, promove o aumento da quantidade de nutrientes excretada, o aumento da concentração de nutrientes nos EP, dificulta a conveniente gestão e VAEP e promove vários problemas ambientais. O fornecimento de dietas com um teor proteico e um teor de P superior às necessidades dos animais é frequente, a suplementação das dietas em excesso tem como objetivo principal colmatar possíveis carências provocadas pela variação nutricional das matérias-primas utilizadas (Cotanch *et al.*, 2008).

O fornecimento de dietas ajustadas às necessidades dos animais é a forma mais eficiente de se minimizar o desequilíbrio de nutrientes à escala das explorações (Sheffield *et al.*, 2008), possibilita a redução da quantidade de nutrientes importada para as explorações, a redução da quantidade de nutrientes excretada pelos animais e a redução do teor de nutrientes no

EP (Sudduth & Loveless, s/d). A título de exemplo, a redução do teor de P das dietas de 0,45% para 0,38% permite a redução da excreção de P em 25% (Sheffield *et al.*, 2008).

O fornecimento de dietas adequadas às necessidades dos animais promove o aumento da rentabilidade das explorações pela redução da suplementação proteica e mineral. Permite ainda a redução da área de SAU necessária para a adequada VAEP e a diminuição de custos associados à gestão e VAEP (Cotanch *et al.*, 2008).

2.2.4.9.1. Formação de lotes de acordo com o nível produtivo dos animais

As necessidades nutricionais dos animais dependem da sua classe (ex. cria, recria, vacas em produção), no caso das vacas em produção, da sua fase de lactação e produtividade. A formulação de lotes de animais baseada na classe, fase de lactação e produtividade possibilita a formulação de dietas com uma composição nutricional adequada a cada lote, aumenta a absorção dos nutrientes e reduz a excreção de nutrientes e a sua acumulação nos EP. A alimentação por classe, fase de lactação e produtividade permite a redução da excreção de N e P entre 5 e 10 % (Sutton & Lander, 2003).

2.2.5 As culturas como facilitadoras da gestão e valorização agronómica dos efluentes pecuários

2.2.5.1. Necessidades nutricionais das culturas

As necessidades nutricionais das culturas variam de acordo com a espécie e variedade cultivada e produtividade expectável. A quantidade de nutrientes a disponibilizar a cada cultura é determinada através da multiplicação da composição nutricional da forragem produzida na campanha anterior pela produtividade expectável (Fórmula 1). Devido à grande variabilidade de composição nutricional das forragens, não é recomendável a utilização de composições nutricionais de referência, pois é provável que se sobrestime ou se subestime a quantidade de nutrientes necessária à cultura (Sheffield *et al.*, 2008).

Necessidade das culturas do nutriente Z = Teor do nutriente Z na forragem * Produtividade expectável (ton de MS/ha/ano)

Figura 10- Cálculo das necessidades nutricionais das culturas agrícolas.

2.2.5.2. Cultivo de duas culturas anuais

Nas explorações de BL o volume de EP e a quantidade de nutrientes disponível no EP é geralmente superior à quantidade de nutrientes necessária à fertilização de uma cultura anual (ex. milho). No entanto, a quantidade de nutrientes disponibilizada pela VAEP deve corresponder à quantidade de nutrientes extraída pela cultura ou culturas produzidas. Assim, de forma a reduzir o volume de EP que é necessário exportar, recomenda-se o cultivo de duas culturas anuais, uma na campanha de outono/inverno e outra na campanha de primavera/verão. O cultivo de duas culturas anuais possibilita o aumento da quantidade de nutrientes que é anualmente extraída do solo e conseqüentemente o aumento do volume de EP que é possível valorizar nas parcelas das explorações. A produção de duas culturas anuais possibilita reduzir o volume de EP que é necessário exportar, reduzir a necessidade de investimento e instalação de equipamentos para o processamento de EP, reduzir a quantidade de alimento concentrado e forragem que é necessária adquirir, aumentar a autossuficiência forrageira e/ou vender as culturas produzidas (Sheffield *et al.*, 2008).

2.2.5.3. Produção de culturas para exportação

O cultivo de culturas para comercialização é a par da exportação de EP uma das formas mais rápidas e eficientes de se reequilibrar o balanço de nutrientes nas explorações de BL. Tal como se sucede pela exportação de EP, a exportação de culturas permite a exportação de nutrientes e atenua a acumulação de nutrientes no solo das explorações. A quantidade de nutrientes exportada através das culturas produzidas depende da produtividade das culturas e da quantidade de nutrientes removida pelo seu cultivo. As culturas a produzir e a exportar devem possuir boa aceitabilidade de mercado e elevadas necessidades nutricionais (Sheffield *et al.*, 2008).

2.2.5.4. Cultivo de leguminosas

A elevada dependência de fatores de produção nas explorações de BL desencadeia a importação de uma grande quantidade de nutrientes para as explorações. A aquisição de alimentos concentrados e outras matérias-primas para a alimentação animal representa a maior fonte de “*inputs*” de N e P nas explorações de BL. De modo a promover a adequada gestão de nutrientes nas explorações, interessa promover a redução da quantidade alimento concentrado e outras matérias-primas que é necessário adquirir. Essa estratégia baseia-se na lógica de que se menos nutrientes são importados para as explorações menor é o risco

de se registrar a acumulação de nutrientes no solo e/ou a sua perda para o ambiente (Cotanch *et al.*, 2003).

A elevada dependência de alimentos concentrados e outras matérias-primas nas explorações de BL deve-se sobretudo à reduzida qualidade nutricional das forragens utilizadas na alimentação animal. Nas explorações, cultivam-se fundamentalmente espécies da família das gramíneas, espécies essas caracterizadas pelo seu reduzido teor proteico (Jennings, s/d). Para reduzir a quantidade de alimentos concentrados necessária na produção de BL é necessário aumentar a qualidade nutricional das forragens produzidas e adquiridas para a alimentação animal. O aumento do valor nutricional das forragens é conseguido pelo cultivo nas explorações de leguminosas, de misturas forrageiras ricas em leguminosas e pelo corte das forragens quando o seu conteúdo em energia e proteína é elevado e o seu teor de fibra reduzido. A melhoria da qualidade nutricional das forragens e o aumento da quantidade de forragens fornecida favorece a saúde dos animais, facilita a gestão de EP e nutrientes e permite o aumento da rentabilidade das explorações (Jennings, s/d; Cotanch *et al.*, 2003; Sheffield *et al.*, 2008). No entanto, na maioria das explorações cultiva-se essencialmente milho e azevém para alimentação dos seus animais. O cultivo dessas espécies deve-se sobretudo à sua elevada produtividade e a problemas associados à gestão de EP nas explorações. Pois alguns fatores agronómicos tornam as gramíneas mais propensas à VAEP (ex. maior persistência, elevadas necessidades de N e grande tolerância à VAEP) (Paulson *et al.*, 2008). No entanto, a necessidade de se realizar uma adequada gestão e VAEP e de nutrientes e o aumento do preço dos alimentos concentrados e forragens incentiva a produção de leguminosas e misturas ricas em leguminosas para a alimentação de BL.

O cultivo de leguminosas e misturas ricas em leguminosas nas explorações de BL têm-se tornado cada vez mais comum. Ao contrário do que se pensava, a VAEP em parcelas onde se cultiva leguminosas tem vantagens ambientais, agronómicas e potencia a conveniente gestão e VAEP. Por exemplo, a VAEP em parcelas de luzerna promove a adequada gestão e VAEP, por possibilitar a VAEP nos meses de verão. As leguminosas são exigentes em nutrientes, especialmente P e beneficiam de todos os outros macro e micronutrientes disponibilizados pelos EP. Apesar das leguminosas serem capazes de obter todo o N de que necessita através fixação de N, podem utilizar em caso de disponibilidade, o N disponível no solo e assim, evitar despende energia para a fixação atmosférica de N. Desta

forma, através da VAEP, é possível disponibilizar uma quantidade significativa de N a culturas leguminosas sem o risco de ocorrer a perda de quantidade de N considerável para o ambiente (Kelling & Schmitt, 2003).

Como explicado anteriormente, não é recomendada a VAEP em solos com teor de $P_2O_5 > 150$ ppm. Segundo Sadeghpour *et al.* (2017), o cultivo de luzerna em parcelas com teor de $P_2O_5 > 150$ ppm é vantajoso, pois possibilita a extração de uma grande de nutrientes do solo, especialmente P, permitindo a redução gradual do teor de P do solo. Para além disso, como a luzerna é capaz de fixar todo o N de que necessita, não é necessário disponibilizar N através da distribuição de fertilizantes azotados. Assim, é possível cultivar luzerna em solos com um teor de P elevado, reduzir o teor de P do solo e atingir produtividades significativas sem a necessidade de se disponibilizar qualquer tipo de fertilizante azotado ou fosfatado.

2.2.5.5. Aumento da área de superfície agrícola utilizável por exploração

Nas últimas décadas, as explorações de BL têm aumentado significativamente o número de animais que detêm, no entanto, não têm realizado o aumento proporcional da área SAU. De forma a garantir uma conveniente gestão e VAEP, os produtores de BL devem limitar o encabeçamento animal das suas explorações de acordo com a capacidade que possuem de gerir e valorizar agronomicamente o volume de EP gerado. O aumento da área de SAU possibilita a VA de um maior volume de EP nas explorações onde o EP é gerado e reduz a necessidade de se exportar EP. O aumento da área de SAU, pode ser conseguido pela aquisição, arrendamento e/ou cedência de parcelas de cultivo. O aumento da área de SAU necessário depende do volume de EP gerado nas explorações, do teor de nutrientes do EP, do teor de nutrientes do solo, das culturas produzidas e da sua produtividade e da capacidade de as explorações exportarem EP (Sheffield *et al.*, 2008).

3. METODOLOGIA

3.1. Âmbito e objetivos

O processo de especialização, intensificação e concentração geográfica ocorrido nas últimas quatro décadas no setor da produção de alimentos, originou o aparecimento de explorações especializadas na produção agrícola e de outras especializadas na produção pecuária, originou o afastamento destas duas componentes produtivas e provocou por isso, a perda da importante complementaridade que existia desde os primórdios dos sistemas de produção de alimentos entre a produção agrícola e pecuária, que se baseava à escala da exploração no aproveitamento do EP para a fertilização das culturas agrícolas e no aproveitamento das culturas agrícolas para a alimentação humana e espécies pecuárias.

A reaproximação da atividade agrícola da atividade pecuária e agrícola é necessária e permite:

- a) A utilização do EP gerado nas explorações pecuárias para a fertilização das culturas produzidas em explorações agrícolas;
- b) A redução da quantidade de fertilizantes minerais e químicos de síntese necessária à fertilização de culturas agrícolas;
- c) Garantir a adequada gestão e VAEP gerados nas explorações especializadas na produção pecuária, que quer pelo elevado encabeçamento animal, quer pela reduzida ou nula área de produção de culturas agrícolas, não dispõem de área de SAU suficiente para a realização da adequada gestão e VAEP.

O objetivo deste trabalho passou pela análise da gestão e VAEP executada em diferentes explorações de BL do concelho de Barcelos, pela avaliação da performance da gestão e VAEP com base no Plano de Gestão de Efluentes Pecuários (PGEP) e na análise química realizada ao EP gerado nessas explorações e pela avaliação da adequabilidade das práticas atualmente utilizadas às necessidades de fertilização das culturas agrícolas produzidas nas explorações.

3.2. Área de estudo e abordagem metodológica

Para a realização deste trabalho foi fundamental a parceria com a Cooperativa Agrícola de Barcelos, que facultou o acesso à informação de base necessária para a aplicação da

metodologia utilizada. Esta Organização de Produtores mostra-se empenhada e preocupada em apoiar os seus associados no cumprimento dos requisitos legais e em assegurar a sustentabilidade económica, ambiental e social das explorações de BL.

O concelho de Barcelos é caracterizado por ser um território extenso, com uma paisagem onde coexistem espaços rurais e naturais e uma urbanização e industrialização difusa. Mais de 80% da área total do concelho é dedicada à produção agroflorestal. Em 2005, a área florestal correspondia a 42,6% da área total, a agrícola a 40,8% e o urbano e as infraestruturas a 16% (Costa & Figueiredo, 2011).

Em termos geográficos, é principalmente nos agrupamentos de freguesias do sul e de sudoeste do concelho que se concentram as explorações agrícolas, pecuárias e agropecuárias de maior dimensão económica, algumas dessas dedicam-se à produção hortícola e florícola, mas a maioria delas está associada à produção de BL. Em 2007, Barcelos foi o concelho de Portugal com maior produção de leite, tendo os associados da Cooperativa de Agrícola de Barcelos produzido cerca de 140 milhões de litros de leite, o que correspondeu a mais de 26% do leite recolhido pela AGROS (Costa & Figueiredo, 2011).

À semelhança do que acontece por todo o país, o setor agrícola e pecuário do município de Barcelos tem sido alvo de um processo de reajustamento estrutural, que se tem traduzido na redução do número de explorações, da mão-de-obra agrícola e da área de SAU. Paralelamente verifica-se o processo de concentração, intensificação e especialização das explorações de maior dimensão física e económica. Por essas razões, a atividade agrícola e pecuária desenvolvida no concelho de Barcelos é sobretudo praticada em modo de produção intensiva, com elevadas produtividades por hectare de área de SAU e por unidade de trabalho. As explorações do concelho de Barcelos são unidades especializadas fortemente integradas no mercado e geridas de modo empresarial (Costa & Figueiredo, 2011).

Por a maioria das explorações de BL do concelho de Barcelos não estarem dotadas de infraestruturas de tratamento de coprodutos e EP, a intensificação e concentração das explorações têm-se refletido no agravamento dos impactos ambientais associados à produção intensiva de alimentos. Por esta razão, cerca de 18% da superfície municipal do sudoeste de Barcelos faz parte da ZVN Esposende – Vila do Conde (Costa & Figueiredo, 2011).

Quando há proximidade entre explorações de BL e habitações, o que acontece no concelho de Barcelos, os impactos negativos repercutem-se na qualidade de vida dos moradores e originam numerosas situações de conflito entre a população e os produtos de BL (Costa & Figueiredo, 2011).

A gestão e a VAEP gerados nas explorações pecuárias das classes 1 e 2 (intensivas) é condicionada pelo PGEP, no entanto, o balanço agronómico de nutrientes realizado no modelo de apresentação desse plano, em virtude do enquadramento legal em vigor (Decreto-Lei n.º81/2013 de 14 de junho, Portaria n.º631/2009 de 9 de junho, Portaria n.º 79/2022, de 3 de fevereiro e ainda o Código de Boas Práticas Agrícolas que consta do Despacho n.º 1230/2018, de 5 de Fevereiro) utiliza valores padrão para a CQ dos EP (Anexo VII do Código de Boas Práticas Agrícolas de 1997 publicado pelo Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas), sendo a gestão e VAEP nas explorações dependente desses valores. Contudo, o conhecimento académico adquirido recentemente, e apresentado no capítulo anterior, refere que a CQ dos EP varia de exploração para exploração, variação que se deve essencialmente à utilização de matérias primas para a alimentação animal com uma diferente composição nutricional em cada exploração. Por conseguinte, com base no PGEP e nos resultados obtidos pela análise química de EP de cada uma das explorações da amostra, neste trabalho, comparou-se para cada exploração da amostra o Balanço Agronómico de nutrientes (BAN) realizado com recurso à CQ do EP obtida pela análise química do EP produzido. Desta forma, foi possível comparar a quantidade de nutrientes que supostamente foi disponibilizada às culturas através da VAEP e a quantidade de nutrientes que realmente foi disponibilizada nos anos em que se procedeu à análise química dos EP produzidos nas explorações da amostra.

O objetivo deste trabalho não é contribuir para as dúvidas que existem sobre a validade e as condições de recolha de amostras de EP, tal como aconteceu em etapas anteriores com as análises de solo, de água ou foliares, aliás, a nova Portaria n.º 79/2022, de 3 de fevereiro (Anexo III, ponto 9, página 57) prevê as normas de colheita de amostras de terra, de folhas e de EP, o seu acondicionamento e envio para os laboratórios.

Como previsto pela Portaria n.º631/2009 de 9 de junho (Anexo VI - Determinações analíticas e métodos de referência) o produtor por forma a determinar o volume de EP a valorizar anualmente em cada hectare de área de SAU, poderá caracterizar o EP e outros

fertilizantes orgânicos através da sua análise físico - química e microbiológica (Anexo VI, ponto 3, alínea a)), devendo para isso contemplar os seguintes parâmetros na análise realizada: humidade, matéria orgânica, carbono total (ou relação C/N), pH (H₂O), condutividade elétrica, granulometria ou análise do tamanho das partículas, N total, P total, K total, cálcio total, magnésio total, manganês total, boro total, bem como os metais pesados cádmio total, chumbo total, cobre total, cromo total, mercúrio total, níquel total e zinco total (físico-químicos) e *Salmonella* e *Escherichia coli* (microbiológicos) (Anexo VI, ponto 9, alíneas a e b).

As simulações realizadas com recurso ao modelo do PGEP em vigor na DRAPN, com a possibilidade de alteração da CQ do EP valorizado agronomicamente, com base nas análises químicas, permitiram apurar para cada exploração, a quantidade de nutrientes que efetivamente foi aplicada ao solo e disponibilizada às culturas nos anos em que se procedeu a essas análises. Posteriormente, pela interpretação dos resultados identificaram-se alguns constrangimentos ocorridos pela atual VAEP, e que alterações podem ser efetuadas para alcançar as melhorias necessárias na gestão e VAEP nas 20 explorações analisadas.

3.3. Recolha e organização de dados

Os dados utilizados para implementar a metodologia definida para o presente trabalho foram obtidos de três fontes (Figura 10):

- a) CQ dos EP resultante da análise química do EP produzidos em 17 explorações no ano de 2011, em 8 explorações no ano de 2016 e em 10 explorações no ano de 2022;
- b) Dados de caracterização da estrutura das explorações obtidos através da consulta dos vários documentos que constituem o Novo Regime do Exercício da Atividade Pecuária, que possibilitaram determinar diversos fatores relativos à gestão e VAEP nas explorações (ex. nº total de CN, volume de EP produzido, área de SAU, fertilidade do solo, culturas produzidas e produções expectáveis das culturas agrícolas);
- c) Dados relativos à gestão e VAEP obtidos através do PGEP e que para efeitos legais representam o processo de gestão das explorações.

O número de explorações da amostra não permite extrapolações estatísticas representativas, nem esse é o objetivo do presente trabalho, que tem um carácter qualitativo e focado em abordar uma questão prática com a possibilidade de contribuir para a melhoria da gestão dos EP na região e apontar possíveis soluções para a problemática identificada.

Para todos os dados analisados e apresentados foram omitidos os dados pessoais dos produtores, mantendo um sistema de codificação que apenas a entidade tutelar desses dados tem conhecimento dessa informação.

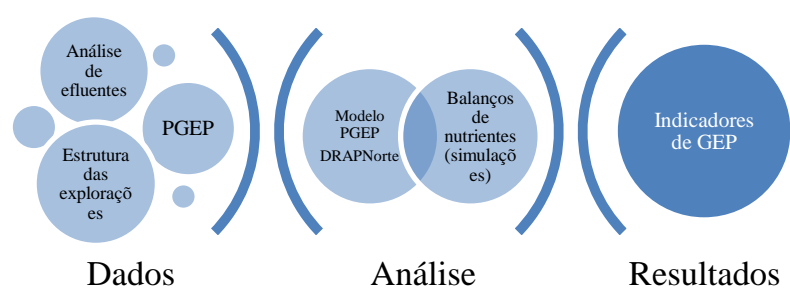


Figura 11- Fluxograma da metodologia utilizada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Quantidade de nutrientes indicados nas análises químicas de efluentes pecuários

Como era expectável, a CQ do EP produzido nas várias explorações da amostra foi muito divergente. A CQ dos EP é influenciada pela utilização de diferentes regimes alimentares praticados nas várias explorações da amostra. Para além disso, a quantidade de N presente nos EP é influenciada pela perda de N através da volatilização de amoníaco após a excreção e durante o armazenamento do EP. A perda de N por volatilização de amoníaco difere para cada uma das explorações da amostra devido às diferentes instalações pecuárias e às diferentes estruturas de armazenamento de EP.

Para o ano de 2011 foram disponibilizados os resultados da análise química do EP produzido em 17 explorações. No Quadro 2 é apresentada a CQ média, máxima e mínima do EP gerado no ano de 2011, no Anexo IX consta a CQ do EP gerado em cada uma das explorações da amostra.

A comparação executada entre a CQ média dos EP gerados nas explorações da amostra no ano de 2011 e a CQ de referência para o chorume de BL utilizada no modelo de PGEP da DRAPN, demonstrou que a CQ média dos EP das explorações da amostra foi: inferior para o N_{total} (- 1,1 kg/m³) e $N_{\text{disponível}}$ (-0,6 kg/m³), superior para o P_2O_5 (+ 0,61 kg/m³) e Óxido de Potássio (K_2O) (+ 0,75 kg/m³). A relação N: P_2O_5 média dos EP das explorações da amostra foi inferior à relação N: P_2O_5 da CQ de referência (-1,25).

A comparação executada entre a CQ média dos EP gerados nas explorações da amostra no ano de 2011 e a CQ de referência para o chorume de BL indicada no Anexo VII do Código de Boas Práticas Agrícolas (CBPA) de 1997, demonstrou que a CQ média dos EP das explorações da amostra foi: inferior para o N_{total} (-1,4 kg/m³), para o $N_{\text{disponível}}$ (- 0,4 a -1,2 kg/m³), para o P_2O_5 (-0,29 kg/m³) e para o K_2O (- 4,35 kg/m³). A relação N: P_2O_5 média dos EP das explorações foi inferior à relação N: P_2O_5 da CQ de referência (-0,28 a - 0,22).

Quadro 2 - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2011 (kg/m³).

	N _{total}	N _{disponível}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Relação N: P ₂ O ₅
Modelo PGEP	4	2,4	0,9	2,9	2,7
CBPA	4,3	2,2 -3,0	1,8	8	1,2 - 1,7
Média	2,90	1,80	1,51	3,65	1,42
Máximo	4,59	2,80	2,89	6,27	4,31
Mínimo	1,82	1,14	0,65	1,15	0,71

Para o ano de 2016 foram disponibilizados os resultados da análise química do EP produzido em 8 explorações. No Quadro 3 é apresentada a CQ média, máxima e mínima dos EP gerados no ano de 2016, no Anexo X consta a CQ dos EP gerados em cada uma das explorações da amostra.

No ano de 2016, a relação média de N: P₂O₅ dos EP foi inferior a um, o que indica, que a VA desses EP implica a disponibilização de uma quantidade de P₂O₅ superior à de N. Sendo as necessidades de N das culturas superiores às de P, pode-se entender que a VAEP gerados na maioria das explorações da amostra exige a utilização de fertilizante azotado para suprimir a necessidade de N das culturas.

A comparação executada entre a CQ média dos EP gerados nas explorações da amostra no ano de 2016 e a CQ de referência para o chorume de BL utilizada no modelo de PGEP da Direção Regional de Aricultura e Pescas do Norte (DRAPN), demonstrou que a CQ média dos EP das explorações da amostra foi: inferior para o N_{total} (- 1,95 kg/m³) e N_{disponível} (- 1,06 kg/m³), superior para o P₂O₅ (+ 0,69 kg/m³) e inferior para o K₂O (- 0,28 kg/m³). A relação N: P₂O₅ média dos EP das explorações da amostra foi inferior à relação N: P₂O₅ da CQ de referência (-1,82).

A comparação executada entre a CQ média dos EP gerados nas explorações da amostra no ano de 2016 e a CQ de referência para o chorume de BL indicada no Anexo VII do CBPA, demonstrou que a CQ média do EP das explorações da amostra foi: inferior para o N_{total} (- 2,25 kg/m³), para o N_{disponível} (- 0,86 a -1,66 kg/m³), para o P₂O₅ (- 0,21 kg/m³) e para o K₂O (-5,38 kg/m³). A relação N: P₂O₅ média do EP das explorações da amostra foi inferior à relação N: P₂O₅ da CQ de referência (- 0,35 a - 0,85).

Quadro 3 - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2016 (kg/m³).

	N _{total}	N _{disponível}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Relação N: P ₂ O ₅
Modelo PGEP	4	2,4	0,9	2,9	2,7
CBPA	4,3	2,2 -3,0	1,8	8	1,2 - 1,7
Média	2,05	1,34	1,59	2,63	0,85
Máximo	2,40	1,54	1,90	3,40	0,96
Mínimo	1,86	1,22	1,39	2,01	0,72

Para o ano de 2022 foram disponibilizados os resultados da análise química do EP produzido em 10 explorações. No entanto, só 9 explorações foram submetidas a avaliação, pois os resultados obtidos para a amostra da exploração EBL_BAR2 foram rejeitados por apresentarem uma CQ bastante inferior às do conjunto das explorações da amostra (considerado um “outlier”). Uma insuficiente agitação do chorume antes da recolha da amostra para análise pode explicar os resultados obtidos, pois a quantidade de MS na amostra foi também bastante inferior às das restantes explorações. No Quadro 4 é apresentada a CQ média, máxima e mínima dos EP gerados no ano de 2022, no Anexo XI consta a CQ do EP gerado em cada uma das explorações da amostra.

A comparação executada entre a CQ média dos EP gerados nas explorações da amostra no ano de 2022 e a CQ de referência para o chorume de BL utilizada no modelo de PGEP da DRAPN, demonstrou que a CQ média dos EP das explorações da amostra foi: inferior para o N_{total} (-2,37 kg/m³) e N_{disponível} (-1,31 kg/m³), superior para o P₂O₅ (+ 0,14 kg/m³) e K₂O (+ 1,36 kg/m³). A relação N: P₂O₅ média dos EP das explorações da amostra foi inferior à relação N: P₂O₅ da CQ de referência (-1,60 kg/m³).

A comparação executada entre a CQ média dos EP gerados nas explorações da amostra no ano de 2022 e a CQ de referência para o chorume de BL indicada no Anexo VII do CBPA, demonstrou que a CQ média dos EP das explorações da amostra foi: inferior para o N_{total} (-2,67 kg/m³), para o N_{disponível} (-1,11 a -1,91 kg/m³), para o P₂O₅ (-0,76 kg/m³) e para o K₂O (-3,74 kg/m³). A relação N: P₂O₅ média das explorações da amostra foi inferior à relação N: P₂O₅ da CQ de referência (- 0,14 a - 0,64 kg/m³).

Quadro 4 - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2022 (kg/m³).

	N _{total}	N _{disponível}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Relação N: P ₂ O ₅
Modelo PGEP	4	2,4	0,9	2,9	2,7
CBPA	4,3	2,2 -3,0	1,8	8	1,2 - 1,7
Média	1,74	1,15	1,10	4,64	1,06
Máximo	2,28	1,47	1,47	8,28	1,34
Mínimo	1,18	0,81	0,82	2,54	0,66

4.2. Evolução temporal da quantidade de nutrientes nos efluentes pecuários

Pela análise da Figura 11 é possível comparar as CQ médias dos EP gerados nas explorações da amostra nos anos analisados e verificar que: o teor médio de N_{total}, o teor médio de N_{disponível} e o teor médio de P₂O₅ decresceu durante o período de estudo (2011 – 2022); o teor médio de K₂O mais elevado foi registado no ano de 2022; a relação média N: P₂O₅ demonstrou uma tendência decrescente durante o período em análise, com um ligeiro aumento no ano de 2022.

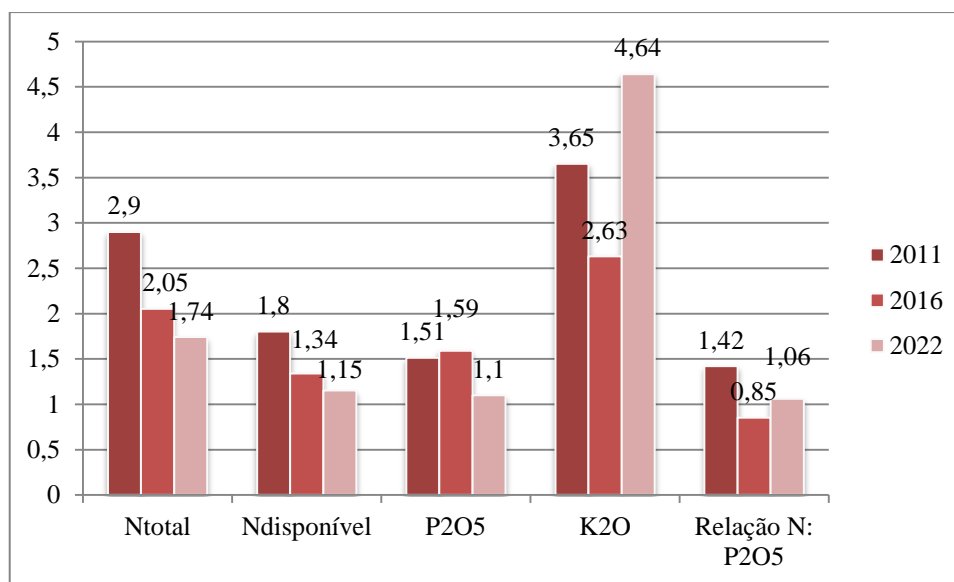


Figura 12 - Teor médio de nutrientes nos efluentes pecuários gerados nas explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 (kg/m³).

Face à grande heterogeneidade da CQ dos EP gerados nas várias explorações da amostra, entendeu-se que a utilização das CQ de referência para o chorume de BL não permite determinar o volume de EP a valorizar por SAU e o BAN com a exatidão necessária, originando por isso, situações em que a quantidade de nutrientes disponibilizada às culturas através da VAEP é excessiva ou insuficiente.

4.3. Separação de frações

Três das explorações da amostra eram detentoras de equipamentos de separação de frações. Os resultados da análise química da FS e FL foram disponibilizados apenas para o ano de 2011, para duas dessas três explorações (Quadro 5).

A comparação realizada entre a CQ média da FS produzida no ano de 2011 nas explorações da amostra e a CQ de referência da FS utilizada no modelo de PGEP da DRAPN, demonstrou que a CQ média da FS das explorações da amostra foi: inferior para $N_{\text{disponível}}$ (- 1,86 kg/m³), superior para o P_2O_5 (+ 1,15 kg/m³) e K_2O (+ 2,32 kg/m³). A relação N: P_2O_5 média da FS das explorações da amostra foi inferior à relação N: P_2O_5 da CQ de referência para a FS (-1,72).

A comparação realizada entre a CQ média da FL produzida no ano de 2011 nas explorações da amostra e a CQ da FL de referência utilizada no modelo de PGEP da DRAPN, demonstrou que a CQ média na FL das explorações da amostra foi: inferior para o $N_{\text{disponível}}$ (- 1,32 kg/m³), superior para o P_2O_5 (+ 0,04 kg/m³) e inferior para o K_2O (-1,59 kg/m³). A relação N: P_2O_5 média da FL das explorações da amostra foi inferior à relação N: P_2O_5 da CQ da FL referência (-1,7).

Quadro 5- Composição química da fração sólida (kg/ton) e fração líquida (kg/m³) produzida nas explorações da amostra no ano de 2011.

Fração sólida					Fração líquida					
	N_{total}	$N_{\text{disponível}}$	P_2O_5	K_2O	Relação N: P_2O_5	N_{total}	$N_{\text{disponível}}$	P_2O_5	K_2O	Relação N: P_2O_5
PGEP		2,9	1,3	2,8	2,23	2,3	0,8	3		2,88
EBL_BAR5	5,45	1,09	3,51	6,26	0,31	1,57	0,99	0,94	1,73	1,05
EBL_BAR6	4,93	0,99	1,39	3,98	0,71	1,57	0,98	0,75	1,09	1,31
Média	5,19	1,04	2,45	5,12	0,51	1,57	0,99	0,85	1,41	1,18

4.4. Estrutura das explorações e capacidade de armazenamento de efluentes pecuários

No Anexo XII são apresentados os principais indicadores produtivos e características estruturais de cada uma das explorações da amostra, nomeadamente, a área de SAU, o número total de animais, o encabeçamento animal (CN/ha), o nº de vacas com produção > 7 ton de leite/ano, o nº de vacas com produção < 7 ton de leite/ano, as explorações localizadas em ZVN, as explorações detentoras de separação de frações, o nº de vacas em produção, a % de vacas em produção e a % de animais de reposição.

No Quadro 6 é apresentada a média, o máximo e o mínimo para os principais indicadores produtivos e as características estruturais das explorações da amostra.

As explorações da amostra foram selecionadas por técnicos da Cooperativa Agrícola de Barcelos, que procuraram para esta análise, agrupar diferentes explorações com diferentes dimensões e graus de especialização, de modo a ter um cenário representativo e abrangente das explorações de BL da área de estudo. Por este motivo, os dados apresentados são bastante heterogéneos. Três das vinte explorações da amostra encontravam-se localizadas em ZVN (EBL_BAR5, EBL_BAR11, EBL_BAR16), onde a gestão e VAEP apresenta restrições face às explorações fora de ZVN e três das vinte explorações da amostra possuíam equipamento para executar a separação de frações (EBL_BAR5, EBL_BAR6, EBL_BAR18).

Quadro 6 - Principais indicadores produtivos e características das explorações de bovinos de leite da amostra.

	Área SAU (ha)	Total de animais (CN)	(CN/ha)	nº vacas produção > 7 ton	nº vacas produção < 7 ton	Vacas em produção (CN)	Vacas em produção (%)	Animais reposição (%)
Média	21	152	7,3	94	19	118	77%	23%
Máximo	50	434	9,2	289	90	347	85%	32%
Mínimo	9	59	4,3	34	4	40	68%	15%

Num trabalho realizado por Brito *et al.* (2011), procedeu-se a um inquérito a 1860 produtores de BL da BLP, constatou-se que as explorações da BLP possuíam em média: 10 ha de área de SAU, um total de 50 CN, um encabeçamento animal superior a 5 CN/ha e 3,5% das explorações analisadas possuíam equipamentos para a separação de frações. Se

comparados os resultados médios apurados por Brito *et al.* (2011) com resultados médios obtidos nas explorações da amostra, os apurados para as explorações da amostra são: superiores para a área de SAU por exploração (+ 11 ha), para o número animais por exploração (+ 102 CN), para o encabeçamento animal (+ 2,3 CN/ha) e para a percentagem de explorações que possuíam equipamentos de separação de frações (+ 11,5%).

Num estudo realizado Raison *et al.* (2006) ao abrigo do projeto “Green Dairy” foram estudadas 139 explorações de BL piloto em 9 regiões de clima atlântico (Quadro 7) onde se incluía a BLP, nesse estudo, as explorações de BL da região da BLP destacaram-se no conjunto das regiões, como aquelas que possuíam: a menor área de SAU, o 5º maior número de vacas em produção e o maior encabeçamento animal. Se comparados os resultados médios apurados para a BLP por Raison *et al.* (2006) com resultados médios obtidos nas explorações da amostra analisada, os apurados para as explorações da amostra são: inferiores para a área de SAU por exploração (- 1 ha), superiores para o número de vacas em produção (+ 30 CN) e para o encabeçamento animal (+ 1,3 CN/ha).

Quadro 7 - Indicadores produtivos médios e características estruturais médias das explorações de bovinos de leite piloto estudadas no projeto “Green Dairy” (Raison *et al.*, 2006).

Região	SAU (ha)	Número de vacas	Encabeçamento animal (CN/ha)
Escócia	167	159	1,6
Irlanda do Sul	58	82	2
Sudoeste Inglaterra	110	165	2
Bretanha	57	45	1,4
Pays de la Loire	82	56	1
Aquitânia	69	53	1
País Basco	58	99	3
Galiza	32	74	3
Portugal Norte Litoral	22	88	6

Os resultados médios apurados demonstram que as explorações da amostra são mais intensivas do que a média das explorações da BLP analisadas por Brito *et al.* (2011) e por Raison *et al.* (2006) e mais intensivas do que as explorações das 9 regiões estudadas por Raison *et al.* (2006).

Devido à grande heterogeneidade das explorações da amostra decidiu-se proceder à segmentação das mesmas quanto ao grau de intensificação. Para tal, foi empregue um método utilizado por Fangueiro *et al.* (2008) que permite classificar explorações quanto ao seu grau de intensificação através da quantidade de leite produzida por hectare de área de SAU. As explorações de BL são classificadas como:

- a) Mediamente intensivas caso produzam uma quantidade de leite < 30.000 kg/ha/ano;
- b) Intensivas se produzirem uma quantidade de leite compreendida entre 30.000 e 40.000 kg/ha/ano;
- c) Muito intensivas no caso de produzirem uma quantidade de leite > 40.000 kg/ha/ano.

No Quadro 8 são apresentados os valores médios, máximos e mínimos para a produção anual de leite por exploração, por vaca em produção e por hectare de área de SAU. A produtividade de leite e o grau de intensificação de cada uma das explorações da amostra são apresentados no Anexo XIII.

No conjunto de explorações da amostra, 13 das 20 explorações foram classificadas como intensivas, 4 foram classificadas como muito intensivas e duas como mediamente intensivas. Uma das explorações produziu uma quantidade inferior a 30.000 kg de leite/ha/ano e por isso foi classificada como de reduzida intensidade.

Quadro 8 - Produção média de leite nas explorações da amostra.

	Total (kg/ano)	Por vaca (kg/CN/ano)	Por SAU (kg/ha/ano)
Média	746.389	6.287	35.153
Máximo	2.167.500	6.667	51.414
Mínimo	217.495	5.437	15.806

Num trabalho desenvolvido por Fangueiro *et al.* (2008) procedeu-se à classificação do grau de intensificação de 20 explorações de BL do concelho de Vila do Conde. Oito dessas explorações foram classificadas como mediamente intensivas, 7 como intensivas e 5 como muito intensivas. Nas explorações analisadas por Fangueiro *et al.* (2008) a produtividade média por vaca em produção variou entre 7.900 e os 9.200 kg de leite/ano. Se comparados

os resultados apurados por Fangueiro *et al.* (2008) com os resultados obtidos para as explorações analisadas no presente trabalho, pode-se afirmar que as explorações da amostra são caracterizadas por uma maior intensificação.

Num trabalho realizado por Raison *et al.* (2006) ao abrigo do projeto “Green Dairy”, averiguou-se a produtividade média de leite obtida em 139 explorações da BL de 9 regiões de clima atlântico e onde se incluía a BLP (Quadro 9). As explorações da BLP destacaram-se no conjunto das regiões analisadas pela obtenção: da maior produtividade de leite por área SAU, a 2ª maior produtividade de leite por vaca em produção e a 4ª maior quantidade total de leite produzida por exploração. Se comparados os resultados médios apurados para a BLP por Raison *et al.* (2006) com os resultados médios obtidos no presente trabalho, os deste último são: superiores para a produtividade total de leite por exploração (+ 34.389 kg/ano), inferiores para a produtividade por vaca em produção (- 2.403 kg/CN/ano) e superiores para a produtividade obtida por SAU (+ 393 kg/ha/ano). Podendo por isso afirmar-se que as explorações da amostra são mais intensivas do que o conjunto de explorações analisadas por Raison *et al.* (2006).

Apesar da elevada quantidade de leite produzida por hectare de SAU das explorações da amostra, a produtividade média por vaca foi inferior ao expectável e inferior ao resultado médio apurado por Fangueiro *et al.* (2008) e por Raison *et al.* (2006) para as explorações da BLP

Quadro 9 - Produção média de leite nas explorações piloto avaliadas no projeto “Green Dairy” (Raison *et al.*, 2006).

Região	Exploração (kg/ano)	Vaca (kg/CN/ano)	SAU (kg/ha/ano)
Escócia	1.163.000	7.515	7.155
Irlanda do Sul	438.600	5.487	7.757
Sudoeste Inglaterra	846.400	6.565	9.847
Bretanha	280.000	6.733	5.315
Pays de la Loire	380.600	7.084	4.837
Aquitânia	388.400	7.881	6.053
País Basco	908.000	8.966	15.304
Galiza	659.600	8.529	19.723
Portugal Norte Litoral	712.000	8.690	34.760

Conhecida para cada exploração da amostra a quantidade total de leite anualmente produzida, o volume total de EP e a CQ do EP gerados, foi possível determinar a quantidade de nutrientes disponível para VA por cada 1.000 kg de leite produzido. Os resultados apurados permitiram avaliar a eficiência de utilização de nutrientes nas explorações da amostra. Pressupôs-se que quanto menor for a quantidade de nutrientes disponível para VA por cada 1.000 kg de leite produzido, maior a eficiência de utilização de nutrientes para a produção de leite nas explorações. Uma menor quantidade de nutrientes disponível para VA por cada 1.000 kg de leite produzido exige uma menor área de SAU para proceder à adequada VAEP produzidos. Por a quantidade de N volatilizada após a excreção e durante o período de armazenamento de EP nas explorações da amostra não ser conhecida não foi possível determinar com necessária exatidão a quantidade N disponível para VA por cada 1.000 kg de leite produzido.

No Quadro 10 é apresentada para os diferentes anos analisados, a quantidade de nutrientes média, máxima e mínima disponível para VA por cada 1000 kg de leite produzido nas explorações da amostra. A quantidade de nutrientes disponível para VA por cada 1.000 kg de leite produzidos em cada uma das explorações da amostra consta nos Anexos XIV, XV e XVI.

Os resultados obtidos foram bastante heterogêneos, porém, foi possível concluir que as explorações que possuem um menor quantidade de nutrientes disponível para VA por cada 1.000 kg de leite produzidos fornecem dietas mais próximas das necessidades nutricionais dos animais e por isso a quantidade de nutrientes excretada é menor. Pelos resultados obtidos, é ainda possível afirmar que através da reformulação das dietas fornecidas aos animais é possível se protagonizar a redução da quantidade de nutrientes disponível para VA por cada 1.000 kg de leite produzidos nas explorações em que os resultados apurados foram bastante superiores aos resultados médios apurados.

Quadro 10 - Quantidade de pentóxido de fósforo e óxido potássio disponível nos EP para valorização agronómica por cada 1000 kg leite produzido nos anos de 2011, 2016 e 2022 (kg/m³).

	2011		2016		2022	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Média	5,4	13	5,6	9,3	3,9	16,3
Máximo	10	22,1	6,4	11,4	4,9	27,7
Mínimo	2,1	4,6	4,9	7	3,1	9,6

Como é possível observar na Figura 12, durante o período em análise (2011 a 2022) ocorreu a redução da quantidade média de P₂O₅ e o aumento da quantidade média de K₂O disponível para VA por cada 1.000 kg de leite produzido. Pode-se por isso afirmar, que nas explorações da amostra a eficiência de utilização de nutrientes para a produção de leite aumentou para o P e diminuiu para o K.

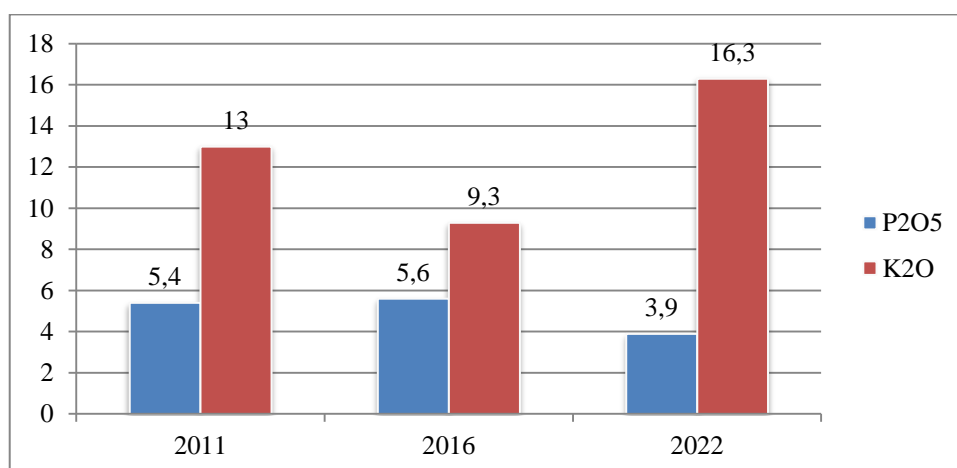


Figura 13 - Quantidade média de nutrientes disponível para valorização agronómica nas explorações de bovinos de leite da amostra por cada 1000 kg de leite/ano produzido (kg/m³).

Pela consulta do PGEP de cada uma das explorações da amostra foi determinado o volume de EP anualmente gerado e a capacidade das estruturas de armazenamento de EP. Deste modo, foi possível estabelecer várias relações que permitiram conhecer: i) a capacidade de armazenamento em percentagem face ao volume total de EP anualmente produzido; ii) a capacidade de armazenamento em relação ao n^o de meses durante os quais existe

capacidade de armazenamento de EP; iii) a capacidade de armazenamento de EP por cada CN; e a capacidade de armazenamento por cada hectare de área de SAU.

No Quadro 11 é apresentado o valor médio, o máximo e o mínimo para o volume de EP anualmente gerado e para a capacidade de armazenamento de EP. O volume de EP gerado e a capacidade de armazenamento de EP de cada uma das explorações da amostra constam no Anexo XVII.

Quadro 11 - Volume de efluente pecuário gerado e capacidade de armazenamento nas explorações de bovinos de leite da amostra.

	Produzido		Armazenamento			
	m ³ /ano	m ³	%	nº meses	m ³ /CN	m ³ /ha
Média	2.609,7	1.293,9	49,7	6	8,5	60,8
Máximo	7.621,1	3.821,3	70,7	8	12,5	95,4
Mínimo	909,8	474,0	35,6	4	6,2	37,9

Num trabalho realizado Brito *et al.* (2011) procedeu-se a um inquérito a 1860 explorações de BL da BLP, foi determinado que as explorações analisadas possuíam uma capacidade média de armazenamento de 220 m³ por exploração, o que correspondeu a 40 m³/ha, a 7,6 m³/CN e a um período médio de armazenamento de EP de 5 meses. Se comparados os resultados médios apurados por Brito *et al.* (2011) com os resultados médios para as explorações da amostra, os das explorações da amostra são: superiores para a capacidade de armazenamento por exploração (+ 1.073,9 m³), para a capacidade de armazenamento por cada hectare de área de SAU (+ 20,8 m³/ha), para capacidade de armazenamento por cada CN (+ 0,9 m³/CN) e para o número de meses durante os quais existe capacidade de armazenamento (+ 1 mês).

Num trabalho elaborado por Raison *et al.* (2006) ao abrigo do projeto “Green Dairy” foi avaliada a capacidade de armazenamento de 139 exploração do conjunto 9 de regiões de clima atlântico onde se incluía a BL (Quadro 12). A BL destacou-se como uma das regiões com menor capacidade de armazenamento de EP por exploração (< a 3 meses). Se comparados os resultados obtidos por Raison *et al.* (2006) com os resultados determinados para as explorações da amostra, os dessas últimas são superiores para o período durante o qual existe capacidade de armazenamento (+ 3 meses).

Quadro 12 - Capacidade de armazenamento em meses nas explorações de bovinos de leite piloto ao abrigo do projeto “Green Dairy” (Raison *et al.*, 2006).

Região	Capacidade armazenamento	
	(meses)	
Escócia	< 3	
Irlanda do Sul	3	
Sudoeste Inglaterra	<3	
Bretanha	6	
Pays de la Loire	6	
Aquitânia	>6	
País Basco	<3	
Galiza	<3	
Norte Litoral de PT	<3	

Face aos resultados obtidos no presente trabalho e aos resultados determinados para a BL por Brito *et al.* (2011) e por Raison *et al.* (2006), foi possível concluir que se tem realizado o aumento de capacidade de armazenamento de EP nas explorações de BL da BLP, situação que vai de encontro das crescentes preocupações ambientais da sociedade.

No Quadro 13 é apresentada a quantidade de FS e de FL produzida e a capacidade de armazenamento existente nas três explorações da amostra que detinham equipamento de separação de frações.

Quadro 13 - Quantidade produzida e capacidade de armazenamento de fração sólida e fração líquida nas explorações de bovinos de leite da amostra.

Exploração	Produção			Armazenamento					
	FL (m ³)	FS (ton)	Fossas (m ³)	Nitricas (m ³)	%		Nº meses		
					FL	FS	FL	FS	
EBL_BAR5	1.623,6	304,5	1.038,5	113,4	64	37	8	4	
EBL_BAR6	6.097	1143	2.709,4	600	44	52	5	6	
EBL_BAR18	3.074	576	2.227,2	480	72	83	9	10	

Pela análise realizada, foi possível concluir que todas as explorações da amostra possuíam capacidade de armazenamento de EP superior ao período mínimo legalmente estabelecido (4 meses para explorações em ZVN e 3 meses para explorações fora de ZVN). O

cumprimento desse período, permite às explorações da amostra prescindir da VAEP durante os períodos em que é propícia a perda de nutrientes para o ambiente.

4.5. Valorização agronômica dos efluentes pecuários em explorações de bovinos de leite

A maioria das explorações da amostra executaram a VA de chorume, no entanto, três por possuírem equipamento de separação de frações, geriram e valorizaram FS e FL. Contudo, para a realização das várias simulações de seguida apresentadas foi considerado que todas as EBL da amostra valorizavam agronomicamente chorume. A CQ do chorume produzido nessas três explorações foi também determinada pela análise química aos chorumes gerados nas mesmas. Para determinar o volume de chorume produzido e disponível para VA nas três explorações que detinham equipamento de separação de frações recorreu-se ao PGEP de cada uma das explorações.

No PGEP de cada uma das explorações da amostra foi contabilizado para efeito de BAN apenas o volume de EP produzido e valorizado nas parcelas da exploração. Porém, é comum na produção de BL na região da BLP a existência de parcelas classificadas como “área informal”, essas parcelas são cultivadas pelos produtores de BL, contudo, encontram-se registadas no parcelário de outros agricultores. Por esta razão, o volume de EP valorizado agronomicamente em “área informal” não foi contabilizado no PGEP de cada uma das explorações da amostra. No entanto, nos BAN neste trabalho realizado, foi considerado também o volume de EP valorizado agronomicamente em “área informal”, pois a VAEP nessa área é também da responsabilidade dos produtores de BL. O volume de EP valorizado agronomicamente em “área informal” por cada uma das explorações da amostra consta no Anexo XVIII.

Para a realização do BAN, considerou-se que 60% do volume total de EP anualmente gerado nas explorações da amostra foi valorizado agronomicamente na cultura do milho e 40% na cultura do azevém.

No Quadro 14 é apresentado o volume médio, máximo e mínimo anualmente valorizado agronomicamente nas explorações da amostra. No Anexo XIX é apresentado o volume de EP anualmente valorizado em cada uma das explorações da amostra.

Quadro 14 - Volume de chorume valorizado nas explorações de bovinos de leite da amostra (m³/ha/ano).

	Milho	Azevém	Total
Média	74,4	49,6	124,0
Máximo	98,8	65,9	164,6
Mínimo	39,7	26,4	66,1

Num trabalho realizado Brito *et al.* (2011) determinou-se que as explorações da BLP valorizavam agronomicamente um volume médio de 95 m³/ha/ano de EP, valor esse, inferior ao volume médio de EP valorizado agronomicamente nas explorações da amostra (- 19 m³/ha/ano).

No Quadro 15 é apresentado o volume de FS e FL valorizada nas explorações da amostra que possuíam equipamento de separação de frações. A EBL_BAR5 valorizou nas parcelas agrícolas da exploração a FL e exportou a FS para uma unidade de compostagem. A EBL_BAR6 valorizou as duas frações nas suas parcelas agrícolas.

Quadro 15 - Quantidade de fração líquida e sólida valorizada agronomicamente nas explorações de bovinos de leite da amostra (ha/ano).

		Milho	Azevém	Total
FL (m ³)	EBL_BAR5	40	27	67
	EBL_BAR6	77	51	129
FS (ton)	EBL_BAR5	Exportada		
	EBL_BAR6	14	10	24

4.6. Balanço agronómico de nutrientes

Para a realização dos BAN apresentados neste trabalho foi tida em consideração a CQ do EP de BL que vigora no PGEP e a CQ do EP obtida pela da análise química do EP produzido nos anos de 2011, 2016 e 2022 em cada uma das explorações da amostra. O BAN resulta da diferença entre a quantidade de nutrientes necessária à fertilização das culturas e a quantidade de nutrientes disponibilizada através da VAEP. As necessidades nutricionais consideradas para as culturas do milho e azevém foram determinadas pela consulta do PGEP de cada uma das explorações da amostra. As necessidades nutricionais

das culturas variam em função da cultura agrícola, do teor de nutrientes no solo (P_2O_5 e K_2O) e da produção expectável das culturas agrícolas. Na BLP existe o conceito de “parcela homogénea”, pelo que se admite que das diferentes parcelas cultivadas por uma exploração possuem fertilidade similar e o mesmo potencial produtivo, por esta razão, considera-se que a quantidade de nutrientes a disponibilizar às culturas é igual nas diferentes parcelas agrícolas cultivadas pela exploração.

No Quadro 16 é apresentada a fertilidade do solo, a produtividade expectável das culturas produzidas, as necessidades nutricionais por cultura e a relação N: P_2O_5 necessária para a fertilização de cada cultura. Os valores apurados para cada um dos fatores mencionados foram comuns para a maioria das explorações da amostra. No Anexo XX é apresentada a informação referente a cada uma das explorações da amostra.

Nas parcelas da maioria das explorações da amostra o teor de P_2O_5 no solo variou entre 80 e 120 ppm e o teor de K_2O entre 121 e 150 ppm.

A relação N: P_2O_5 necessária à fertilização das culturas é dependente da fertilidade do solo e das necessidades nutricionais das culturas e indica a quantidade de N a disponibilizar às culturas por cada kg de P_2O_5 disponibilizado.

Na maioria das explorações da amostra a relação N: P_2O_5 determinada para a fertilização das culturas cultivadas foi de 2,75 para o milho e de 4,67 para o azevém. Deste modo, para a cultura do milho a disponibilização de um kg/ha/ano de P_2O_5 exige o fornecimento de 2,75 kg/ha/ano de N. Para a cultura do azevém a disponibilização de um kg/ha/ano de P_2O_5 carece do fornecimento de 4,67 kg/ha/ano de N. No entanto, a relação N: P_2O_5 média dos EP produzidos nas explorações da amostra foi de 1,42 no ano de 2011, de 0,85 no ano de 2016 e de 1,06 no ano de 2022.

Deste modo, pôde-se concluir que a VAEP gerados nas explorações da amostra não permitiu suprimir por completo as necessidades nutricionais das culturas para cada um dos macronutrientes necessários. Além disso, perante a relação N: P_2O_5 média observada nos EP gerados pelas explorações da amostra pôde-se concluir que a VA de um volume de EP capaz de suprimir a necessidade de N das culturas originaria o fornecimento de uma quantidade de P_2O_5 superior à necessidade das culturas e que a VA de um volume de EP correspondente à necessidade de P_2O_5 das culturas originaria o fornecimento de uma quantidade insuficiente de N.

Quadro 16 - Fertilidade do solo, produtividade e necessidades nutricionais das culturas produzidas nas explorações de bovinos de leite da amostra.

Necessidades nutricionais das culturas (kg/ha/ano)												
Fertilidade		Produtividade										
solo (ppm)		(ton/MV/ha/ano)		Milho silagem			Azevém			Relação N: P ₂ O ₅		
P ₂ O ₅	K ₂ O	Milho	Azevém	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Milho	Azevém	
81	-											
120	121-150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,75	4,67	

Num trabalho realizado por Fangueiro *et al.* (2008) procedeu-se à análise química de amostras de solo colhidas em 20 explorações do concelho de Vila do Conde, tendo-se determinado que o teor médio de P₂O₅ no solo foi superior a 250 ppm e o teor médio de K₂O foi de 336 ppm.

Num trabalho executado por Matias *et al.* (2022) comparou-se os resultados obtidos pela análise química de 11.000 amostras de solo realizadas durante o período de 2008 a 2019 em parcelas agrícolas do concelho de Barcelos. Cerca de 88% das amostras recolhidas e analisadas pertenciam a parcelas onde se cultivava milho. No concelho de Barcelos a produção de BL é a principal atividade agropecuária, podendo-se assim admitir que a maioria das parcelas analisadas era cultivada por produtores de BL. Os resultados médios obtidos indicaram um teor de P₂O₅ no solo de 203,3 ppm e um teor de K₂O no solo de 235,4 ppm. Para o ano de 2008, o teor de P₂O₅ do solo foi classificado como alto (150 a 200 ppm) em 19,2% e como muito alto (>200 ppm) em 34,6% das parcelas agrícolas analisadas. O teor de K₂O no solo foi identificado como muito alto em 60,3% das parcelas agrícolas analisadas. No ano de 2019, o teor de P₂O₅ no solo foi classificado como muito alto em 57,1% e o teor de K₂O como muito alto em 50% das parcelas agrícolas analisadas.

Os valores determinados para o teor médio de P₂O₅ e de K₂O no solo das parcelas cultivadas pelas explorações da amostra foram inferiores aos resultados apurados por Fangueiro *et al.* (2008). e por Matias *et al.* (2022).

Como indicado por Sheffield *et al.* (2008) devido ao elevado risco de se verificar a perda de P para o ambiente, não se recomenda proceder à VAEP em parcelas agrícolas cujo teor de P₂O₅ no solo é superior a 150 ppm. Por esta razão, em grande parte das parcelas analisadas por Fangueiro *et al.* (2008) e por Matias *et al.* (2022) não se deveria proceder à

VAEP. Segundo este parâmetro, também não se deveria proceder à VAEP em uma das explorações da amostra (EBL_BAR4), pelo que todo o EP gerado nessa exploração deveria ter sido exportado.

Para a realização do primeiro BAN foi considerada a CQ de referência para EP de BL utilizada no modelo de PGEP da DRAPN. Os resultados médios, máximos e mínimos obtidos constam no Quadro 17. Os resultados do BAN obtido para cada uma das explorações da amostra constam no Anexo XXI.

O BAN determinado pela utilização da CQ de EP de BL utilizada no PGEP demonstrou que a VA do volume total de EP gerado nas explorações da amostra resultou no fornecimento às culturas de uma quantidade insuficiente de N e P_2O_5 e de uma quantidade excessiva de K_2O em 15 das 20 explorações. Nas restantes 5 explorações, a VAEP do volume total de EP gerado resultou no fornecimento às culturas agrícolas de uma quantidade insuficiente de N e de uma quantidade excessiva de P_2O_5 e de K_2O . Podendo por isso afirmar-se, que em 15 das 20 explorações da amostra a VA do volume total de EP gerado não promoveria a acumulação de P_2O_5 e K_2O no solo e a perda de P_2O_5 para o ambiente, no entanto, nas restantes 5 explorações a VA do volume total de EP gerado pela atividade pecuária desencadearia a acumulação de P_2O_5 e K_2O no solo e a perda de P_2O_5 para o ambiente. De forma a evitar acumulação de P_2O_5 e K_2O no solo e a perda de P_2O_5 para o ambiente essas 5 explorações deveriam exportar o volume de EP em excesso para explorações com um BAN negativo. O BAN executado com recurso à CQ dos EP de BL utilizada no PGEP só resultou no fornecimento P_2O_5 em excesso nessas 5 explorações por se ter considerado o volume de EP valorizado agronomicamente em “área informal” (não contabilizado no PGEP).

O BAN resultante da VAEP nas explorações em ZVN indicou o fornecimento de uma quantidade de N de origem orgânica superior limite legalmente estabelecido nas três explorações em ZVN da amostra (EBL_BAR5: 198,9 kg de N ha/ano; EBL_BAR11: 263,7 kg de N ha/ano; EBL_BAR16: 305,4 kg de N ha/ano).

O défice médio de N apurado para o conjunto das explorações da amostra foi de 125,1 kg de N ha/ano.

Quadro 17 - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP calculado pela utilização da composição química dos EP de bovinos de leite utilizada no PGEP (kg/ha/ano).

	Quantidade disponibilizada			Balanço agronómico		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Média	297,7	111,6	359,7	-125,1	-13,9	286,2
Máximo	395,1	148,2	477,5	-51,7	48,2	477,5
Mínimo	158,7	59,5	191,7	-256,3	-70,5	101,7

Os BAN de seguida apresentados foram calculados utilizando as composições química obtidas pela execução de análise química dos EP gerados em cada uma das explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022. Os restantes fatores utilizados para o cálculo do BAN mantiveram-se constantes (volume de EP valorizado agronomicamente, área de SAU, fertilidade do solo e produtividade das culturas).

Os resultados médios, máximos e mínimos aferidos pelo cálculo do BAN para os anos de 2011, 2016 e 2022 são apresentados no Quadro 18, os resultados referentes a cada uma das explorações da amostra e anos analisados constam nos Anexos XXII, XXIII e XXIV.

Os BAN resultantes da VAEP nas explorações da amostra demonstraram que:

- a) No ano de 2011, ocorreu a disponibilização às culturas agrícolas de uma quantidade insuficiente de N e a disponibilização de uma quantidade excessiva de P₂O₅ e de K₂O em 16 das 17 explorações da amostra;
- b) No ano de 2016, verificou-se o fornecimento às culturas agrícolas de uma quantidade insuficiente de N e a disponibilização de uma quantidade excessiva de P₂O₅ e de K₂O em todas as 8 explorações da amostra;
- c) No ano de 2022, foi disponibilizada às culturas agrícolas uma quantidade insuficiente de N em todas as 9 explorações da amostra, o fornecimento de uma quantidade excessiva de P₂O₅ em 7 das 9 explorações e a disponibilização de uma quantidade excessiva de K₂O em todas as 9 explorações.

Podendo por isso afirmar-se, que a VAEP executada nas explorações amostra, promoveu a acumulação de P₂O₅ no solo e a perda deste nutriente para o ambiente em:

- a) 16 das 17 explorações no ano de 2011;

- b) Todas as 8 explorações no ano de 2016;
- c) 7 das 9 explorações no ano de 2022.

A VAEP executada nas explorações da amostra contribuiu para a acumulação de K_2O no solo em:

- a) 16 das 17 explorações no ano de 2011;
- b) Todas as 8 explorações no ano de 2016;
- c) Todas as 9 explorações no ano de 2022.

Tendo a VAEP executada nas explorações da amostra contribuído para a acumulação de P_2O_5 no solo e para a perda desse nutriente para o ambiente, devia-se ter verificado a exportação do volume de EP correspondente à quantidade de P_2O_5 disponibilizada em excesso em:

- a) 16 das 17 explorações no ano de 2011;
- b) Todas as 8 explorações no ano de 2016;
- c) Em 7 das 9 explorações no ano de 2022.

O défice de N médio resultante da VAEP realizada nas explorações da amostra foi de:

- a) 197,6 kg/ha no ano de 2011;
- b) 259,6 kg/ha no ano de 2016;
- c) 278,6 kg/ha no ano de 2022.

Os BAN calculados para as explorações da amostra em ZVN não indicaram a disponibilização de uma quantidade de N de origem orgânica pela VAEP superior ao limite legalmente estabelecido (170 kg/ha/ano).

No entanto, os BAN calculados para as explorações da amostra em ZVN revelaram a disponibilização de uma quantidade de P_2O_5 superior à necessária pelas culturas em:

- a) Todas as 3 explorações em ZVN analisadas no ano de 2011 (EBL_BAR5: + 77,4 kg/ha/ano; EBL_BAR11: + 39,2 kg/ha/ano; EBL_BAR16: + 237,2 kg/ha/ano);
- a) Na única exploração em ZVN analisada no ano de 2016 (EBL_BAR5: + 50,1 kg/ha/ano);

c) Na única exploração em ZVN analisada no ano de 2022 (EBL_BAR5: + 2,9 kg/ha/ano).

Quadro 18 - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP e calculado pela utilização da composição química dos EP produzido nas explorações de bovinos de leite da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022.

	Ano	Média	Máximo	Mínimo	
N	Quantidade disponibilizada	2011	223,8	461	122,6
		2016	169,1	206	116
		2022	148,6	210,4	97,7
	Balanço agronómico	2011	-197,6	1	-292,4
		2016	-259,6	-225,2	-327,5
		2022	-278,6	-204,6	-354,7
P ₂ O ₅	Quantidade disponibilizada	2011	186	367,8	45
		2016	200,6	257,5	130,1
		2022	143,7	182,7	82,9
	Balanço agronómico	2011	58,4	237,8	-85
		2016	78,1	104,6	50,1
		2022	20,3	52,7	-31,1
K ₂ O	Quantidade disponibilizada	2011	454,7	834,8	76
		2016	331,4	400,2	168,2
		2022	601,5	974,3	306,4
	Balanço agronómico	2011	378,8	744,8	-14
		2016	271,4	364,8	168,2
		2022	538,1	884,3	306,4

Num trabalho realizado por Brito *et al.* (2011), a quantidade média de N nos chorume e águas brancas gerados nas explorações da BLP e disponível para VA foi de 266 kg/ha/ano. A quantidade média de N disponível para VAEP nas explorações da amostra foi inferior para todos os anos em que se procedeu à análise química dos EP gerados nas explorações da amostra (2011: -42,2 kg/ha/ano; 2016: -96,9 kg/ha/ano; 2022: -117,4 kg/ha/ano).

Num trabalho realizado por Raison *et al.* (2006) determinou-se a quantidade média de N disponibilizada por cultura e o balanço agronómico de N e P₂O₅ em 139 explorações de 9 regiões ao abrigo do projeto “Green Dairy” nas quais estava incluída a BLP (Quadro 19), a

BLP destacou-se no conjunto de regiões analisadas como aquela onde as explorações disponibilizaram às culturas:

- a) A maior quantidade de N de origem orgânica;
- b) A 3ª maior quantidade de N origem mineral;
- c) A maior quantidade total de N.

Quanto ao BAN, a BL foi no conjunto das regiões analisadas por Raison *et al.* (2006) a região que disponibilizou às culturas a 3ª maior quantidade de N e de P₂O₅ em excesso;

A quantidade de N de origem orgânica disponibilizada às culturas nas explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 foi inferior à quantidade determinada para a região da BLP por Raison *et al.* (2006) (2011: - 224,2 kg/ha/ano; 2016: -278,9 kg/ha/ano; 2022: - 299,4 kg/ha/ano) O balanço agronómico de P₂O₅ determinado para explorações da amostra para os anos de 2011 e 2016 foi superior ao determinado para a região da BLP por Raison *et al.* (2006) (2011: +1,4 kg/ha/ano; 2016: +21,1 kg/ha/ano) e inferior para o ano de 2022 (-36,7 kg/ha/ano).

Quadro 19 - Quantidade média de azoto disponibilizada às culturas e balanço agronómico médio nas explorações de bovinos de leite estudadas no projeto “Green Dairy” (kg/ha/ano) (Raison *et al.*, 2006).

Região	Quantidade de N disponibilizada às culturas			Balanço agronómico	
	N orgânico	N mineral	N org + N min	N	P ₂ O ₅
Escócia	170	114	274	5	2
Irlanda do Sul	245	269	514	185	12
Sudoeste Inglaterra	230	234	464	229	24
Bretanha	130	57	187	22	8
Pays de la Loire	97	66	163	-2	0
Aquitânia	94	147	241	61	0
País Basco	270	28	298	83	68
Galiza	267	136	403	153	89
Norte Litoral Portugal	448	212	660	170	57

No Quadro 20 é apresentado o BAN resultante da VA da FS e FL calculado a partir da CQ da FS e FL produzida no ano de 2011 nas explorações da amostra detentoras de equipamento de separador de frações.

Os BAN resultantes da VA da FS e FL nas duas explorações detentoras de equipamento de separação de frações demonstram que:

- a) A VA da FL executada pela EBL_BAR5 resultou no fornecimento às culturas agrícolas de uma quantidade insuficiente de N e P₂O₅ e na disponibilização de uma quantidade excessiva de K₂O.
- b) A VA da FL e da FS realizada pela EBL_BAR6 resultou no fornecimento às culturas agrícolas de uma quantidade insuficiente de N e P₂O₅ e na disponibilização de uma quantidade excessiva de K₂O.
- c) A VA executada na explorações em ZVN (EBL_BAR5) não resultou no fornecimento às culturas agrícolas de uma quantidade de N de origem orgânica pela VAEP superior ao limite legalmente estabelecido.

Apesar da quantidade de nutrientes disponibilizada às culturas agrícolas pela VA das frações na EBL_BAR6 ter sido superior ao dobro da quantidade de nutrientes disponibilizada às culturas agrícolas pela VA da FL na EBL_BAR5, os BAN calculados demonstraram que o défice N e P₂O₅ foi superior na EBL_BAR6. Esta situação verificou-se porque o teor de P₂O₅ e de K₂O no solo das parcelas agrícolas da EBL_BAR6 foram inferiores aos teores verificados no solo das parcelas agrícolas da EBL_BAR5 e também porque a produtividade das culturas e necessidades das culturas na EBL_BAR6 foram superiores às verificadas na EBL_BAR5.

Quadro 20 - Balanço agronómico anual de nutrientes nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2011 (kg/ha/ano).

	Quantidade disponibilizada			Balanço agronómico		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
EBL_BAR5	65,6	62,3	114,7	-349,4	-17,7	114,7
EBL_BAR6	150,1	130,1	236,4	-329,9	-39,9	116,4
Média	107,8	96,2	175,5	-339,7	-28,8	115,5

Num trabalho realizado por Pflimlin *et al.* (2006) avaliou-se o risco de se verificar a transferência de P_2O_5 para as águas superficiais em 9 regiões ao abrigo do projeto “*Green Dairy*” entre as quais estava incluída a BLP (Quadro 21). A BLP destacou-se no conjunto das regiões como aquela onde:

- a) O índice de erosão foi o 2º maior;
- b) A quantidade de P_2O_5 disponibilizada às culturas agrícolas foi a 2º maior;
- c) O risco de se verificar a perda de P para as águas superficiais foi o maior.

Deste modo, face aos resultados obtidos nos BAN realizados neste trabalho pôde-se concluir que a VAEP executada nas explorações da amostra e anos analisados contribuiu para a acumulação de P no solo, para a perda de P para o ambiente e conseqüente para o agravamento de vários problemas de poluição associados à perda de nutrientes para o ambiente (ex. eutrofização).

Quadro 21 - Risco de ocorrer a transferência de fósforo para as águas superficiais nas principais regiões especializadas na produção de bovinos de leite (Pflimlin *et al.*, 2006).

Região	Excesso de P_2O_5 (kg/ha/ano)	Índice regional de erosão	Nível de risco
Sudoeste da Irlanda	30	0,2	Baixo
Sudoeste da Escócia	40	0,1	Baixo
Sudoeste da Inglaterra	43	0,5	Baixo
Bretanha	41	2,4	Médio
Pays de Loire	23	0,8	Baixo
Sul da Aquitaine	34	7,12	Médio
País Basco	119	2,4	Elevado
Galiza	166	0,3	Baixo
Norte Litoral de Portugal	122	3,4	Elevado

Após determinado o BAN para cada uma das explorações da amostra e anos analisados, interessou executar um exercício que permitiu determinar o volume de EP valorizado em excesso e por conseqüência o volume que deveria ter sido valorizado para não se verificar o fornecimento às culturas agrícolas de uma quantidade de P_2O_5 superior à necessária. Apesar de se ter registado na maioria das explorações da amostra tanto a disponibilização de P_2O_5 como a de K_2O em excesso, optou-se por determinar o volume de EP valorizado

em excesso em função do P₂O₅, pois o P ao contrário do K está envolvido em vários problemas associados à degradação da qualidade da água. Para se determinar o volume de EP valorizado em excesso, foi estabelecida para cada exploração uma relação entre a quantidade de P₂O₅ disponibilizada para além da quantidade necessária às culturas agrícolas e a composição de P₂O₅ do EP gerado em cada uma das explorações. Esta determinação só foi realizada para as explorações da amostra em que a VAEP resultou na disponibilização de uma quantidade de P₂O₅ superior à necessária para a fertilização das culturas agrícolas produzidas.

Os resultados médios, máximos e mínimos apurados são apresentados no Quadro 22. Os resultados referentes a cada uma das explorações da amostra constam nos Anexos XXV, XXVI e XXVII.

A percentagem média de EP valorizado em excesso foi de 31% em 2011, de 39% em 2016 e de 19% em 2022.

Quadro 22 - Valorização agronómica de efluente pecuário nas explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 (m³/ha/ano).

		Média	Máximo	Mínimo
2011	Valorizado	127,3	164,6	82,9
	Adequado	88,3	153,8	42,1
	Excesso	39	82,3	6,5
	Excesso (%)	31%	65%	7%
2016	Valorizado	127,2	160,9	82,9
	Adequado	78,1	106,3	47,1
	Excesso	49,1	61,5	31,9
	Excesso (%)	39%	57%	30%
2022	Valorizado	126,2	151,4	82,9
	Adequado	100,5	132,7	80
	Excesso	25,8	43,2	2,9
	Excesso (%)	19%	29%	3%

Pela análise da Figura 13, foi possível entender que o volume médio valorizado por hectare de área de SAU foi similar nos três anos analisados. No entanto, devido à variação da CQ dos EP durante o período em análise, o volume de EP valorizado em excesso e o volume a

valorizar para garantir a conveniente VAEP variaram de forma considerável. O volume de EP corresponde à adequada VAEP aumentou no período em análise.

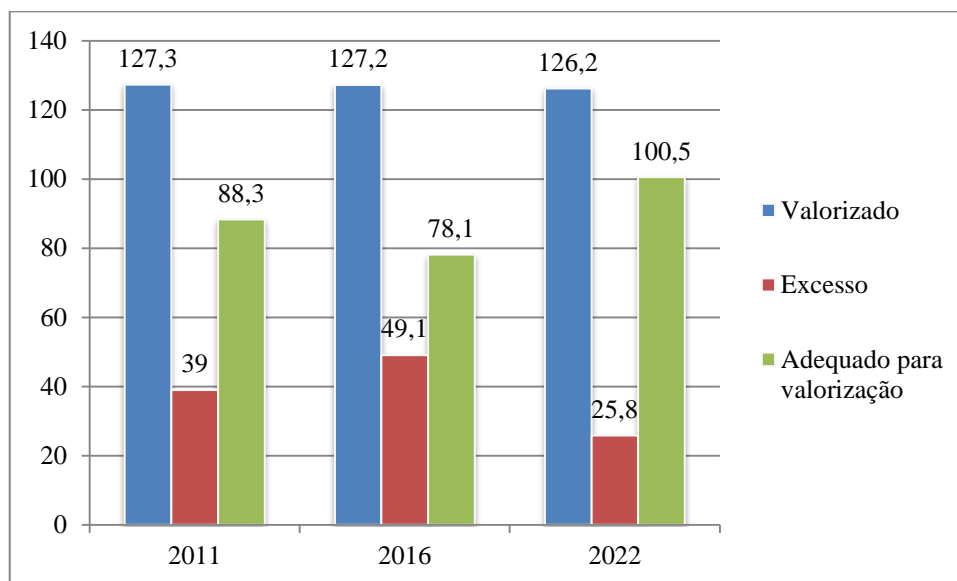


Figura 14 – Volume de efluente pecuário valorizado nas explorações de bovinos da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 (m³/ha/ano).

A redução do volume de EP a valorizar limita o fornecimento de P₂O₅ às culturas em excesso, a acumulação de P₂O₅ no solo e a perda de P para o ambiente, porém, implica a diminuição da quantidade de N disponibilizada pela VAEP e o aumento da quantidade de N que é necessário disponibilizar às culturas através da utilização de fertilizante azotado. Assim, com o objetivo de entender o impacto que a conveniente VAEP tem na redução da quantidade de N disponibilizada e no aumento da quantidade de N que é necessário disponibilizar pela aplicação de fertilizante azotado foi simulada a conveniente valorização de EP para cada exploração da amostra e para cada ano analisado. Para tal, foi estabelecida uma relação entre o volume de EP valorizado agronomicamente em excesso e a composição de N do EP da amostra de cada uma das explorações nos anos analisados.

Os resultados médios, máximos e mínimos apurados são apresentados no Quadro 23. Os resultados referentes a cada uma das explorações da amostra constam nos Anexos XXVIII, XXIX e XXX.

Face à VAEP executada pelas explorações da amostra, a realização de uma conveniente VAEP implicaria o aumento médio da quantidade de N a disponibilizar às culturas pela

utilização de fertilizante azotado em 39% no ano de 2011, em 26% no ano de 2016 e em 13% no ano de 2022.

Quadro 23 -. Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado nas explorações da amostra nos anos de 2011, 2016 e 2022 (kg/ha/ano).

		Média	Máximo	Mínimo
2011	P/ o volume valorizado	194,1	292,4	-
	P/ o volume adequado	262,2	352,7	29,2
	Aumento	68,1	169,5	10,7
	Aumento (%)	39%	111%	4%
2016	P/ o volume valorizado	259,6	327,5	225,2
	P/ o volume adequado	324,8	402,6	289,7
	Aumento	65,2	77,7	44,7
	Aumento (%)	26%	34%	15%
2022	P/ o volume valorizado	269,4	354,7	204,6
	P/ o volume adequado	300,3	347,7	258,4
	Aumento	30,8	58,6	3,8
	Aumento (%)	13%	29%	1%

Pela análise da Figura 14 foi possível concluir que o maior déficit de N ocorreu para o ano de 2016, contudo, a maior quantidade de N a disponibilizar através da utilização de fertilizante azotado verificou-se para o ano de 2011. A quantidade de N necessária fornecer às culturas pela aplicação de fertilizante azotado diminuiu durante o período em análise.

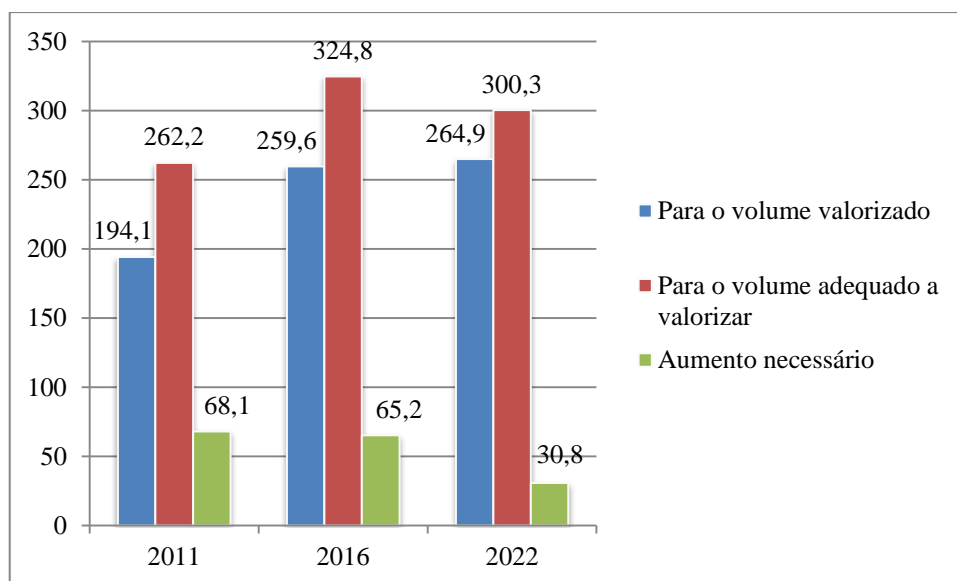


Figura 15 - Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado (kg/ha/ano).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face à grande heterogeneidade da CQ dos EP gerados nas várias explorações da amostra entendeu-se que a utilização da CQ para os BL utilizada no PGEP da DRAPN para determinar o volume de EP a valorizar agronomicamente implica a disponibilização às culturas agrícolas de uma quantidade de N insuficiente e de uma quantidade excessiva de P_2O_5 e K_2O . Por este motivo, ficou clara a necessidade de se executar a análise química aos EP produzidos em cada exploração antes de cada campanha cultural.

A VAEP executada nas explorações da amostra não contribuiu para perda de uma quantidade significativa de N para as águas subterrâneas e superficiais, no entanto, favoreceu a acumulação de P_2O_5 e de K_2O no solo. O aumento do teor de P_2O_5 no solo combinado com o elevado índice de erosão característico da região da BLP contribuiu para a transferência de P para as águas superficiais e para a degradação da qualidade das mesmas.

Os BAN resultantes da VAEP nas explorações da amostra em ZVN demonstraram que não se verificou a disponibilização de uma quantidade de N de origem orgânica pela VAEP superior ao limite legalmente imposto para as explorações em ZVN (170 kg de N ha/ano). Contudo, a VAEP executada resultou na disponibilização de uma quantidade de P_2O_5 e de K_2O superior à necessária pelas culturas em todas as explorações da amostra em ZVN e anos analisados.

Na maioria das explorações da amostra é impraticável a VA do volume total de EP produzido anualmente. Os principais fatores limitantes à conveniente VAEP nas explorações da amostra são o elevado encabeçamento animal, o elevado volume de EP gerado, a reduzida área de SAU e a reduzida relação N: P_2O_5 dos EP gerados.

De modo a garantir uma adequada VAEP produzidos pelas explorações da amostra recomenda-se a VA de um volume de EP correspondente à disponibilização da quantidade de P_2O_5 necessária à fertilização das culturas. O défice de N deve ser colmatado pela aplicação de fertilizante azotado. O volume de EP em excesso tem necessariamente de ser encaminhado para outros destinos, como por exemplo, a VAEP em explorações agrícolas. A VAEP em explorações agrícolas possibilita a redução da quantidade de fertilizantes minerais necessária à nutrição e produção das culturas agrícolas.

Nas explorações da amostra, a execução de uma conveniente VAEP permite colmatar as necessidades totais de P_2O_5 e de K_2O das culturas agrícolas, não existindo por isso, a necessidade de se utilizar qualquer tipo de fertilizante mineral para o fornecimento de P_2O_5 e K_2O às culturas agrícolas.

O aumento da relação N: P_2O_5 dos EP gerados nas explorações da amostra possibilita o aumento do volume de EP que é possível valorizar convenientemente nas explorações da amostra e conseqüentemente, reduzir o volume de EP que é necessário exportar. O aumento da relação N: P_2O_5 dos EP pode ser alcançado pela redução do teor de P_2O_5 nas dietas fornecidas aos animais e pela redução da perda de N que ocorre pela volatilização de amoníaco após a excreção dos EP e durante o seu armazenamento. O processamento de EP através da separação de frações possibilita a produção de FL com uma relação N: P_2O_5 superior à dos EP não processados e a redução da quantidade de N que é necessário disponibilizar às culturas através de fertilizante azotado. Para além disso, a separação de frações possibilita a exportação da FS para explorações agrícolas, reduzindo-se desta forma, a acumulação de P no solo das explorações de BL e a conseqüente perda de P para o ambiente.

A redução do encabeçamento animal nas explorações da amostra permite a redução do volume de EP anualmente disponível para VA por cada hectare de área de SAU. A redução do encabeçamento animal pode ser alcançada pelo aumento da área de SAU disponível para VAEP e/ou pela redução do número de animais (ex. deslocalização da recria para outras explorações).

De modo a aumentar a eficiência de reutilização do N presente nos EP interessa promover a redução da perda de N por volatilização do amoníaco após a excreção dos EP, durante o seu armazenamento e durante e após a VAEP (ex. acidificação dos chorumes e utilização de equipamentos de distribuição de EP).

A adequada VAEP, apesar de mais sustentável para o ambiente é mais cara para os produtores de BL do que a VA do volume total de EP gerado nas e explorações. Na maioria das explorações da amostra, a execução de uma conveniente VAEP implica a instalação de dispendiosos equipamentos de separadores de frações, o processamento dos EP através da separação de frações, o transporte do volume de EP em excesso para outras explorações e o aumento da quantidade de fertilizante azotado necessária para a fertilização das culturas agrícolas produzidas. Os encargos associados à execução de uma

adequada VAEP, podem ser, no entanto, parcialmente amortizados pela redução da quantidade de nutrientes importada para as explorações, pela redução dos custos associados à VAEP nas parcelas das explorações, pela venda da FS e pelo incentivo financeiro disponível para as explorações que garantam a execução de uma adequada VAEP. Porém, parte dos produtores de BL não detêm dos conhecimentos requeridos para garantir a adequada gestão e VAEP, pelo que deverão recorrer a assessoria de técnica.

Os trabalhos futuros sobre esta temática deverão incidir:

- a) No estudo e análise das dietas e maneios alimentares praticados nas explorações de BL, de modo a avaliar a influência da composição nutricional das dietas na quantidade de nutrientes excretada no EP produzido;
- b) No estudo e análise das forragens produzidas nas explorações, de forma a avaliar a quantidade de nutrientes removida do solo pelas culturas praticadas.
- c) No estudo e análise do teor de nutrientes no solo de parcelas agrícolas rotineiramente sujeitas à VAEP, de modo a avaliar a possível acumulação de nutrientes no solo;
- d) No estudo e análise do teor de nitratos e P das águas subterrâneas (poços, furos) e de águas superficiais próximas de parcelas agrícolas frequente sujeitas à VAEP;
- e) Na realização do balanço de nutrientes à escala da exploração, pois só assim, é possível entender o comportamento e o fluxo dos nutrientes nas explorações e identificar possíveis soluções que permitam facilitar e otimizar a produção, gestão e VAEP nas explorações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarts, H. e Jarvis, S., 2006. *Dairy systems confronted by European environmental constraints*. Site disponível: Xunta da Galicia – Consellería do Medio Rural, URL: http://www.ciam.gal/pdf/Green_Dairy.pdf. Consultado em outubro de 2021.
- Aarts, F., Pflimlin, A., Vertès, F., Bos, J. e Jarvis, S., 2003. *Nutrient management at farm scale - Synthesis and discussion*. Site disponível: WUR eDepot, URL: <https://edepot.wur.nl/31448>. Consultado em dezembro de 2021.
- Alberta Government, 2015. *Phosphorus - Sources and movement*. Site disponível: Alberta, URL: <https://open.alberta.ca/dataset/3e821eb6-0fae-4bdb-8180-a8b9b5b28ae6/resource/d275748d-ab5f-4c92-a455-2407ff5233ed/download/090-4.pdf>. Consultado em abril de 2022.
- Atlantic Swine Research Partnership, Nova Scotia Agricultural College e Greenhouse Gas Mitigation Program of the Canadian Pork Council, 2014. *Ammonia management from manure storage & spreading*. Site disponível: Nova Scotia Environmental Farm Plan, URL: <https://nsefp.ca/wpcontent/uploads/2014/07/2f2168a277c1648a114cc87336b4735dd6477bd6.pdf>. Consultado em novembro de 2022.
- Bauder, T., Waskom, R. e Wardle, E., 2008. *Agricultural phosphorus management*. Site disponível: Colorado State University – Extension, URL: <https://extension.colostate.edu/docs/pubs/crops/xcm175.pdf>. Consultado em maio de 2022.
- Béline, F., Daumer, M., Loyon, L., Pourcher, A., Dabert, P., Guiziou, F. e Peu, P., 2008. The efficiency of biological aerobic treatment of piggery wastewater to control nitrogen, phosphorus, pathogen and gas emissions. Site disponível: PubMed, URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18587177/>. Consultado em maio de 2022.
- Bittman, S., Dedina, M., Amon, B., Menzi, H., Webb, J., Groenestein, K., Misselbrook, T., Hutchings, N., Dohler, H., Hoek, K., Gyldenkerne, S., Valli, L., Pallière, C., Howard, C., Oenema, O. e Sutton, M., 2015. *Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions*. Site disponível: UNECE, URL: <https://unece.org/environment-policy/publications/framework-code-good-agricultural-practice-reducing-ammonia>. Consultado em novembro de 2022.
- Bossuet, I., Chambaut, H., Le Gall, A. e Raison, C., 2006. *Study of the distribution of nitrogen surplus in experimental dairy farms of the Atlantic Area*. Site disponível: Xunta da Galicia – Consellería do Medio Rural, URL: http://www.ciam.gal/pdf/Green_Dairy.pdf. Consultado em outubro de 2021.
- Bos, J., Pflimlin, A., Aarts, F. e Vertès, F., 2003. *Nutrient management at farm scale How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming?*. Site disponível: WUR eDepot, URL: <https://edepot.wur.nl/31448>. Consultado em dezembro de 2021.
- Brito, M., Alonso, J., Mamede, J. e Rey-Granã, J., 2011. *Gestão de efluentes nas explorações leiteiras do Entre Douro e Minho*. Site disponível: Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal, URL: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/15952>. Consultado em outubro de 2021.
- Chastain, J., 2019. *Solid-liquid separation alternatives for manure handling and treatment – Chapter 4*. Site disponível: United States Department of Agriculture, URL: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=43926.wba>. Consultado em dezembro de 2022.
- Chatellier, V. e Pflimlin, A., 2006. *Dairy systems in the European regions of the Atlantic Area*. Site disponível: Xunta da Galicia – Consellería do Medio Rural, URL: http://www.ciam.gal/pdf/Green_Dairy.pdf. Consultado em outubro de 2021.
- Comissão Europeia, 2010. *Managing livestock manure for sustainable agriculture*. Site disponível: European Commission, URL: <https://wayback.archive-it.org/12090/20230308112038/https://ec.europa.eu/environment/archives/water/report/Report.pdf>. Consultado em julho de 2022.
- Costa, A. e Figueiredo, A., 2011. *Estratégia Municipal Barcelos 2020 - Parte 1: diagnóstico estratégico*. Site disponível: Barcelos Município, URL: <https://www.cm-barcelos.pt/wp-content/uploads/2011/07/Barcelos2020-Vol2.pdf>. Consultado em fevereiro de 2023.

- Cotanch, K., Ballard, C., Emerich, W., Sniffen, C. e Thomas, E. 2003. *The feeding of supplemental phosphorus on dairy farms in the lake Champlain Basin*. Site disponível: Lake Champlain Basin Program, URL: https://www.lcbp.org/wp-content/uploads/2013/04/42_Animal_Feed_April_2003.pdf. Consultado em julho de 2022.
- Curado, M., Carvalho, T. e Barbosa, J., 2007. *Estratégias para a sustentabilidade da Bacia Leiteira do Entre Douro e Minho*. Site disponível: Associação portuguesa para o desenvolvimento rural, URL: http://apdr.pt/data/atas/congresso_2007/pdf/96.pdf. Consultado em dezembro de 2021.
- Daniel, T., Sharpley, A. e Lemunyon, J., 1998. *Agricultural Phosphorus and Eutrophication: A Symposium Overview*. Site disponível: Online library of American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/jeq1998.00472425002700020002x>. Consultado em junho de 2022.
- Miranda, F., Moreira, D., Tavares, E. e Leitão, B., 2020. Plano estratégico da política agrícola comum - Grupo de trabalho do setor do leite e laticínios. Documento interno da DRAPN.
- Endres, M., 2009. *Compost Bedded Pack Barns – Can They Work For You?*. Site disponível: Western Canadian Dairy Seminary, URL: https://wcds.ualberta.ca/wcds/wp-content/uploads/sites/57/wcds_archive/Archive/2009/Manuscripts/CompostBedded.pdf. Consultado em dezembro de 2021.
- Fangueiro, D., Pereira, J., Coutinho, J., Moreira, N. e Trindade, H., 2008. *NPK farm-gate nutrient balances in dairy farms from Northwest Portugal*. Site disponível: Politécnico de Viseu – Repositório científico, URL: <https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/1747>. Consultado em janeiro de 2022.
- Galama, P., de Boer, H., van Dooren, H., Ouweltjes, W. e Driehuis, F., 2015. *Sustainability aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands*. Site disponível: WUR eDepot, URL: <https://edepot.wur.nl/350932>. Consultado em dezembro de 2021.
- Gorissen, A. e Snauwaert, E., 2019. *Solutions for manure surplus in the dairy industry*. Site disponível: VCM, URL: https://cdn.digisecure.be/vcm/2020115133544568_191572-brochure-oplossingen-mestoverschot-eng.pdf. Consultado em abril de 2022.
- GPPAG, 2022. *Guia PEPAC Portugal – Eixo A*. Site disponível: Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, URL: https://www.gpp.pt/images/PEPAC/GuiasPEPAC/Guia_PEPAC_090922_EixoA_V12.pdf. Consultado em novembro de 2022.
- Grignani, C., Sacco, D., Bassanino, M., Mantovi, P., Bonazzi, G. e Cumino, P., 2003. *Nutrient management at farm scale - Italy*. Site disponível: WUR eDepot, URL: <https://edepot.wur.nl/31448>. Consultado em dezembro de 2021.
- Herbert, S., Hashemi, M., Chickering-Sears, C., e Weis, S., s/d. *Conserving ammonia in manure*. Site disponível: University of Massachusetts Amherst, URL: <https://ag.umass.edu/sites/ag.umass.edu/files/fact-sheets/pdf/ConservingAmmoniaInManure09-50.pdf>. Consultado em dezembro de 2022.
- Hjorth, M., Christensen, K., Christensen, M. e Sommer, S., 2010. *Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice*. Site disponível: HAL – Science Ouverte, URL: <https://hal.science/hal-00886497/document>. Consultado em maio de 2022.
- Jennings, J., s/d. *Alfalfa for Dairy Cattle*. Site disponível: University of Arkansas – Division of Agriculture, URL: <https://www.uaex.uada.edu/publications/PDF/FSA-4000.pdf>. Consultado em novembro de 2022.
- Kelling, K. e Schmitt, M., 2003. *Applying manure to alfalfa: pros, cons and recommendations for three application strategies*. Site disponível: CORE, URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/212817965.pdf>. Consultado em dezembro de 2022.
- Klaas, I. e Bjerg, B., 2010. *Cultivated barns for dairy cows : an option to promote cattle welfare and environmental protection in Denmark*. Site disponível: Research Gate, URL: https://www.researchgate.net/publication/270885980_Cultivated_barns_for_dairy_cows_an_option_to_promote_cattle_welfare_and_environmental_protection_in_Denmark. Consultado em dezembro de 2021.

- Kleinman, P., Spiegel, S., Liu, J., Holly, M., Church, C. e Ramirez-Avila, J., 2020. *Managing animal manure to minimize phosphorus losses from land to water*. Site disponível: Online Library of American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/aspectpub67.c12>. Consultado em junho de 2022.
- Leso, L., Barbari, M., Lopes, M., Damasceno, F., P Galama, P., Taraba, J. e Kuipers, A., 2019. *Compost-bedded pack barns for dairy cows*. Site disponível: National Library of Medicine, URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31837797/>. Consultado em dezembro de 2021.
- Leso, L., Uberti, M., Morshed, W. e Barbari, M., 2013. *A survey on Italian compost dairy barns*. Site disponível: Research Gate, URL: https://www.researchgate.net/publication/307933170_A_survey_on_Italian_compost_dairy_barns. Consultado em dezembro de 2021.
- Lesschen, J., Ros, M., Hendriks, C., Sigmundjak, I., Robles Aguilar, A., Meers, E., Michels, E., Hajdu, Z., Prado, J., Pose Guerra, H. e Fangueiro, D. 2021. *Effects of current techniques and management systems on CNP flows in Europe*. Site disponível: WUR eDepot, URL: <https://edepot.wur.nl/547937>. Consultado em março de 2022.
- Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit, Technical Services Division e Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Food and Rural Development, 2005. *Manure composting manual*. Site disponível: Alberta, URL: [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875/\\$file/400_27-1.pdf?OpenElement](https://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875/$file/400_27-1.pdf?OpenElement). Consultado em dezembro de 2022.
- Llywodraeth Cymru Welsh Government, 2019. *Code of Good Agricultural Practice guidance on reducing ammonia losses from agriculture in Wales*. Site disponível: Llywodraeth Cymru Welsh Government, URL: <https://www.gov.wales/sites/default/files/publications/2019-04/code-of-good-agricultural-practice-guidance-on-reducing-ammonia-emissions.pdf>. Consultado em dezembro de 2022.
- Lyons, G., Cathcart, A., Frost, J., Wills, M., Johnston, C., Ramsey, R. e Smyth, B., 2021. Review of two mechanical separation technologies for the sustainable management of agricultural phosphorus in Nutrient-Vulnerable Zones. Site disponível: MDPI, URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/5/836>. Consultado em maio de 2022.
- MADRP, 1997. *Código de boas práticas agrícolas para a proteção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa.
- Matias, C., Moura, S. e Paredes, C., 2022. *Análise e espacialização de dados multi-temporais de variáveis químicas do solo*. Site disponível: Repositório IPVC, URL: http://repositorio.ipv.pt/bitstream/20.500.11960/2774/1/Matias_Carina_16847.pdf. Consultado em fevereiro de 2023.
- Michigan Commission of Agriculture & Rural Development, 2022. *Generally accepted agricultural and management practices for manure management and utilization*. Site disponível: State of Michigan, URL: <https://www.michigan.gov/-/media/Project/Websites/mdard/documents/environment/rtf/2022-GAAMPs/2022-Manure-Management-and-Utilization-GAAMPs.pdf?rev=1243aaca1fa4426d8736f2b916263c9a>. Consultado em maio de 2022.
- Misselbrook, T., Chadwick, D., Chambers, B., Smith K., Sutton, M. e Dore, C., 2008. *Ammonia mitigation user manual*. Site disponível: AIC, URL: <https://www.agindustries.org.uk/static/f89f983c-0e8f-441d-b1194907bb543897/Ammonia-Mitigation-User-Manual.pdf>. Consultado em dezembro de 2022.
- Møller, H., Sommer, S. e Ahring, B., 2002. *Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions*. Site disponível: Science Direct, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852402000470?via%3DIhub>. Consultado em maio de 2022.
- Möller, K., Schulz, R. e Müller, T., 2010. *Substrate inputs, nutrient flows and nitrogen loss of two centralized biogas plants in southern Germany*. Site disponível: Springer Link, URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-009-9340-1>. Consultado em junho de 2022.

- Moreira, N. e Trindade, H., 2002. *As explorações leiteiras intensivas e o meio ambiente da poluição à valorização*. Vaca Leiteira, Revista da Associação Portuguesa dos Criadores da Raça Frísia, nº85.
- Nogueira, A., Vicente, A. e Leitão, B., 2020. *Zona Vulnerável Esposende – Vila do Conde: Monitorização anual e quadrienal*. Site disponível: Direção regional de agricultura e pescas do Norte, URL: <https://portal.drapnorte.gov.pt/component/phocadownload/category/36gerais?download=201:monitorizacao-da-zona-vulneravel-esposende-vila-conde>. Consultado em novembro de 2022.
- Paul, J., 1999. *Manure Management – Have You Considered Composting?*. Site disponível: University of Alberta, URL: https://wcds.ualberta.ca/wcds/wp-content/uploads/sites/57/wcds_archive/Archive/1999/Manuscripts/Chapt%2030%20-%20Paul.pdf. Consultado em novembro de 2022.
- Paulson, J., Raeth-Knight, M., Linn, J., 2008. *Grass vs. legume forages for dairy cattle*. Site disponível: Midwest Forage Association, URL: <https://www.midwestforage.org/pdf/323.pdf.pdf>. Consultado em novembro de 2022.
- Peppard, G., 2020. *Contract heifer rearing*. Site disponível: Teagasc, URL: <https://www.teagasc.ie/media/website/rural-economy/rural-development/diversification/4-Farm-Management--Contract-Heifer-Rearing.pdf>. Consultado em novembro de 2022.
- Pflimlin, A., Irle, A. e Mirabal, Y., 2006. *Contribution of the dairy herd to nitrogen and phosphorus surplus at regional scale and risks for water quality*. Site disponível: Xunta da Galicia – Consellería do Medio Rural, URL: http://www.ciam.gal/pdf/Green_Dairy.pdf. Consultado em outubro de 2021.
- Phelps, C. e Ryan, D., 2008. *Effluent and manure management database for the Australian dairy industry*. Site disponível: Dairy Australia, URL: <https://cdn-prod.dairyaustralia.com.au/-/media/project/dairy-australia-sites/national-home/resources/2020/07/09/effluent-and-manure-mgt-database-2008/effluent-and-manure-mgt-database-2008.pdf?rev=5fd26b2d178d48418e8abc25939e7e97&hash=4D04AB259462FD443D6E0BCC9B17D8B7>. Consultado em maio de 2022.
- Plunkett, M., Wall, D., Sheil, T. e Bolger, J., 2019. *An assessment of technologies for management and treatment of dairy manure in California's San Joaquin Valley*. Site disponível: The Fertiliser Association of Ireland, URL: <https://www.fertilizer-assoc.ie/wp-content/uploads/2019/02/The-Efficient-Use-of-Phosphorus-In-Agricultural-Soils-Tech-Bulletin-No.-4.pdf>. Consultado em junho de 2022.
- Raison, C., Pflimlin, A. e Le Gall, A., 2006. *Optimisation of environmental practices in a network of dairy farms of the Atlantic Area*. Site disponível: Xunta da Galicia – Consellería do Medio Rural, URL: http://www.ciam.gal/pdf/Green_Dairy.pdf. Consultado em outubro de 2021.
- Robertson, G. e Vitousek, P., 2009. *Nitrogen in agriculture: Balancing the cost of an essential resource*. Site disponível: Annual Reviews, URL: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.enviro.032108.105046>. Consultado em maio de 2022.
- Sadeghpour, A., Ketterings, Q., Godwin, K. e Czymmek, K., 2017. *Shifting from N-based to P-based manure management maintains soil test phosphorus dynamics in a long-term corn and alfalfa rotation*. Site disponível: Research Gate, URL: https://www.researchgate.net/publication/314271310_Shifting_from_N-based_to_P-based_manure_management_maintains_soil_test_phosphorus_dynamics_in_a_long-term_corn_and_alfalfa_rotation. Consultado em maio de 2022.
- San Joaquin Valley Dairy Manure, Technology Feasibility Assessment Panel e California. Air Resources Board, 2005. *An assessment of technologies for management and treatment of dairy manure in California's San Joaquin Valley*. Site disponível: California Air Resources Board, URL: <https://ww2.arb.ca.gov/ag/caf/dairypnl/dmtfaprprt.pdf>. Consultado em novembro de 2022.
- Sheffield, R., 2001. *Lesson 36 - Land application equipment*. Site disponível: Livestock and poultry environmental learning community, URL: https://lpecl.org/wp-content/uploads/2019/03/LES_36.pdf. Consultado em junho de 2022.
- Sheffield, R., Brown, B., Chahine, M., Marti, M., Falen, C. e Bul, A., 2008. *Mitigating high-phosphorus soils*. Site disponível: Semantic Scholar, URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Mitigating->

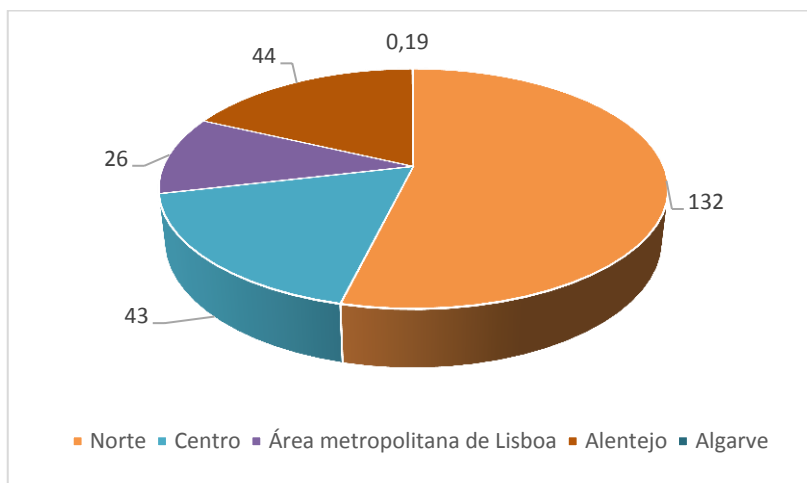
- [High-Phosphorus-Soils-Sheffield-Brown/3e60daff23ba76f40255d31bf809d47d8b07da77](https://www.researchgate.net/publication/309240035_OS_SIG_E_O_PLANEAMENTO_SECTORIAL_E_TERRITORIAL_Plano_de_Ordenamento_da_Bacia_Leiteira_Primaria_de_Entre_Douro_e_Minho). Consultado em junho de 2022.
- Silva, A., D’Eça, P., Alonso, J. e Curado, M., 2007. *Plano de Ordenamento da Bacia Leiteira Primária do Entre Douro e Minho*. Site disponível: Research Gate, URL: https://www.researchgate.net/publication/309240035_OS_SIG_E_O_PLANEAMENTO_SECTORIAL_E_TERRITORIAL_Plano_de_Ordenamento_da_Bacia_Leiteira_Primaria_de_Entre_Douro_e_Minho. Consultado em dezembro de 2022.
- Smith, D., Mukhtar, S. e Stowell, R., 2011. *Advanced application techniques - making the most of your manure responsibly*. Site disponível: Agriculture & Life Sciences – Texas A&M, URL: <http://baen.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/24/2017/01/EBN-007.-Advanced-Application-Techniques.-Making-the-Most-of-Your-Manure-Responsibility.pdf>. Consultado em julho de 2012.
- Soares, J., Miguel, J., Ribeiro, K., Freixial, P., Machado, B., Pombo, S., Correia, N., Machado, P., Quadrado, M., Gomes, M., Passeiro, I. e Fonseca, P., 2022. ENEAPAI 2030 – *Estratégia nacional para os efluentes agropecuários e agroindustriais*. Site disponível: Agência Portuguesa do Ambiente, URL: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Agua/DRH/ParticipacaoPublica/ENEAPAI/ENEAPAI_2030_TomoI.pdf. Consultado em março de 2022.
- Sommer, S. e Hutchings, H., 2013. *Ammonia emission from field applied manure and its reduction*. Site disponível: Science Direct, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030101001125>. Consultado em julho de 2022.
- Sudduth, J. e Loveless, M., s/d. *Decreasing nitrogen and phosphorus excretion by dairy cattle*. Site disponível: Clemson University, URL: https://www.clemson.edu/extension/camm/manuals/dairy/dch3b_04.pdf. Consultado em julho de 2022.
- Sustainable Conservation, 2017. *Compost: enhancing the value of manure*. Site disponível: Sustainable Conservation, URL: <https://suscon.org/pdfs/compostreport.pdf>. Consultado em novembro de 2022.
- Sutton, A. e Lander, C., 2003. *Feed and Animal Management for Dairy Cattle*. Site disponível: United States Department of Agriculture, URL: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=45304.wba>. Consultado em junho de 2022.
- Tamm, K., Vettik, R., Viil, P. e Võsa, T., 2016. *Comparative survey of manure spreading technologies*. Site disponível: Eesti Põllumajandus-Kaubanduskoda, URL: https://epkk.ee/wp-content/uploads/2016/11/Manure-spreading-technologies_Report.pdf. Consultado em junho de 2022.
- Teagasc, 2013. *Guidelines for the contract rearing of replacement heifers*. Site disponível: Teagasc, URL: <https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2013/GuidelinesContractRearingReplacementHeifers.pdf>. Consultado em novembro de 2022.
- USDA, 1993. *Contract heifer raising*. Site disponível: Animal and Plant Health Inspection Service – USDA, URL: https://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/dairy/downloads/ndhep/NDHEP_ContractRaising.pdf. Consultado em novembro de 2022.
- Weidema, B., Wesnaes, M., Hermansen, J., Kristesen, T., Halberg, N., Eder, P. e Delgado, L., 2000. *The environmental impact of dairy production in the EU: practical options for the improvement of the environmental impact*. Site disponível: European Commission, URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC46650>. Consultado em maio de 2023.
- Weiss, W. e St-Pierre, N., 2010. *Feeding strategies to decrease manure output of dairy cows*. Site disponível: Western Canadian Dairy Seminar, URL: https://wcds.ualberta.ca/wcds/wp-content/uploads/sites/57/wcds_archive/Archive/2010/Manuscripts/p229-237Weiss.pdf. Consultado em novembro de 2022.
- Wortmann, C. e Shapiro, C., 2012. *Composting manure and other organic materials*. Site disponível: University of Nebraska-Lincoln, URL: <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1315.pdf>. Consultado em dezembro de 2022.

8. LEGISLAÇÃO REFERENCIADA

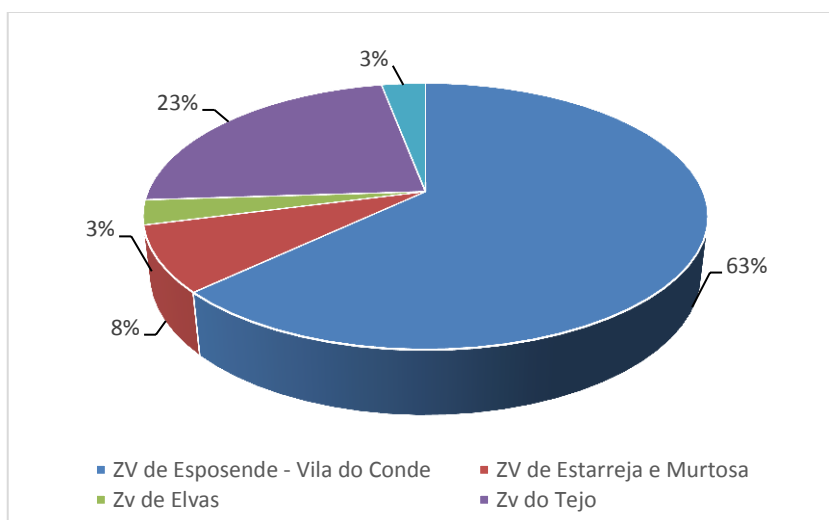
- Decreto-Lei n.º 81/2013 de 14 de junho estabelece o regime do exercício da atividade pecuária nas explorações pecuárias, entrepostos e centros de agrupamentos, bem como o regime a aplicar às atividades de gestão, por valorização ou eliminação, dos efluentes pecuários, anexas a explorações ou em unidades autónomas.
- Diretiva 75/440/CEE de 16 de julho de 1975 tem como objetivo estabelecer os requisitos a que deve satisfazer, após a aplicação de tratamentos apropriados, a qualidade das águas superficiais utilizadas, ou destinadas a serem utilizadas, para a produção de água potável.
- Diretiva 91/676/CEE de 12 de dezembro de 1991 tem como por objetivo reduzir a poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola e impedir a propagação da referida poluição.
- Portaria n.º 1037/1997 de 1 de outubro de 1997 exige a identificação das águas poluídas por nitratos de origem agrícola e das águas suscetíveis de o virem a ser se não forem tomadas medidas preventivas. Exige ainda a identificação das áreas que drenam para aquelas águas, designadas por “zonas vulneráveis”.
- Portaria n.º 631/2009 de 9 de junho de 2009 que estabelece as normas regulamentares para a gestão de efluentes das atividades pecuárias e as normas técnicas a observar no âmbito do licenciamento das atividades de valorização agrícola ou de transformação de efluentes pecuários.
- Portaria n.º 259/2012 de 28 de agosto de 2012 estabelece o programa de ação para as zonas vulneráveis de Portugal continental.
- Portaria n.º 79/2022 de 3 de fevereiro de 2022 que estabelece as novas normas regulamentares para as atividades de gestão, por valorização ou eliminação, dos efluentes pecuários, em unidades autónomas ou anexas a explorações pecuárias, nomeadamente, as unidades de compostagem, as unidades técnicas, as unidades de produção de biogás, as unidades de tratamento térmico e as estações de tratamento, de efluentes pecuários.

ANEXOS

Anexo I - Distribuição por NUT II do número de CN de bovinos (mil CN) em regime intensivo (Soares *et al.*, 2022).



Anexo II - Distribuição das CN de bovinos em regime intensivo nas cinco Zonas Vulneráveis Nitratos mais representativas de Portugal (Soares *et al.*, 2022).



Anexo III - Lista dos 10 Concelhos com maior número de CN de bovinos em regime intensivo (Soares *et al.*, 2022).

Concelho	Total (CN)
Barcelos	32.797
Vila do Conde	30.055
Póvoa de Varzim	13.514
Vila Nova Famalicão	9.557
Palmela	9.245
Moita	5.217
Estarreja	5.046
Setúbal	4.861
Santarém	4.785
Murtosa	4.722

Anexo IV - Lista dos 10 concelhos com maior produção de efluentes de bovinos em regime intensivo (Soares *et al.*, 2022).

Concelho	Volume total (m³)	Área agrícola e florestal (ha)	Efluente pecuário disponível (m³/ha)
Barcelos	551.877,60	25.223	21,88
Vila do Conde	499.800,69	9.767	51,17
Povoa de Varzim	226.358,55	3.787	59,77
Vila Nova Famalicão	159.378,99	10.293	15,48
Palmela	156.901,26	35.135	4,47
Setúbal	92.967,30	6.997	13,29
Moita	87.133,47	1.477	58,99
Estarreja	85.743,99	6.118	14,02
Murtosa	79.596,75	3.238	24,58
Ovar	76.808,67	8.754	8,77

Anexo V - Lista dos 10 Concelhos com maior produção de azoto de origem animal (kg/ano) não incluindo bovinos e suínos em regime extensivo (Soares *et al.*, 2022).

Concelho	N total (kg)
Barcelos	1.438.515
Leiria	1.387.092
Vila do Conde	1.307.687
Alcobaça	1.278.771
Montemor-o-Novo	1.111.199
Rio Maior	1.065.160
Palmela	878.275
Montijo	649.768
Santiago do Cacém	630.912
Póvoa de Varzim	612.760

Anexo VI- Lista dos 10 Concelhos com maior produção de fósforo de origem animal (kg) não incluindo bovinos e suínos em regime extensivo (Soares *et al.*, 2022).

Concelho	P total (kg)
Leiria	1.473.274
Alcobaça	1.359.905
Rio maior	1.123.676
Montemor-o-Novo	1.090.528
Barcelos	1.012.645
Vila do Conde	924.919
Palmela	768.422
Montijo	665.147
Santiago do Cacém	615.292
Santarém	584.963

Anexo VII - Lista dos 10 concelhos com maior quantidade de azoto de origem pecuária anual em excesso, considerando que 50% das necessidades das culturas agroflorestais são supridas com origem nos efluentes pecuários: não incluindo os bovinos e suínos em regime extensivo (Soares *et al.*, 2022).

Concelho	Zona vulnerável	Azoto total (kg)	Azoto total (kg/ha)
Leiria		1.201 3.94	34,27
Alcobaça		1.175 .102	51,5
Rio Maior		925.765	50,51
Vila do Conde	Esposende - Vila do Conde	885.007	90,61
Montemor-o-Novo		830.389	6,54
Barcelos	Esposende - Vila do Conde	744.792	29,53
Póvoa de Varzim	Esposende - Vila do Conde	446.794	117,97
Torres Vedras		389.572	19,86
Setúbal		318.503	45,52
Vila Nova de Famalicão		300.769	29,22

Anexo VIII - Lista dos 10 concelhos com maior quantidade de fósforo de origem pecuária anual em excesso, considerando que 50% das necessidades das culturas agroflorestais são supridas com origem nos efluentes pecuários: não incluindo os bovinos e suínos em regime extensivo (Soares *et al.*, 2022).

Concelho	Zona Vulnerável Nitratos	P₂O₅ total (kg)	P₂O₅ total (kg/ha)
Leiria		1 364 791	38,93
Alcobaça		1 297 482	56,86
Rio Maior		1 042 631	56,88
Vila do Conde	Esposende -Vila do Conde	754 372	77,24
Barcelos	Esposende -Vila do Conde	728 946	28,9
Torres Vedras		421 878	21,51
Póvoa de Varzim	Esposende -Vila do Conde	373 739	98,68
Montijo	Tejo	314 878	9,96
Palmela	Tejo	302 832	8,62
Vila Nova de Famalicão		268 557	26,09

Anexo IX - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2011 (kg/m³).

Exploração	N_{total}	N_{disponível}	P₂O₅	K₂O	Relação N: P₂O₅
EBL_BAR1	1,82	1,14	1,31	2,35	0,9
EBL_BAR2	2,79	1,74	1,47	3,93	1,2
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	2,37	1,48	1,9	2,83	0,8
EBL_BAR6 ⁽²⁾	2,72	1,7	1,43	3,53	1,2
EBL_BAR7	2,3	1,44	1,41	4,58	1,0
EBL_BAR8	3,25	2,03	1,66	6,07	1,2
EBL_BAR10	2,94	1,85	1,57	4,22	1,2
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	2,13	1,34	1,54	2,49	0,9
EBL_BAR12	2,63	1,64	1,43	6,27	1,1
EBL_BAR13	2,97	1,86	1,54	3,92	1,2
EBL_BAR14	2,61	1,62	1,44	4,45	1,1
EBL_BAR15	3,14	1,94	1,07	3,67	1,8
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	3,38	2,06	2,89	3,84	0,7
EBL_BAR17	3,93	2,41	0,68	1,15	3,5
EBL_BAR18 ⁽²⁾	4,59	2,8	0,65	1,45	4,3
EBL_BAR19	2,99	1,85	2,12	2,78	0,9
EBL_BAR20	2,82	1,76	1,63	4,46	1,1

Anexo X - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2016 (kg/m³).

Exploração	N_{total}	N_{disponível}	P₂O₅	K₂O	Relação N: P₂O₅
EBL_BAR1	1,90	1,23	1,40	2,51	0,88
EBL_BAR2	2,08	1,34	1,39	2,25	0,96
EBL_BAR3	2,40	1,54	1,90	3,40	0,81
EBL_BAR4	1,87	1,22	1,70	3,36	0,72
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	2,15	1,40	1,57	2,03	0,89
EBL_BAR6 ⁽²⁾	1,86	1,28	1,60	2,01	0,80
EBL_BAR7	2,04	1,30	1,54	2,53	0,84
EBL_BAR8	2,13	1,38	1,60	2,91	0,86

⁽¹⁾ Exploração em ZVN.

⁽²⁾ Exploração com separador de frações.

Anexo XI - Composição química dos efluentes pecuários produzidos nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2022 (kg/m³).

Exploração	N_{total}	N_{disponível}	P₂O₅	K₂O	Relação N: P₂O₅
EBL_BAR1	1,23	0,81	1,22	3,67	0,66
EBL_BAR3	2,28	1,47	1,47	8,28	1,00
EBL_BAR4	1,45	0,97	0,91	2,98	1,07
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	2,05	1,34	1,00	4,58	1,34
EBL_BAR6 ⁽²⁾	1,57	1,09	1,01	4,37	1,08
EBL_BAR7	1,18	0,81	0,82	2,54	0,99
EBL_BAR8	1,79	1,18	0,98	3,67	1,20
EBL_BAR9	2,12	1,39	1,19	5,20	1,17
EBL_BAR10	2,02	1,33	1,32	6,51	1,01

Anexo XII - Indicadores produtivos e características das explorações de bovinos de leite da amostra.

Exploração	Área SAU (ha)	Total de CN	Encabeçamento (CN/ha)	Nº vacas produção > 7 ton	Nº vacas produção < 7 ton	Vacas em produção (CN)	Vacas em produção (%)	Animais p/reposição (%)
EBL_BAR1	13,95	116	8,3		90	90	77%	23%
EBL_BAR2	21,67	180	8,3	101	10	131	73%	27%
EBL_BAR3	33,81	232	6,9	130	30	186	80%	20%
EBL_BAR4	49,78	307	6,2	213		256	83%	17%
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	24,49	116	4,7	72	10	96	83%	17%
EBL_BAR6 ⁽¹⁾	47,36	434	9,2	289		347	80%	20%
EBL_BAR7	15,12	110	7,3	58	10	80	72%	28%
EBL_BAR8	27,76	228	8,2	120	21	165	72%	28%
EBL_BAR9	16,16	148	9,1	75	18	108	73%	27%
EBL_BAR10	16,08	128	8,0	72	13	99	78%	22%
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	17,69	116	6,6	62	15	89	77%	23%
EBL_BAR12	22,75	130	5,7	70	16	100	77%	23%
EBL_BAR13	9,88	66	6,7	40	4	52	78%	22%
EBL_BAR14	9,3	71	7,6	36	9	52	74%	26%
EBL_BAR15	11,6	94	8,1	48	11	69	73%	27%
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	16,42	125	7,6	67	13	93	75%	25%
EBL_BAR17	13,76	59	4,3		40	40	68%	32%
EBL_BAR18 ⁽²⁾	23,34	213	9,1	150		180	85%	15%
EBL_BAR19	17	100	5,9	59	8	79	79%	21%
EBL_BAR20	8,67	64	7,4	34	8	49	76%	24%

Anexo XIII - Produtividade de leite e grau de intensificação das explorações de bovinos de leite da amostra.

Exploração	Exploração (kg/ano)	Vaca (kg/CN/ano)	Área de SAU (kg/ha/ano)	Grau de intensificação
EBL_BAR1	566.988	6.299,9	40.644,3	Muito intensivo
EBL_BAR2	857.990	6.539,6	39.593,4	Intensivo
EBL_BAR3	1.189.970	6.397,7	35.195,8	Intensivo
EBL_BAR4	1.597.500	6.250,0	32.091,2	Intensivo
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	589.990	6.120,2	24.091,1	Médio
EBL_BAR6 ⁽¹⁾	2.167.500	6.250,0	45.766,5	Muito intensivo
EBL_BAR7	484.990	6.092,8	32.076,1	Intensivo
EBL_BAR8	1.049.982	6.363,5	37.823,6	Intensivo
EBL_BAR9	667.479	6.180,4	41.304,4	Muito intensivo
EBL_BAR10	640.987	6.448,6	39.862,4	Intensivo
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	539.985	6.040,1	30.524,9	Intensivo
EBL_BAR12	639.984	6.399,8	28.131,2	Médio
EBL_BAR13	319.996	6.153,8	32.388,3	Intensivo
EBL_BAR14	332.991	6.379,1	35.805,5	Intensivo
EBL_BAR15	438.989	6.399,3	37.843,9	Intensivo
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	600.987	6.434,6	36.600,9	Intensivo
EBL_BAR17	217.495	5.437,4	15.806,3	Reduzido
EBL_BAR18 ⁽²⁾	1.200.000	6.666,7	51.413,9	Muito intensivo
EBL_BAR19	511992	6497,4	30.117,2	Intensivo
EBL_BAR20	311992	6393,3	35.985,2	Intensivo

Anexo XIV - Quantidade de pentóxido de fósforo e óxido potássio disponível nos EP para valorização agronômica no ano de 2011 por cada 1000 kg leite produzido.

Exploração	P₂O₅	K₂O
EBL_BAR1	4,8	8,7
EBL_BAR2	5,2	13,8
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	6,5	9,7
EBL_BAR6 ⁽²⁾	5,0	12,4
EBL_BAR7	5,3	17,2
EBL_BAR8	6,0	22,1
EBL_BAR10	5,4	14,4
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	5,5	9,0
EBL_BAR12	5,0	21,7
EBL_BAR13	5,5	13,9
EBL_BAR14	5,2	16,1
EBL_BAR15	3,9	13,3
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	10,0	13,4
EBL_BAR17	2,8	4,8
EBL_BAR18 ⁽²⁾	2,1	4,6
EBL_BAR19	7,3	9,5
EBL_BAR20	5,7	15,6

Anexo XV - Quantidade de pentóxido de fósforo e óxido potássio disponível nos EP para valorização agronômica no ano de 2016 por cada 1000 kg leite produzido.

Exploração	P₂O₅	K₂O
EBL_BAR1	5,2	9,3
EBL_BAR2	4,9	7,9
EBL_BAR3	6,4	11,4
EBL_BAR4	5,8	11,4
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	5,4	7,0
EBL_BAR6 ⁽²⁾	5,6	7,1
EBL_BAR7	5,8	9,5
EBL_BAR8	5,8	10,6

Anexo XVI - Quantidade de pentóxido de fósforo e óxido potássio disponível nos EP para valorização agronómica no ano de 2022 por cada 1000 kg leite produzido.

Exploração	P₂O₅	K₂O
EBL_BAR1	4,5	13,5
EBL_BAR3	4,9	27,7
EBL_BAR4	3,1	10,1
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	3,4	15,8
EBL_BAR6 ⁽²⁾	3,6	15,4
EBL_BAR7	3,1	9,6
EBL_BAR8	3,6	13,3
EBL_BAR9	4,4	19,1
EBL_BAR10	4,5	22,2

Anexo XVII - Volume de efluente pecuário gerado e capacidade de armazenamento nas explorações de bovinos de leite da amostra.

Exploração	Produzido (m ³ /ano)	Armazenamento (m ³)	Capacidade armazenamento			
			%	Nº meses	m ³ /CN	m ³ /ha
EBL_BAR1	2089,5	941,5	45	5	8,1	67,5
EBL_BAR2	3018,3	1414,2	47	6	7,9	65,3
EBL_BAR3	3978,4	1848,8	46	6	8,0	54,7
EBL_BAR4	5405	3821,3	71	8	12,5	76,8
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	2029,4	1038,5	51	6	9,0	42,4
EBL_BAR6 ⁽¹⁾	7621,1	2709,4	36	4	6,2	57,2
EBL_BAR7	1823,9	941,9	52	6	8,6	62,3
EBL_BAR8	3817,9	1545,6	40	5	6,8	55,7
EBL_BAR9	2446,2	1101,1	45	5	7,5	68,1
EBL_BAR10	2184,9	1161,8	53	6	9,1	72,3
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	1943,7	1372,5	71	8	11,8	77,6
EBL_BAR12	2216,4	1128,9	51	6	8,7	49,6
EBL_BAR13	1133,7	474	42	5	7,1	48,0
EBL_BAR14	1205,5	499,8	41	5	7,1	53,7
EBL_BAR15	1591,5	657,5	41	5	7,0	56,7
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	2089,5	1252,4	60	7	10,1	76,3
EBL_BAR17	909,8	521,7	57	7	8,9	37,9
EBL_BAR18 ⁽²⁾	3842,8	2227,2	58	7	10,5	95,4
EBL_BAR19	1755,6	732	42	5	7,3	43,1
EBL_BAR20	1091,5	486,9	45	5	7,6	56,2

Anexo XVIII - Volume de chorume valorizado nas explorações de bovinos de leite da amostra (m3/ha/ano).

Exploração	Volume	Área de SAU (ha)
EBL_BAR1	-	-
EBL_BAR2	-	-
EBL_BAR3	-	-
EBL_BAR4	1560,0	13,73
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	-	-
EBL_BAR6 ⁽¹⁾	2968,9	18,45
EBL_BAR7	360,0	5,33
EBL_BAR8	1590,0	13,59
EBL_BAR9	365,0	3,61
EBL_BAR10	-	-
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	1241,0	7,69
EBL_BAR12	350,0	3,78
EBL_BAR13	249,0	1,34
EBL_BAR14	350,0	2,68
EBL_BAR15	154,0	1,10
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	-	-
EBL_BAR17	-	-
EBL_BAR18 ⁽²⁾	635,5	3,86
EBL_BAR19	260,0	8,28
EBL_BAR20	47,0	0,34

Anexo XIX -Volume de efluente pecuário valorizado agronomicamente por cultura (m3/ha/ano).

Exploração	Milho	Azevém	Total
EBL_BAR1	89,9	59,9	149,8
EBL_BAR2	83,6	55,7	139,3
EBL_BAR3	70,6	47,1	117,7
EBL_BAR4	65,1	43,4	108,6
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	49,7	33,1	82,9
EBL_BAR6 ⁽¹⁾	96,6	64,4	160,9
EBL_BAR7	72,4	48,3	120,6
EBL_BAR8	82,5	55,0	137,5
EBL_BAR9	90,8	60,5	151,4
EBL_BAR10	81,5	54,4	135,9
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	65,9	44,0	109,9
EBL_BAR12	58,5	39,0	97,4
EBL_BAR13	68,8	45,9	114,7
EBL_BAR14	77,8	51,8	129,6
EBL_BAR15	82,3	54,9	137,2
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	76,4	50,9	127,3
EBL_BAR17	39,7	26,4	66,1
EBL_BAR18 ⁽²⁾	98,8	65,9	164,6
EBL_BAR19	62,0	41,3	103,3
EBL_BAR20	75,5	50,4	125,9

Anexo XX - Fertilidade do solo, produtividade e necessidades nutricionais das culturas produzidas nas explorações de bovinos de leite da amostra.

Exploração	Fertilidade do solo (ppm)		Produtividade (ton/ha)		Milho				Azevém		Relação N: P ₂ O ₅	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	Milho	Azevém	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Milho	Azevém
EBL_BAR1	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR2	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR3	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR4	151-200	151-200	80	40	320	80	0	140	0	0	4,0	-
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	121-150	151-200	70	40	275	80	0	140	0	0	3,4	-
EBL_BAR6 ⁽¹⁾	81 -120	121 -150	90	40	340	140	120	140	30	0	2,4	4,7
EBL_BAR7	81 -120	151 -200	70	40	275	100	0	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR8	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR9	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR10	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR12	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR13	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR14	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR15	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR17	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR18 ⁽²⁾	121-150	151-200	80	40	320	100	0	140	0	0	3,2	-
EBL_BAR19	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7
EBL_BAR20	81 -120	121 -150	70	40	275	100	90	140	30	0	2,8	4,7

Anexo XXI - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP calculado pela utilização da composição química dos EP de bovinos de leite utilizada no PGEP (kg/ha/ano).

PGEP	Quantidade disponibilizada			Balanço agronómico		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Exploração						
EBL_BAR1	359,5	134,8	434,4	-55,5	4,8	344,4
EBL_BAR2	334,3	125,4	403,9	-80,7	-4,6	313,9
EBL_BAR3	282,4	105,9	341,2	-132,6	-24,1	251,2
EBL_BAR4	260,6	97,7	314,9	-199,4	17,7	314,9
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	198,9	74,6	240,3	-216,1	-5,4	240,3
EBL_BAR6 ⁽¹⁾	386,2	144,8	466,7	-93,8	-25,2	346,7
EBL_BAR7	289,5	108,6	349,8	-125,5	-21,4	349,8
EBL_BAR8	330,1	123,8	398,8	-84,9	-6,2	308,8
EBL_BAR9	363,3	136,2	439,0	-51,7	6,2	349,0
EBL_BAR10	326,1	122,3	394,0	-88,9	-7,7	304,0
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	263,7	98,9	318,6	-151,3	-31,1	228,6
EBL_BAR12	233,8	87,7	282,5	-181,2	-42,3	192,5
EBL_BAR13	275,4	103,3	332,8	-139,6	-26,7	242,8
EBL_BAR14	311,1	116,7	375,9	-103,9	-13,3	285,9
EBL_BAR15	329,3	123,5	397,9	-85,7	-6,5	307,9
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	305,4	114,5	369,0	-109,6	-15,5	279,0
EBL_BAR17	158,7	59,5	191,7	-256,3	-70,5	101,7
EBL_BAR18 ⁽²⁾	395,1	148,2	477,5	-64,9	48,2	477,5
EBL_BAR19	247,8	92,9	299,5	-167,2	-37,1	209,5
EBL_BAR20	302,1	113,3	365,1	-112,9	-16,7	275,1

Anexo XXII - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP e calculado pela utilização da composição química dos EP produzido nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2011 (kg/ha/ano).

Exploração	Quantidade disponibilizada			Balanço agronómico		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
EBL_BAR1	170,8	196,2	352,0	-244,2	66,2	262,0
EBL_BAR2	242,4	204,7	547,4	-172,6	74,7	457,4
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	122,6	157,4	234,5	-292,4	77,4	234,5
EBL_BAR6 ⁽²⁾	273,6	230,1	568,0	-206,4	60,1	448,0
EBL_BAR7	173,7	170,1	552,5	-241,3	40,1	552,5
EBL_BAR8	279,2	228,3	834,8	-135,8	98,3	744,8
EBL_BAR10	251,4	213,3	573,4	-163,6	83,3	483,4
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	147,2	169,2	273,6	-267,8	39,2	183,6
EBL_BAR12	159,8	139,3	610,8	-255,2	9,3	520,8
EBL_BAR13	213,4	176,7	449,8	-201,6	46,7	359,8
EBL_BAR14	210,0	186,7	576,8	-205,0	56,7	486,8
EBL_BAR15	266,2	146,8	503,5	-148,8	16,8	413,5
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	262,1	367,8	488,7	-152,9	237,8	398,7
EBL_BAR17	159,3	45,0	76,0	-255,7	-85,0	-14,0
EBL_BAR18 ⁽²⁾	461,0	107,0	238,7	1,0	7,0	238,7
EBL_BAR19	191,1	218,9	287,1	-223,9	88,9	197,1
EBL_BAR20	221,6	205,2	561,5	-193,4	75,2	471,5

Anexo XXIII - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP calculado e pela utilização da composição química dos EP produzido nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2016 (kg/ha/ano).

Exploração	Quantidade disponibilizada			Balanço agronómico		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
EBL_BAR1	184,2	209,7	376,0	-230,8	79,7	286,0
EBL_BAR2	186,6	193,6	313,4	-228,4	63,6	223,4
EBL_BAR3	181,2	223,6	400,1	-233,8	93,6	310,1
EBL_BAR4	132,5	184,6	364,8	-327,5	104,6	364,8
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	116,0	130,1	168,2	-299,0	50,1	168,2
EBL_BAR6 ⁽²⁾	206,0	257,5	323,4	-274,0	87,5	203,4
EBL_BAR7	156,8	185,8	305,2	-258,2	55,8	305,2
EBL_BAR8	189,8	220,1	400,2	-225,2	90,1	310,2

Anexo XXIV - Balanço agronómico de nutrientes resultante da VAEP e calculado pela utilização da composição química dos EP produzido nas explorações de bovinos de leite da amostra no ano de 2022 (kg/ha/ano).

Exploração	Quantidade disponibilizada			Balanço agronómico		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
EBL_BAR1	121,3	182,7	549,7	-293,7	52,7	459,7
EBL_BAR3	173,0	173,0	974,3	-242,0	43,0	884,3
EBL_BAR4	105,3	98,8	323,6	-354,7	18,8	323,6
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	111,0	82,9	379,5	-304,0	2,9	379,5
EBL_BAR6 ⁽²⁾	175,4	162,5	703,2	-304,6	-7,5	583,2
EBL_BAR7	97,7	98,9	306,4	-317,3	-31,1	306,4
EBL_BAR8	162,3	134,8	504,7	-252,7	4,8	414,7
EBL_BAR9	210,4	180,1	787,1	-204,6	50,1	697,1
EBL_BAR10	180,7	179,4	884,6	-234,3	49,4	794,6

Anexo XXV - Valorização agronómica de efluente pecuário nas explorações de bovinos da amostra no ano de 2011 (m³/ha/ano).

Exploração	Volume valorizado	Volume adequado	Volume em excesso	Excesso (%)
EBL_BAR1	149,8	99,2	50,5	34%
EBL_BAR2	139,3	88,4	50,8	37%
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	82,9	42,1	40,8	49%
EBL_BAR6 ⁽²⁾	160,9	118,9	42,0	26%
EBL_BAR7	120,6	92,2	28,4	24%
EBL_BAR8	137,5	78,3	59,2	43%
EBL_BAR10	135,9	82,8	53,1	39%
EBL_BAR11 ⁽¹⁾	109,9	84,4	25,5	23%
EBL_BAR12	97,4	90,9	6,5	7%
EBL_BAR13	114,7	84,4	30,3	26%
EBL_BAR14	129,6	90,3	39,3	30%
EBL_BAR15	137,2	121,5	15,7	11%
EBL_BAR16 ⁽¹⁾	127,3	45,0	82,3	65%
EBL_BAR18 ⁽²⁾	164,6	153,8	10,8	7%
EBL_BAR19	103,3	61,3	41,9	41%
EBL_BAR20	125,9	79,8	46,1	37%

Anexo XXVI - Valorização agronômica de efluente pecuário nas explorações de bovinos da amostra no ano de 2016 (m3/ha/ano).

Exploração	Volume valorizado	Volume adequado	Volume em excesso	Excesso (%)
EBL_BAR1	149,8	92,9	56,9	38%
EBL_BAR2	139,3	93,5	45,8	33%
EBL_BAR3	117,7	68,4	49,2	42%
EBL_BAR4	108,6	47,1	61,5	57%
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	82,9	51,0	31,9	39%
EBL_BAR6 ⁽²⁾	160,9	106,3	54,7	34%
EBL_BAR7	120,6	84,4	36,2	30%
EBL_BAR8	137,5	81,3	56,3	41%

Anexo XXVII - Valorização agronômica de efluente pecuário nas explorações de bovinos da amostra no ano de 2022 (m3/ha/ano).

Exploração	Volume valorizado	Volume adequado	Volume em excesso	Excesso (%)
EBL_BAR1	149,8	106,6	43,2	29%
EBL_BAR3	117,7	88,4	29,2	25%
EBL_BAR4	108,6	87,9	20,7	19%
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	82,9	80,0	2,9	3%
EBL_BAR8	137,5	132,7	4,9	4%
EBL_BAR9	151,4	109,2	42,1	28%
EBL_BAR10	135,9	98,5	37,4	28%

Anexo XXVIII - Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado nas explorações da amostra no ano de 2011 (kg/ha/ano).

Exploração	P/ volume valorizado	P/ volume adequado	Aumento	Aumento (%)
EBL_BAR1	244,2	301,9	57,6	24%
EBL_BAR2	172,6	261,1	88,5	51%
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	292,4	352,7	60,3	21%
EBL_BAR6(2)	206,4	277,9	71,5	35%
EBL_BAR7	241,3	282,2	40,9	17%
EBL_BAR8	135,8	256,0	120,2	89%
EBL_BAR10	163,6	261,8	98,2	60%
EBL_BAR11(1)	267,8	301,9	34,1	13%
EBL_BAR12	255,2	265,9	10,7	4%
EBL_BAR13	201,6	258,0	56,4	28%
EBL_BAR14	205,0	268,8	63,7	31%
EBL_BAR15	148,8	179,3	30,5	20%
EBL_BAR16	152,9	322,3	169,5	111%
EBL_BAR18 ⁽²⁾	0,0	29,2	29,2	-
EBL_BAR19	223,9	301,6	77,6	35%
EBL_BAR20	193,4	274,6	81,2	42%

Anexo XXIX - Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado nas explorações da amostra no ano de 2016 (kg/ha/ano).

Exploração	P/ volume valorizado	P/ volume adequado	Aumento	Aumento (%)
EBL_BAR1	230,8	300,8	70,0	30%
EBL_BAR2	228,4	289,7	61,3	27%
EBL_BAR3	233,8	309,6	75,8	32%
EBL_BAR4	327,5	402,6	75,1	23%
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	299,0	343,7	44,7	15%
EBL_BAR6 ⁽²⁾	274,0	344,0	70,0	26%
EBL_BAR7	258,2	305,3	47,1	18%
EBL_BAR8	225,2	302,9	77,7	34%

Anexo XXX - Quantidade de azoto a disponibilizar às culturas pela utilização de fertilizante azotado nas explorações da amostra no ano de 2022 (kg/ha/ano).

Exploração	P/ P/ valorizado	P/ volume adequado	Aumento	Aumento (%)
EBL_BAR1	293,7	328,7	35,0	12%
EBL_BAR3	242,0	285,0	43,0	18%
EBL_BAR4	354,7	374,7	20,0	6%
EBL_BAR5 ⁽¹⁾⁽²⁾	304,0	307,8	3,8	1%
EBL_BAR8	252,7	258,5	5,8	2%
EBL_BAR9	204,6	263,2	58,6	29%
EBL_BAR10	234,3	284,0	49,7	21%