

Práticas para a mitigação do impacto da agropecuária nas alterações climáticas *

Rita Silva, Joana Grácio, Silvia Moreira, Nuno Serra, Ricardo Chagas

Food4Sustainability

A elevada quantidade de gases com efeito de estufa na atmosfera tem origem em diversas áreas como a energia, a indústria, os transportes, os resíduos e águas residuais, a agricultura e outros usos do solo. Em 2017, a agricultura mostrou ser responsável por 8,7% dessas emissões. Nesse mesmo ano, em Portugal, a agricultura contribuiu com 10% para as emissões nacionais dos gases com efeito de estufa. Estes gases acrescem aos naturalmente presentes na atmosfera, reforçando o efeito de estufa com consequências diretas para o aquecimento global. No sentido de combater este problema, urge a necessidade de adotar práticas mais sustentáveis e de pegada carbónica mais reduzida ou nula. A gestão adequada da alimentação animal, das pastagens e dos efluentes permitem reduzir a emissão dos gases com efeito de estufa associadas à agropecuária. Estas práticas de gestão, aliadas à introdução de mudanças estruturais nos sistemas produtivos poderão ser a resposta para controlar a evolução das emissões associadas a este setor.

Keywords: Agro-pecuária; Gases com efeito de estufa; Alterações climáticas; Manipulação da dieta; Efluentes; Biogás.

1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas têm um impacto profundo e transversal no mundo como o conhecemos. Um dos fatores que contribui para estas alterações é a emissão excessiva de gases com efeito de estufa (GEE), sendo a sua ocorrência partilhada por diferentes atores e atividades. Em 1992, foi assinada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC) com o objetivo de estabilizar as concentrações de GEE a um nível que evite uma interferência antropogénica. Os GEE são definidos como todos os gases naturais e antropogénicos constituintes da atmosfera, que são capazes de absorver energia sob a forma de calor e libertá-la sob forma de radiação infravermelha para a atmosfera. Além disso, retêm a radiação infravermelha emitida pela superfície da terra, impedindo que parte desta radiação seja libertada para o espaço. Este processo permite a vida na Terra, impedindo que esta se torne demasiado fria. Os principais, e naturais, GEE são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), a que acrescem alguns gases sintéticos como o hexafluoreto de enxofre (SF_6) e hidrocarbonetos perfluorados (PFCs) e hidrofluorcarbonetos (HFCs) (Tribunal de Contas Europeu, 2019).

2 EMISSÕES DE GEE

O aumento da libertação de GEE, resultante das atividades humanas (como atividades industriais e transportes) promove o aumento da temperatura da atmosfera. Em 2018, o setor da energia foi considerado o principal setor emissor de GEE, representando 72,0% do total destas emissões.

*Ricardo Chagas: ricardo.chagas@food4sustainability.org

Seguindo-se o setor da indústria, com 11,1%, e a agricultura, representando 10,1% (INE, 2020). O dióxido de carbono é o principal gás responsável pelo efeito de estufa, sendo que em 2018 representou 76,1% do total de emissões de GEE. Este gás apresenta-se em grandes quantidades devido à elevada utilização de combustíveis fósseis e ao setor da energia. Seguindo-se o metano, com 13,6%, proveniente essencialmente das emissões do setor dos resíduos e águas residuais. Estas emissões de metano estão ligadas aos processos de decomposição anaeróbia de matéria orgânica presente quer nos resíduos, quer nas águas residuais (Anónimo, 2019; INE, 2020). De seguida, encontra-se o óxido nítrico, que em 2010 contribuiu com 6,69% para o total das emissões dos GEE (Anónimo, 2019), proveniente essencialmente do uso de fertilizantes, assim como de combustíveis fósseis. A utilização de gases fluorados (que incluem HFC, PFC e SF₆) é transversal a diversos setores. Estes resultam maioritariamente da sua utilização em equipamentos de refrigeração ou de ar condicionado, sistemas de proteção contra incêndio, unidades de refrigeração de camiões e reboques refrigerados, e comutadores elétricos (Anónimo, 2019). A difusão de responsabilidade e a falta de compromisso relativamente à emissão de GEE levou a atrasos na definição e execução de ações para a sua redução. No entanto, hoje em dia, é inegável que a implementação de medidas de adaptação é um dos fatores críticos para os objetivos de neutralidade carbónica (balanço nulo entre as emissões GEE e as remoções da atmosfera), tanto no que se refere à redução de emissões como à capacidade de sequestro (Anónimo, 2019; Smith & Lampkin, 2019).

2.1 POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (PAG)

Tendo em consideração as diferentes características dos GEE (incluindo eficiência radioativa e tempo de permanência na atmosfera, também conhecido como a sua “vida útil”), a CQNUAC padronizou a comunicação para as emissões de GEE e desenvolveu uma medida única - o Potencial de Aquecimento Global (PAG). O PAG foi desenvolvido para permitir comparações dos impactos do aquecimento global de diferentes gases. É uma medida da quantidade de energia que as emissões de uma tonelada de um gás irão absorver durante um determinado período de tempo, relativamente às emissões de uma tonelada de dióxido de carbono - o gás de referência (Cain et al., 2019; EPA, 2022). Inicialmente estimava-se que o metano tinha um PAG de 28-36 vezes superior ao do CO₂ ao longo de 100 anos. Já o óxido nítrico (N₂O) representa um PAG de 273 vezes superior ao do CO₂, durante o mesmo período de tempo (EPA, 2022). No entanto, existem dados na literatura que sugerem que a metodologia adotada pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para contabilizar o fator de equivalência do potencial de aquecimento do metano, não traduz o potencial aquecimento real deste gás. Posto isto, foi proposto um método alternativo para o cálculo do potencial de aquecimento global do metano. Este novo método, designado por PAG*, supera este problema ao ser possível demonstrar tanto a natureza de curta duração do metano, como o ajustamento de longa duração do sistema climático numa única métrica. Este novo método, em vez de medir uma emissão de impulso de metano contra uma emissão de impulso de dióxido de carbono do mesmo tamanho, utiliza uma abordagem mais fiável que considera as diferenças na forma como os poluentes climáticos de curta duração e os de longa duração aquecem a atmosfera (Cain et al., 2019). A aplicação do PAG* à contabilização das emissões de metano sugere que evitar um maior aquecimento devido às suas emissões na agricultura é mais exequível do que anteriormente entendido. As reduções de metano podem ter um impacto rápido e altamente substancial, o que sublinha a importância de fazer cortes significativos e imediatos nestas emissões (Costa et al., 2021). A versão alterada permite que as emissões de “equivalente a aquecimento por CO₂” (CO₂-we) sejam calculadas diretamente a partir das emissões comunicadas. Assim, os poluentes de curta duração podem ser incorporados diretamente em orçamentos de carbono consistentes com objetivos de temperatura a longo prazo,

porque cada unidade de CO_2 -we emitida gera aproximadamente a mesma quantidade de calor, quer seja emitida como um poluente de curta duração ou de longa duração. Este não é o caso do CO_2 -we derivado convencionalmente.

2.2 AGRICULTURA E O SISTEMA PECUÁRIO

No domínio da pecuária, a emissão de carbono e azoto sob a forma de gases com efeito de estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) ou de amoníaco (NH_3) voltou a ser alvo de muita atenção desde a década de 1980. O amoníaco, embora não seja considerado um GEE, tem uma influência indireta no aumento do efeito de estufa e é indicado como um precursor de emissões de GEE para a atmosfera (Ehhalt et al., 2001). Ao contrário de outras indústrias, que dependem de energia fóssil e insumos de materiais, os GEE provenientes da agricultura partem de um processo biológico que envolve a gestão de ciclos de carbono (C) e azoto (N), onde estes elementos são fixados (capturados) e libertados (Smith & Lampkin, 2019). Hoje em dia, a agricultura e o sistema pecuário são as principais fontes dos GEE de alto impacto, como o metano e óxido nítrico. Em 2017, na União Europeia, o contributo da agricultura no que respeita à emissão de GEE foi de 8,72%, relativamente a todas as áreas analisadas (European Environment Agency, 2021). Nesse mesmo ano, em Portugal, a agricultura contribuiu com 10% para as emissões nacionais dos GEE (Anónimo, 2019). Estas emissões dizem respeito sobretudo ao metano (correspondendo a 40% do total das emissões de CH_4 nacionais), e óxido nítrico (correspondendo a 73% do total das emissões de N_2O nacionais). As fontes de emissão mais relevantes têm origem no setor da produção animal, e representam 83% das emissões totais da agricultura. Os restantes 17% referem-se à utilização de fertilizantes, corretivos calcários e resíduos de culturas não removidos dos solos agrícolas (Anónimo, 2019). A criação de gado, é a fonte primária, responsável por cerca de 50% e 60% das emissões de metano e óxido nítrico induzidas pelo homem, através da fermentação entérica (o processo pelo qual o metano é gerado através da digestão das fibras em ruminantes) e através das perdas de azoto associadas à utilização de estrume e fertilizantes minerais (Smith & Lampkin, 2019). Como tal, tem havido uma crescente consciência do importante papel que estes setores desempenham para assegurar o progresso no sentido da mitigação global da emissão destes gases (Smith & Lampkin, 2019). Os sistemas de produção pecuária exercem diferentes tipos de impacto ambiental dependendo do animal utilizado, do sistema de produção, da dieta dos animais ou da gestão dos efluentes produzidos (Zhang et al., 2016). Há estudos científicos que mostram que a redução da emissão de metano pela pecuária está ligada à melhoria da dieta, à melhoria dos pastos, à suplementação alimentar, à seleção por maior potencial genético de produção e a outras medidas que reflitam uma melhor eficiência produtiva, resultando em menores ciclos de produção (Pedreira et al., 2005). No sentido de alcançar a neutralidade carbónica e consequentemente contribuir para a mitigação das alterações climáticas, existem práticas que podem ser difundidas e aplicadas para que a atividade agropecuária diminua a sua contribuição na emissão de GEE. Neste artigo são apresentados alguns exemplos de práticas ligadas à gestão da alimentação animal, de pastagens e de efluentes que permitem reduzir a emissão de GEE.

3 MANIPULAÇÃO DA DIETA ANIMAL

De entre as estratégias nutricionais de mitigação de GEE, a alteração da dieta dos animais é a abordagem mais praticada. Além de garantir melhor produtividade animal, é também capaz de reduzir as emissões de metano (Haque, 2018). Pedreira et al. (2005) refere vários estudos que indicam que a emissão de metano proveniente da fermentação ruminal depende de vários fatores tais como o tipo de animal, nível de consumo de alimentos, tipo de hidratos de carbono presentes na dieta, processa-

mento da forragem, adição de lípidos no rúmen, suplemento de minerais, manipulação da microflora ruminal e da digestibilidade dos alimentos. As exigências nutricionais dos animais, expressas em energia e proteína, variam maioritariamente segundo a espécie, tamanho corporal, raça, sexo e idade (Rook et al., 2004). Estas exigências são satisfeitas de forma distinta, dependendo das características do alimento colocado à disposição do animal (pastagem, forragem, silagem, concentrados e suplementos) e traduzidas na capacidade de consumo do animal, na qualidade dos ingredientes, nos nutrientes disponíveis (proteína, fibra, energia metabolizável) e na sua digestibilidade (Beauchemin et al., 2020). Johnson and Johnson (1995) demonstraram que quando as dietas são compostas por cerca de 90% de alimentos concentrados, as perdas energéticas rondam os 2 a 3%, o que representa aproximadamente metade do valor normalmente relatado (6%). De forma genérica, dietas que proporcionam alta taxa de digestibilidade reduzem a emissão de metano.

3.1 FERMENTAÇÃO RUMINAL

Os ruminantes têm exigências particulares já que possuem capacidades únicas de digestão. O seu estômago multicavitário constituído pelo rúmen, retículo, omaso e abomaso, permite a utilização de recursos fibrosos que não podem ser usados ou não estão nutricionalmente disponíveis para outros animais (Bacha & Villamide, 2015) transformando-os em produtos de alto valor nutricional, como carne e leite. Existe no rúmen uma população muito importante de microrganismos (bactérias, protozoários e fungos) que têm um impacto significativo na eficiência do sistema digestivo do ruminante (Min et al., 2020). As várias espécies de microrganismos existentes no rúmen utilizam diferentes substratos como fonte de carbono. Por exemplo celulose ou amido, promovendo diferentes perfis de fermentação, originando diferentes produtos. O principal fator que determina o tipo de produto gerado através desta fermentação microbiana é a digestibilidade do alimento. Em 2019, o relatório da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) sobre a emissão de GEE, atribuiu à fermentação entérica dos animais domésticos a maior quota de produção de metano do setor agrícola. A fermentação entérica corresponde a uma fermentação microbiana que produz, maioritariamente, acetato, propionato e butirato. As emissões de metano provenientes da fermentação entérica em animais resultam da produção deste gás como subproduto durante o processo digestivo de hidratos de carbono por microrganismos no sistema digestivo (Bacha & Villamide, 2015). O metano é produzido durante a metanogénese que ocorre durante a fermentação entérica no rúmen (Min et al., 2020). Este processo ocorre especialmente em ruminantes (bovinos, ovinos, caprinos), devido à atividade de microrganismos específicos no seu sistema digestivo superior, mas também em quantidades menores em animais monogástricos: suínos, equinos, aves de capoeira e coelhos (Pereira et al., 2021). Os principais microrganismos envolvidos na metanogénese são protozoários ciliados e arqueobactérias. Alguns estudos mostraram que a fermentação entérica é responsável por mais de 85% do metano produzido em ruminantes (Martin et al., 2010; Min et al., 2020). Estima-se que, nacionalmente, em 2019, os ruminantes foram responsáveis por produzir 120,48 kt de CH_4 [Pereira et al. (2021)]. Em ambiente anaeróbio, condições favoráveis de temperatura, pH e fonte de carbono disponível, estes microrganismos fermentam, digerem e quebram as paredes celulares vegetais, originando um conjunto de ácidos gordos voláteis, como o acético (usado na síntese de gordura), propiónico (usado para síntese de glucose) e o butírico (utilizado pelo animal como fonte de energia) (Bacha & Villamide, 2015).

3.2 QUALIDADE DO ALIMENTO E GESTÃO DA PROPORÇÃO NA DIETA

A composição química da dieta, em particular a qualidade das forragens (maturação e variedade), influencia a produção de metano no rúmen. Forragens de alta qualidade, por exemplo compostas por plantas jovens, podem reduzir a produção de metano alterando a via de fermentação, visto que esta forragem contém uma maior proporção de hidratos de carbono (incluindo o amido) e/ou menor teor de fibras. Pelo contrário, forragens mais maduras induzem um maior rendimento de metano devido a uma maior relação $C : N$, o que diminui a sua digestibilidade (Haque, 2018). Um estudo realizado em vacas leiteiras e bovinos alimentados com silagens produzidas a partir de forragens em diferentes estados de maturação mostrou que forragens mais precoces promovem não só a redução na produção de metano entérico por kg de produto (intensidade de emissão), como aumentam também a produtividade (Åby et al., 2019). Num concentrado, a substituição de açúcares solúveis por amido leva a uma elevada digestibilidade e taxa de absorção mitigando assim a produção de metano e de dióxido de carbono (Mills et al., 2001; Velázquez et al., 2020), indicando que substituir as fontes de fibra por amido na alimentação do gado, providencia uma redução na produção de metano (Kebrab et al., 2010). O mesmo acontece com a substituição da silagem de milho por silagem de erva. Sun (2020) refere vários estudos comparativos com diferentes tipos de forragem. Este estudo concluiu que tanto os ovinos como os bovinos alimentados com diferentes culturas de brássicas forrageiras em diferentes estações como dieta única, ou como componente de uma dieta mista, emitem uma reduzida quantidade de metano. Além disso, o efeito de mitigação não desaparece com a alimentação prolongada. A adição de gordura à dieta tem sido tradicionalmente utilizada para aumentar o conteúdo energético em vacas leiteiras de alta produção, de forma a satisfazer a sua necessidade energética. A par disso, verifica-se também que a substituição de hidratos de carbono por gordura na dieta de um ruminante, leva a uma diminuição das bactérias que digerem as fibras, e por isso diminui a quantidade de metano produzido. Estas gorduras não são metabolizadas no rúmen e, por conseguinte, não contribuem para o processo de metanogénese. Grainger and Beauchemin (2011) relataram que a suplementação de gordura reduz a fermentação de hidratos de carbono devido aos efeitos tóxicos da gordura sobre as bactérias celulolíticas e protozoários, enquanto a fermentação de amido permanece inalterada. Entre os vários ácidos gordos, os de cadeia média ($C8 : C14$) presentes em óleo de côco ou óleo de palma são os mais eficazes na mitigação do metano. Dependendo da mudança e da natureza da intervenção, a nutrição animal é capaz de reduzir as emissões de metano entre 40% a 75% (Haque, 2018).

3.3 SUPLEMENTAÇÃO DIETÉTICA COM EXTRATOS VEGETAIS, ADITIVOS ALIMENTARES E NOVOS INGREDIENTES ALIMENTARES

A utilização de extratos vegetais na dieta animal, constituídos por óleos essenciais, saponinas e taninos tem vindo a aumentar nos últimos anos mostrando potencial em reduzir as emissões de GEE. Um estudo realizado em fezes de cavalos adultos mostra que a combinação de *Saccharomyces cerevisiae* e óleos dietéticos com alta energia digerível - cártamo e óleos de peixe - pode contribuir como estratégia de manipulação dietética para reduzir a produção *in vitro* de GEE [Velázquez et al. (2020)]. A incorporação da macroalga vermelha-marinha *Asparagopsis taxiformis* na dieta dos ruminantes tem um potencial promissor na gestão das emissões de GEE, trazendo benefícios para o ambiente e para a economia. Kinley et al. (2020) e Roque et al. (2021) mostraram que a utilização desta macroalga enquanto ingrediente da ração, proporciona a diminuição da libertação do metano entérico em bovinos, podendo reduzir estas emissões em mais de 80%. Além disso, a adição desta macroalga não revela qualquer efeito negativo quando ingerida diariamente na eficiência de conver-

são alimentar ou função ruminante, sendo que também não foram detetados resíduos ou alterações de qualidade nem do sabor da carne. Com o mesmo objetivo, Machado et al. (2016) realizou ensaios *in vitro* para otimizar a dosagem das macroalgas *A. taxiformis* e *Oedogonium* sp., individualmente e em combinação. A *A. taxiformis* mostrou-se mais eficaz na diminuição da produção de metano que a *Oedogonium* sp., e a combinação de ambas continuou a suprimir a produção de metano. Estes resultados devem-se ao facto de as algas utilizarem dióxido de carbono dez vezes mais eficientemente do que as plantas terrestres. Para além da evidente vantagem da utilização das algas, o cultivo destas tem outros benefícios, tais como a rápida taxa de produção, acumulação de grandes quantidades de ácidos gordos e hidrocarbonetos e a capacidade de desempenhar um papel no tratamento de resíduos. Produtos obtidos a partir de algas podem ser transformados em produtos de valor acrescentado, como o bio-óleo. Por conseguinte, é uma matéria-prima não vegetal muito promissora para a produção de biocombustível Sorathiya et al. (2014). Os taninos demonstraram, também, ter atividade anti-metanogénica *in vitro*, quer diretamente, através da inibição da metanogénese, quer indiretamente, por inativação de protozoários, diminuindo a taxa de formação de metano (Min et al., 2020). Vários estudos avaliaram a relação entre as dietas ricas em taninos e a produção de metano em ruminantes, tanto *in vivo* como *in vitro* (Beauchemin et al., 2007; Goel & Makkar, 2012; Jayanegara et al., 2012; Min & Solaiman, 2018). Uma meta-análise de Jayanegara et al. (2012), compreendendo 171 tratamentos em ruminantes, mostrou que as dietas contendo taninos ou extratos de taninos reduzem a produção entérica de metano. Da mesma forma, Grainger et al. (2009) mediu os efeitos da suplementação com taninos condensados (TC) extraídos da casca da Acácia-negra, em vacas leiteiras alimentadas a pasto. Verificaram que a suplementação com baixas quantidades de TC (163 g TC d^{-1}) promoveu a redução das emissões de metano em 14%. No mesmo estudo refere-se que uma concentração de TC mais elevada promove resultados positivos na redução das emissões, mas compromete a produtividade de leite. Mesmo em ensaios em que se diminui esta concentração após um determinado período, por exemplo, de 326 g CT/d para 244 g CT/d a partir do dia 17, as emissões foram reduzidas em quase 30%. No entanto, nestas condições a produção de leite também é afetada. Neste sentido, são necessários mais estudos para definir o impacto da redução da produção de metano com a redução da produtividade animal, visto que os produtores de laticínios estarão reticentes em adotar práticas de alimentação que comprometam a sua rentabilidade. A adição de ionóforos, como por exemplo a monensina, que diminui ou inibe seletivamente o crescimento de microrganismos do rúmen, é também utilizada para reduzir as emissões de metano, embora o efeito seja tipicamente de curta duração (cerca de 4-6 semanas), antes de a comunidade microbiana se adaptar ao tratamento (Odongo et al., 2007).

4 GESTÃO DE EFLUENTES

Os efluentes provenientes da pecuária, nomeadamente estrume e águas residuais, aumentam a concentração de GEE na atmosfera, sendo que a quantidade emitida está ligada às condições ambientais, ao tipo de gestão e à composição do estrume (Grossi et al., 2019). No entanto, é possível reduzir a quantidade dos gases libertados pelos dejetos durante o armazenamento e a sua aplicação como fertilizante, resultando num impacto positivo na diminuição da emissão de GEE. No sentido de mitigar estas emissões, a gestão do estrume é um dos focos essenciais para os produtores agropecuários. O crescente aumento da densidade animal juntamente com o fluxo contínuo de nutrientes de alimentos consumidos contribui para o aumento do volume de estrume a ser gerido. Na UE-27, entre 30 e 40% dos excrementos totais do gado permanecem no solo sem qualquer gestão. Mais de metade do estrume é recolhido dos estábulos sob a forma de chorume e/ou líquido, enquanto menos de metade

está em estado sólido e inclui frequentemente material de cama, de estábulos de cama espessa, sistemas baseados em terra e semiestabulados (presos por correntes) com recolha separada de líquidos e sólidos (Oenema et al., 2007). Como tal, existe a necessidade de uma alteração progressiva nos sistemas de gestão de estrumes e efluentes animais que contribuem significativamente para as emissões de GEE (Anónimo, 2019), resultantes da pecuária intensiva, (ex. lagoas anaeróbias) para sistemas que resultam em menores emissões (ex. tanques e compostagem). Alterações nas condições de armazenamento e tratamento de estrume como separação sólido-líquido, tipologia de lagoas e/ou o recurso a digestores, podem providenciar a mitigação dos GEE (Grossi et al., 2019).

4.1 CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO

Segundo a Gerber et al. (2013), globalmente, o estrume armazenado contribui para a emissão de 10% dos GEE de origem agrícola. No entanto, é possível mitigar uma percentagem destas emissões seguindo algumas estratégias (Hristov et al., 2013). A redução da temperatura de armazenamento, por exemplo, através do espalhamento pode reduzir as emissões em 30-50%. Pelo contrário, longos períodos de armazenamento e condições quentes e húmidas aumentam a emissão de GEE (EPA, 2010). Por exemplo, a produção de metano aumenta com o aumento da temperatura do estrume armazenado. A transferência do chorume o mais cedo possível para uma instalação de armazenamento exterior, para um local exterior aos estábulos, pode, também, reduzir as emissões de GEE (Hilhorst et al., 2013). Mohankumar Sajeev et al. (2018) demonstrou que o uso de canais por baixo dos estábulos, que são esvaziados regularmente, com transporte do estrume/chorume para uma instalação de armazenamento exterior promovem a redução potencial de emissões de metano e óxido nítrico em 55% e 41%, respetivamente.

4.2 TRATAMENTO DE ESTRUME

4.2.1 SEPARAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO (SLS)

A separação sólido-líquido (SLS) é uma tecnologia de processamento que separa os sólidos do estrume do líquido, utilizando a gravidade ou sistemas mecânicos, tais como centrífugas ou prensas de filtro. Nesta técnica, o componente orgânico com um maior tamanho de partícula segue o fluxo sólido durante o processo de separação e é depois armazenado em pilhas de stock (Grossi et al., 2019; Hristov et al., 2013). A recolha separada de líquidos e sólidos é uma técnica muito utilizada no Reino Unido, França, Europa Central e Europa de Leste. A maioria dos chorumes/líquidos são armazenados em tanques de betão, aço ou plástico com ou sem tampa (Oenema et al., 2007). Noutros países, como Espanha, Itália, Países Baixos e Bélgica, algum estrume, principalmente de suínos e aves de capoeira, é separado e a fração sólida é seca e exportada. A fração líquida pode ser tratada e descarregada e/ou aplicada nas terras de cultivo (Petersen et al., 2007). Montes et al. (2013), demonstrou que a SLS quando aplicada ao estrume reduz as emissões de GEE em mais de 30% quando comparado com estrume não tratado. Do mesmo modo, Holly et al. (2017) demonstrou que a SLS aplicada ao tratamento de estrume armazenado resulta num forte potencial para a redução das emissões de GEE e de amoníaco. A SLS em comparação com chorume não tratado reduziu as emissões totais de GEE em 31%, com principal impacto para o metano. Embora a atenuação dos GEE no processo de separação sólido-líquido possa ser parcialmente contrabalançada pelas emissões de amoníaco, é importante notar que existem muitas práticas que podem ultrapassar estas questões, tais como a cobertura do armazenamento de chorume no solo (Holly et al., 2017). Deste modo, pode-se verificar que o desafio da gestão do estrume, e especialmente do tratamento deste, está associado com a gestão global da exploração agrícola (Petersen et al., 2007).

4.2.2 GESTÃO DE EFLUENTES EM CONDIÇÕES ANAERÓBIAS E AERÓBIAS

A gestão dos efluentes pode ocorrer em ambientes anaeróbios e aeróbios. Quando o chorume é tratado e armazenado numa lagoa ou tanque coberto, este está submetido a um ambiente anaeróbio (EPA, 2010; Europeia, 1996). A digestão anaeróbia aplicada ao tratamento de estrume armazenado tem sido a tecnologia mais utilizada no tratamento de efluentes pecuários, visto que apresenta um forte potencial para a redução das emissões de GEE, quando comparado com condições aeróbias. O metano produzido por fermentação pode ser recuperado nos digestores (Sorathiya et al., 2014) com uma eficiência que pode atingir os 80%, sendo posteriormente utilizado como biogás (Anónimo, 2019; Europeia, 1996). A digestão anaeróbia é um processo de degradação biológica que, na ausência de oxigénio, decompõe a matéria orgânica através de bactérias específicas, e converte estrume em, maioritariamente, metano e dióxido de carbono (Anónimo, 2019; EPA, 2010; Sorathiya et al., 2014). A emissão de metano das terras de cultivo deve-se principalmente a esta decomposição anaeróbia da matéria orgânica (Hofmann et al., 2016). Battini et al. (2014), realizou um estudo que permitiu analisar os impactos ambientais em explorações leiteiras intensivas na região do Norte de Itália. Verificou-se que a digestão anaeróbia quando aplicada ao tratamento de estrume, permitiu uma redução superior a 35% nas emissões de GEE, enquanto a digestão aeróbia permitiu apenas uma redução de 23%. No mesmo sentido, Holly et al. (2017), mostrou também que a gestão do estrume nas instalações de produção de leite, incluindo a digestão anaeróbia reduziu significativamente as emissões totais de GEE e de amoníaco em 25% quando comparado com o estrume não tratado. Esta redução deve-se essencialmente às emissões de metano durante o armazenamento. Por outro lado, em condições de aerobiose, a produção de óxido nitroso aumenta, enquanto pouco ou nenhum metano é emitido (Grossi et al., 2019; Holly et al., 2017). Estas condições são mantidas, manuseando o estrume regularmente ou através de ar forçado. Como mencionado anteriormente, e apesar das vantagens de utilizar condições aeróbias (a substituição de um gás com efeito de estufa por um outro de menor impacto), neste processo não se obtém nenhum recurso energético e perde-se os benefícios do biogás (Europeia, 1996; Wattiaux et al., 2019).

4.2.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Nas últimas duas décadas, a produção de biogás a partir da degradação da biomassa tem chamado a atenção de diferentes grupos de investigação (Verma & Samanta, 2016). No sentido de reforçar a decomposição anaeróbia da matéria orgânica e maximizar a produção de metano, tendo em vista a sua recuperação, são normalmente utilizados digestores. Digestores anaeróbios dotados de sistemas de recuperação de gás poderão recuperar o metano em 80%, ajudando a diminuir as emissões para a atmosfera (Europeia, 1996). O biogás é um produto da degradação anaeróbia da biomassa proveniente de aterros, estações de tratamento de águas residuais e digestores. Tem origem numa vasta gama de matérias-primas, dependendo dos recursos locais disponíveis, tais como resíduos agrícolas ou culturas energéticas. O biogás produzido consiste em metano (45-75%), dióxido de carbono (25-45%) e outros gases minoritários bem como vapor de água e oxigénio (Bock et al., 2019). O biogás é uma fonte de energia limpa eficiente e renovável, que pode ser utilizada como substituto de combustíveis não renováveis, a fim de poupar energia, principalmente em zonas rurais (Sorathiya et al., 2014). Dependendo das oportunidades locais disponíveis, o biogás é utilizado com várias finalidades, nomeadamente, na produção de calor (ex. para aquecimento urbano), em instalações de produção combinada de calor e eletricidade equipadas com turbinas a gás ou motores a gás; para cogeração de calor e eletricidade; para melhoramento de biometano e co-alimentar redes de distribuição de gás, e para queimar, de forma a evitar emissões nocivas de metano, por exemplo em aterros sanitários (Bock et al., 2019). Em 2014, 58,7 mil milhões de Nm^3 de biogás foram produzidos

em todo o mundo com um conteúdo energético aproximado de 353 TWh (1,27 EJ) dos quais cerca de 50% foram produzidos na Europa (Bock et al., 2019). Este combustível é utilizado principalmente para aplicação doméstica na maioria dos países em desenvolvimento da Ásia e África. Nos países europeus, a produção de biogás foi de 62 mil milhões de kWh em 2006. Entre eles, a Alemanha foi o maior produtor de biogás com 4300 centrais geradoras com uma produção de 0,0016 TW de eletricidade. A Índia e a China são os dois principais países asiáticos que utilizam tecnologia de biogás (Sorathiya et al., 2014). O trabalho de Mekonnen et al. (2017) teve como objetivo desenvolver e otimizar um Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) à escala piloto para o tratamento de águas residuais de curtumes e, conseqüente, redução das emissões de GEE. Este estudo apresenta dados promissores quanto à eficiência na redução da carência química de oxigénio (CQO) e ao rendimento de metano, que se situa no intervalo de 69-85%. Os resultados deste estudo mostraram que a ASBR é eficiente na geração de biogás e na redução da emissão de GEE, ao mesmo tempo que trata águas residuais com elevado CQO e de difícil tratamento (high-strength waste water), incluindo lixiviados de enchimento de terra, lamas municipais e águas residuais de matadouros, de indústrias de laticínios, de fábricas de cerveja e de tratamento de curtumes. O biogás é também uma potencial e interessante fonte para a produção de hidrogénio (H_2). A indústria química de hidrogénio tem muitas aplicações, incluindo o tratamento alimentar, métodos de hidrogenação, produção de amoníaco e metanol, fabrico farmacêutico, entre outros (Abanades et al., 2022).

4.2.4 TÉCNICAS COMBINADAS

A utilização combinada de técnicas de tratamento de estrume pode ajudar a reduzir a emissão dos GEE. Um exemplo disso é o processamento do estrume utilizando a separação sólido-líquido, seguida de digestão anaeróbia. Este método permite uma redução de 68% nas emissões de metano, enquanto o estrume exclusivamente digerido anaerobicamente reduz apenas 25% das emissões deste gás. No entanto, verificou-se um aumento nas emissões de óxido nitroso quando o estrume é processado por separação sólido-líquido, seguido de digestão anaeróbia (5,4 mg N_2O /kg de estrume), em comparação com apenas a separação sólido-líquido (0,4 mg N_2O /kg de estrume) (Holly et al., 2017).

5 INFLUÊNCIA DAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS E DO SOLO NAS EMISSÕES DE GEE

Práticas como a reflorestação ou gestão de prados, redução da lavoura, utilização de inputs naturais, fertilizantes biológicos e efluentes animais (ex. adubo e estrume), sementeira direta, utilização de culturas de cobertura (ex. trevo), rotações de terras aráveis, utilização de pastagens semeadas, criação de zonas húmidas e lagos, irrigação de pastagens ou terras de pastagem são medidas que permitem a mitigação das emissões de GEE, contribuindo ainda para o aumento de sequestro de carbono (Smith & Lampkin, 2019; Tan et al., 2018). O sequestro de carbono no solo acontece quando as plantas capturam e armazenam dióxido de carbono atmosférico. Este é um processo que permite armazenar estrategicamente carbono atmosférico no solo, aumentando a sua matéria orgânica, o que por sua vez leva a uma maior capacidade de retenção de água e a um aumento da fertilidade (Chang et al., 2021). Adicionalmente, estas propriedades permitem às culturas ajustarem-se mais facilmente às condições de seca provocadas pelas alterações climáticas. As características do solo como a textura, pH, capacidade de retenção de água, tipo de cultura e duração da cultura são fatores importantes que determinam as emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso do

ambiente terrestre (Shakoor et al., 2021; Wattiaux et al., 2019). Dependendo do solo onde o estrume é aplicado, este pode potenciar ou reduzir as emissões dos GEE. Por exemplo, as emissões de metano após a aplicação de estrume foram superiores a partir de solos com textura mais argilosa quando comparados com solos de textura mais arenosa. Isto acontece porque os solos agrícolas de textura mais fina têm capacidade de reter maiores quantidades de água, criando condições anaeróbias no solo. Em condições ambientais anaeróbias terrestres, a decomposição biológica da matéria orgânica por metanogénese emite uma quantidade significativa de metano através dos solos agrícolas (Shakoor et al., 2021). O alagamento do ambiente terrestre também proporciona condições anaeróbias, que contribuem para as emissões de metano e de dióxido de carbono (Jorgenson et al., 2006). Além disso, também a temperatura influencia as emissões de GEE. Um estudo realizado por Naser et al. (2007), concluiu que as emissões máximas de metano são emitidas por campos de arroz em regiões com neve. Do mesmo modo, verificou-se que a emissão máxima de óxido nitroso ocorreu perto de 0 °C, ao testar um intervalo de temperaturas entre -1 e 10 °C (Shakoor et al., 2021). Estima-se que melhores práticas de gestão do pastoreio em prados poderiam sequestrar cerca de 409 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2 -eq) por ano (ou 111,5 milhões de toneladas carbono por ano durante um período de 20 anos), globalmente (Gerber et al., 2013), contribuindo positivamente enquanto sumidouro de carbono. Também a utilização de culturas de cobertura tem o potencial de aumentar os níveis de carbono no solo numa série de situações de cultivo, adicionando biomassa ao solo, estando comprovado que esta adoção global de culturas de cobertura pode compensar em 8% as emissões globais de GEE do setor agrícola (Smith & Lampkin, 2019). Estas permitem, também, a redução de espécies infestantes, pode reduzir a erosão do solo, melhorar a fertilidade e qualidade do solo, reduzir doenças e pragas e promover a biodiversidade (Montes et al., 2013). A utilização de pastagens semeadas ou pastagens melhoradas são, também, altamente desejáveis, visto que levam a uma redução das perdas de carbono ou mesmo ao armazenamento de carbono no solo (Carita, 2021; Gattinger et al., 2012). Estes tipos de pastagens são constituídos por um conjunto alargado de espécies e variedades (até 20) de leguminosas e gramíneas, que são acrescentadas àquelas já existentes no local. Estas espécies persistem nas culturas após serem semeadas, mantendo-se por largos períodos de tempo (pelo menos 10 anos), promovendo uma maior adaptação às condições edafoclimáticas, bem como, contribuir para o sequestro de carbono (Hernández Esteban et al., 2017). No entanto, a permanência de uma pastagem, natural ou melhorada, depende sempre do manejo utilizado. A biodiversidade é essencial tanto para a agricultura como para o bem-estar humano. Um estudo realizado por Roese et al. (2020), mostrou que a presença de sistemas agrossilvopastoris, ou seja, a integração de culturas arbóreas e/ou arbustivas (*Eucalyptus* e *Quercus hypoleucooides*) em culturas (soja e milho em rotação) cultivadas, permitiu notar diferença fitossanitária no decurso de 4 anos. A melhoria da fitossanidade foi atribuída, no ensaio agroflorestal (agrosilvopastorícia), ao microclima desenvolvido entre as entrelinhas das árvores e junto às culturas principais. No entanto, é assumido neste estudo e por outros autores que é necessário saber as condições ótimas e adversas ao desenvolvimento dos agentes patógenos para fazer o plano/desenho de plantação.

5.1 AGRICULTURA BIOLÓGICA VS AGRICULTURA CONVENCIONAL

Em contraste com a adoção de práticas únicas de mitigação de GEE, a agricultura biológica, enquanto abordagem sistémica, proporciona outros benefícios tais como a mitigação às alterações climáticas pela diminuição da emissão dos GEE, aumento da biodiversidade e conservação do solo e a melhoria da subsistência rural (Gattinger et al., 2012). O modo de produção biológico promove o aumento da diversidade cultural e natural através da recomendação de várias práticas com o intuito de promover a conservação do solo e a prevenção de pragas e doenças, através do equilíbrio do

sistema (Cappelli et al., 2022). No modo de produção biológico, o rendimento das culturas depende de ciclos fechados de nutrientes, através da devolução de resíduos vegetais e animais (estrupe do gado) à terra e/ou integrando o sistema plantas perenes. Além disto, escolher as espécies de culturas mais adaptadas ao meio, aumentar as rotações de culturas (nomeadamente as que têm uma maior percentagem de leguminosas, gramíneas ou forrageiras com maior capacidade de sequestro de carbono no solo), e promover a aplicação de fertilizantes orgânicos são, também, práticas centrais da agricultura biológica. O modo de produção biológico induz benefícios ambientais tais como a preservação dos recursos naturais e ecológicos, a promoção da biodiversidade, e a melhoria do bem-estar animal. Um estudo realizado por Gattinger et al. (2012), mostra que existem valores significativamente mais elevados de carbono orgânico em solos de agricultura biológica em comparação com a gestão não biológica, pela adoção de práticas regenerativas. O aumento do sequestro de carbono resulta, principalmente, do aumento do teor de matéria orgânica no solo.

5.1.1 PERCEÇÃO DO IMPACTO DA AGROPECUÁRIA NA NEUTRALIDADE CARBÓNICA

No âmbito das II Jornadas de Inovação e Valorização das Raças Autóctones foi realizado um questionário anónimo a um grupo voluntário de participantes. Um dos objetivos deste questionário focou-se na avaliação da perceção do impacto da agropecuária na neutralidade carbónica. Quando questionados sobre as emissões de GEE, 36,4% dos participantes concorda totalmente que o modo de produção animal tem uma influência significativa. Da mesma forma, 48,4% dos inquiridos mostrou-se disposto a alterar as suas práticas para atingir neutralidade carbónica. Algumas das soluções identificadas pelos inquiridos para responder à transição para modos de produção mais sustentáveis baseiam-se na adoção de regimes alimentares que minimizem a utilização de fármacos e/ou emissão de gases, a certificação/acompanhamento da produção e a comercialização de produtos (logística, cadeias de distribuição e outras). Dos inquiridos, 42,2% discorda totalmente que a produção animal tem um impacto negativo para a neutralidade carbónica, enquanto apenas 4,5% concorda totalmente com esta afirmação. O sector pecuário contribui para aproximadamente 14,5% das emissões globais antropogénicas de GEE (FAO, 2019) e é responsável por 64% das emissões globais de amoníaco, na sua maioria provenientes de deposição direta de excrementos nos terrenos (Ouatahar et al., 2021). O metano por sua vez provém principalmente da fermentação entérica, gestão e aplicação de efluentes pecuários nos solos agrícolas e deposição direta de excrementos em pastagens (Grossi et al., 2019; Ouatahar et al., 2021). Os ruminantes representam 75% das emissões globais de dióxido de carbono equivalente do sector pecuário, sendo os bovinos responsáveis pela maior parte destas emissões (Ouatahar et al., 2021).

6 INICIATIVAS NACIONAIS E EUROPEIAS ASSOCIADAS À AGROPECUÁRIA

As práticas agropecuárias enfrentam grandes desafios (económicos e ambientais) face às recentes políticas europeias e estratégias nacionais adotadas que visam a neutralidade carbónica. Em 2019, a Comissão Europeia tornou claro o objetivo de tornar a Europa o primeiro continente climaticamente neutro até 2050, com base em iniciativas como o Pacto Ecológico Europeu. O Pacto Ecológico Europeu, através de iniciativas estratégicas setoriais, pretende apoiar os países a atingir o objetivo da neutralidade climática através de uma transição justa da economia e da sociedade europeias. No que se refere às diferentes iniciativas com impacto na agricultura e produção animal, foram identificados como objetivos a atingir até 2030, nomeadamente através da Estratégia do Prado ao Prato, reduzir em 50% a venda de antibióticos para animais, aumentar para 25% a área utilizada para produção em modo biológico, reduzir em 50% o uso e impacto de pesticidas químicos perigosos,

reduzir em 50% a perda de nutrientes e reduzir em 20% o uso de fertilizantes. No panorama nacional português existem várias estratégias diretamente relacionadas com a agricultura que contribuirão para atingir os objetivos europeus até 2050, como o Plano Nacional Energia e Clima 2030, a Terra Futura - 2030 ou o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050. Como exemplo, o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 identifica os principais condutores de descarbonização para o setor da agricultura, florestas e outros usos do solo, como a agricultura biológica, de conservação e de precisão, pastagens diversas, melhoria da digestibilidade da alimentação animal, melhoria da gestão de efluentes pecuários, redução do uso de fertilizantes sintéticos e sua substituição por compostos orgânicos, diminuição da área ardida assim como a melhoria da produtividade florestal (Anónimo, 2019). A adoção de boas práticas de gestão de pastagens, uso de solo, nutrição, assim como de gestão de efluentes podem, assim, reduzir substancialmente o impacto da exploração agropecuária na emissão de GEE.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o quadro global do impacto da intensificação da produção animal no ambiente se tenha tornado mais claro nos últimos anos, muitas das relações complexas entre os sistemas de produção animal e o impacto ambiental ainda não são bem compreendidas. Isto aplica-se especialmente ao destino dos nutrientes e do carbono presente nos resíduos animais (estrupe). Há uma grande diversidade nos sistemas de produção animal, com diferentes procedimentos referentes à sua gestão. A evolução das emissões de GEE associadas à agricultura está altamente dependente da introdução de mudanças estruturais e dos tipos de gestão utilizados. Estas estratégias do setor agrícola procuram uma ação mais eficaz e limitadora das alterações climáticas e uma melhor proteção do ambiente e da biodiversidade. No sentido de alcançar estes objetivos estão a ser implementadas várias estratégias. A Comissão Europeia considera prioritário assegurar que o setor da agricultura biológica dispõe dos “instrumentos adequados” para alcançar o objetivo de “dedicar 25% das terras agrícolas à produção biológica”, na UE até 2030. Este objetivo é também partilhado pela PAC. Reduzir o uso de pesticidas sintéticos em 50% até 2030 e atribuir 10% da área agrícola a paisagens de alta diversidade são também estratégias para desenvolver uma indústria agroalimentar mais sustentável e resiliente. Para tal, é necessário fornecer soluções baseadas na natureza, com enfoque na melhoria das funções do solo para reduzir o impacto dos fertilizantes sintéticos. Além disso, é essencial apoiar os agricultores na monitorização e valorização dos serviços ecossistémicos, incluindo a função do solo, utilização da água, biodiversidade, emissão/sequestro de GEE para responder a problemas como a pesada pegada ecológica da agricultura e as necessidades crescentes de uma população mundial crescente.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a colaboração do gabinete de recursos genéticos animais da Direção Geral de Alimentação e Veterinária (DGAV) na discussão e elaboração do inquérito realizado aquando das II Jornadas de Inovação e Valorização das Raças Autóctones. Os autores gostariam também de agradecer à comissão organizadora das II Jornadas de Inovação e Valorização das Raças Autóctones assim como à Câmara Municipal do Fundão.

REFERÊNCIAS

- ABANADES, S., ABBASPOUR, H., & AHMADI, A. (2022). A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the globe. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 3377–3400. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03301-6>
- ÅBY, B. A., RANDBY, Å. T., BONESMO, H., & AASS, L. (2019). Impact of grass silage quality on greenhouse gas emissions from dairy and beef production. *Grass and Forage Science*, 74(3), 525–534. <https://doi.org/10.1111/gfs.12433>
- ANÓNIMO. (2019). *Roteiro para a neutralidade carbónica 2050 (rnc2050). estratégia de longo prazo para a neutralidade carbónica da economia portuguesa em 2050*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_PT-22-09-2019.pdf
- BACHA, F., & VILLAMIDE, M. J. (2015). Nutrición y alimentación de rumiantes jóvenes. *XLIII Jornadas Uruguayas de Buiatría*, 1–7. http://www.fvet.edu.uy/images/Biblioteca/Jornadas_Buiatria/JB2015c.pdf
- BATTINI, F., AGOSTINI, A., BOULAMANTI, A. K., GIUNTOLI, J., & AMADUCCI, S. (2014). Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: Case study of a dairy farm in the po valley. *Science of The Total Environment*, 481, 196–208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>
- BEAUCHEMIN, K. A., MCGINN, S. M., MARTINEZ, T. F., & MCALLISTER, T. A. (2007). Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 85(8), 1990–1996. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-686>
- BEAUCHEMIN, K. A., UNGERFELD, E., ECKARD, R. J., & WANG, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, 14, s2–s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- BOCK, S., ZACHARIAS, R., & HACKER, V. (2019). Experimental study on high-purity hydrogen generation from synthetic biogas in a 10 kw fixed-bed chemical looping system. *RSC Advances*, 9, 23686–23695. <https://doi.org/10.1039/C9RA03123E>
- CAIN, M., LYNCH, J., ALLEN, M. R., FUGLESTVEDT, J. S., FRAME, D. J., & MACEY, A. H. (2019). Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *Climate and Atmospheric Science*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4>
- CAPPELLI, S. L., DOMEIGNOZ-HORTA, L. A., LOAIZA, V., & LAINE, A.-L. (2022). Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects [Special issue: Climate Change and Sustainability I]. *Trends in Plant Science*, 27(7), 674–687. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.02.003>
- CARITA, T. (2021). *Melhorar e conservar pastagens permanentes - desafios e oportunidades para os trevos anuais* (V. RURAL, Ed.). INIAV. https://www.iniaiv.pt/images/publicacoes/2021/Melhorar_e_conservar_pastagens_permanentes.pdf
- CHANG, J., CIAIS, P., GASSER, T., SMITH, P., HERRERO, M., HAVLÍK, P., OBERSTEINER, M., GUENET, B., GOLL, D. S., LI, W., NAIPAL, V., PENG, S., QIU, C., TIAN, H., VIOVY, N., YUE, C., & ZHU, D. (2021). Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands. *Nature Communications*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20406-7>
- COSTA, J. C., WIRONEN, M., RACETTE, K., & WOLLENBERG, E. (2021). Global warming potential * (gwp *): Understanding the implications for mitigating methane emissions in agriculture. *CCAFS Info Note. Wageningen, The Netherlands: CGIAR Research Program on Climate-Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)*., 1–7. <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/global%20warming%20potential.pdf>

- EHHALT, D., PRATHER, M., DENTENER, F., DERWENT, R., DLUGOKENCKY, E., HOLLAND, E., ISAKSEN, I., KATIMA, J., KIRCHHOFF, V., MATSON, P., MIDGLEY, P., & WANG, M. (2001). Atmospheric chemistry and greenhouse gases. in climate change. *The Scientific Basis*, 239–287.
- EPA. (2010). *Greenhouse gas emissions: Inventory of u.s. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2005* (tech. rep.). United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2010>
- EPA. (2022). *Greenhouse gas emissions: Understanding global warming potentials* (tech. rep.). United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2021). *Greenhouse gas emissions in the eu by pollutant in 2019*.
- EUROPEIA, C. (1996). *Estratégia para a redução das emissões de metano. in estratégia para a redução das emissões de metano* (tech. rep.). IACA.
- FAO. (2019). Biodiversity and the livestock sector - guidelines for quantitative assessment (draft for public review). *Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership*.
- GATTINGER, A., MULLER, A., HAENI, M., SKINNER, C., FLIESSBACH, A., BUCHMANN, N., MÄDER, P., STOLZE, M., SMITH, P., SCIALABBA, N. E. H., & NIGGLI, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(44), 18226–18231. <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>
- GERBER, P. J., STEINFELD, H., HENDERSON, B., MOTTET, A., OPIO, C., DIJKMAN, J., FALCUCCI, A., & TEMPIO, G. (2013). Tackling climate change through livestock - a global assessment of emissions and mitigation opportunities. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- GOEL, G., & MAKKAR, H. P. S. (2012). Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production*, 44(4), 729–739.
- GRAINGER, C., & BEAUCHEMIN, K. A. (2011). Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology*, 166–167. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.021>
- GRAINGER, C., CLARKE, T., AULDIST, M. J., BEAUCHEMIN, K. A., MCGINN, S. M., WAGHORN, G. C., & ECKARD, R. J. (2009). Potential use of acacia mearnsii condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 89(2), 241–251.
- GROSSI, G., GOGLIO, P., VITALI, A., & WILLIAMS, A. G. (2019). Livestock and climate change: Impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontier*, 9(1), 69–76.
- HAQUE, M. N. (2018). Dietary manipulation: A sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of Animal Science and Technology*, 60(1). <https://doi.org/10.1186/s40781-018-0175-7>
- HERNÁNDEZ ESTEBAN, A., MORENO, G., & LÓPEZ-DÍAZ, M. L. (2017). Legume-rich sown permanent pastures in iberian dehesas: Influence on biodiversity and soil carbon sequestration. *Grassland Science in Europe*, 22, 280–282.
- HILHORST, M. A., WILLERS, H. C., GROENESTEIN, C. M., & MONTENY, G. J. (2013). Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. *ReseachGate*, 0300(01), 1–10.
- HOFMANN, K., PRAEG, N., MUTSCHLECHNER, M., WAGNER, A. O., & ILLMER, P. (2016). Abundance and potential metabolic activity of methanogens in well-aerated forest and grassland soils of an alpine region. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(2), 1–11.

- HOLLY, M. A., LARSON, R. A., POWELL, J. M., RUARK, M. D., & AGUIRRE-VILLEGAS, H. (2017). Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239(2016), 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.007>
- HRISTOV, A. N., OH, J., FIRKINS, J. L., DIJKSTRA, J., KEBREAB, E., WAGHORN, G., MAKKAR, H. P. S., ADESOGAN, A. T., YANG, W., LEE, C., GERBER, P. J., HENDERSON, B., & TRICARICO, J. M. (2013). Special topics-mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: Ii. a review of manure management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5070–5094. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>
- INE. (2020). *Estatísticas do ambiente: 2019*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística. <https://www.ine.pt/xurl/pub/470719178>
- JAYANEGARA, A., LEIBER, F., & KREUZER, M. (2012). Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96(3), 365–375. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01172.x>
- JOHNSON, K. A., & JOHNSON, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- JORGENSEN, M. T., SHUR, Y. L., & PULLMAN, E. R. (2006). Abrupt increase in permafrost degradation in arctic alaska. *Geophysical Research Letters*, 33(2), L2503. <https://doi.org/10.1029/2005GL024960>
- KEBRAB, E., STRATHE, A., FADEL, J., MORAES, L., & FRANCE, J. (2010). Impact of dietary manipulation on nutrient flows and greenhouse gas emissions in cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 458–464. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300050>
- KINLEY, R. D., MARTINEZ-FERNANDEZ, G., MATTHEWS, M. K., DE NYS, R., MAGNUSSON, M., & TOMKINS, N. W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>
- MACHADO, L., MAGNUSSON, M., PAUL, N. A., KINLEY, R., de NYS, R., & TOMKINS, N. (2016). Dose-response effects of *Asparagopsis taxiformis* and *Oedogonium* sp. on in vitro fermentation and methane production. *Journal of Applied Phycology*, 28(2), 1443–1452. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0639-9>
- MARTIN, C., MORGAVI, D., & DOREAU, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. *Animal*, 4(3), 351–365. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990620>
- MEKONNEN, A., LETA, S., & NJAU, K. N. (2017). Anaerobic treatment of tannery wastewater using asbr for methane recovery and greenhouse gas emission mitigation. *Journal of Water Process Engineering*, 19, 231–238. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.07.008>
- MILLS, J. A. N., DIJKSTRA, J., BANNINK, A., CAMMELL, S. B., KEBREAB, E., & FRANCE, J. (2001). A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: Model development, evaluation, and application. *Journal of Animal Science*, 79(6), 1584–1597. <https://doi.org/10.2527/2001.7961584x>
- MIN, B. R., SOLAIMAN, S., WALDRIP, H. M., PARKER, D., TODD, R. W., & BRAUER, D. (2020). Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options. *Animal Nutrition*, 6(3), 231–246. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.002>
- MIN, B. R., & SOLAIMAN, S. (2018). Comparative aspects of plant tannins on digestive physiology, nutrition and microbial community changes in sheep and goats: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(5), 1181–1193. <https://doi.org/10.1111/jpn.12938>

- MOHANKUMAR SAJEEV, E. P., WINIWARTER, W., & AMON, B. (2018). Greenhouse gas and ammonia emissions from different stages of liquid manure management chains: Abatement options and emission interactions. *Journal of Environmental Quality*, 47(1), 30–41. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.05.0199>
- MONTES, F., MEINEN, R., DELL, C., ROTZ, A., HRISTOV, A. N., OH, J., WAGHORN, G., GERBER, P. J., HENDERSON, B., MAKKAR, H. P. S., & DIJKSTRA, J. (2013). SPECIAL TOPICS - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options1. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5070–5094. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>
- NASER, H. M., NAGATA, O., TAMURA, S., & HATANO, R. (2007). Methane emissions from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central hokkaido, japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(1), 95–101. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00105.x>
- ODONGO, N. E., BAGG, R., VESSIE, G., DICK, P., OR-RASHID, M. M., HOOK, S. E., GRAY, J. T., KEBREAB, E., FRANCE, J., & MCBRIDE, B. W. (2007). Long-term effects of feeding monepsin on methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1781–1788. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-708>
- OENEMA, O., OUDENDAG, D., & VELTHOF, G. L. (2007). Nutrient losses from manure management in the european union. *Livestock Science*, 112(3), 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.007>
- OUATAHAR, L., BANNINK, A., LANIGAN, G., & AMON, B. (2021). Modelling the effect of feeding management on greenhouse gas and nitrogen emissions in cattle farming systems. *Science of The Total Environment*, 776(145932). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145932>
- PEDREIRA, M. S., OLIVEIRA, S. G., BERCHIELLI, T. T., & PRIMAVERSI, O. (2005). Ruminant methane emission related aspects in cattle production systems. *Archives of Veterinary Science*, 10(3), 24–32.
- PEREIRA, T. C., AMARO, A., BROGES, M., SILVA, R., PINA, A., & CAVEIRA, P. (2021). *Portuguese national inventory report on greenhouse gases, 1990-2019*. https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/NIR20210415.pdf
- PETERSEN, S. O., SOMMER, S. G., BÉLINE, F., BURTON, C., DACH, J., DOURMAD, J. Y., LEIP, A., MISSELBROOK, T., NICHOLSON, F., POULSEN, H. D., PROVOLO, G., SØRENSEN, P., VINNERÅS, B., WEISKE, A., BERNAL, M. P., BÖHM, R., JUHÁSZ, C., & MIHELIC, R. (2007). Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livestock Science*, 112(3), 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.001>
- ROESE, A. D., ZIELINSKI, E. C., & MAY DE MIO, L. L. (2020). Plant diseases in afforested crop-livestock systems in brazil. *Agricultural Systems*, 185(102935). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102935>
- ROOK, A. J., DUMONT, B., ISSELSTEIN, J., OSORO, K., WALLISDEVRIES, M. F., PARENTE, G., & MILLS, J. (2004). Matching type of livestock to desired biodiversity outcomes in pastures - a review. *Biological Conservation*, 119(2), 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.11.010>
- ROQUE, B. M., VENEGAS, M., KINLEY, R., NYS, R. d., NEOH, T. L., DUARTE, T. L., YANG, X., SALWEN, J. K., & KEBREAB, E. (2021). Red seaweed (*asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *PLOS ONE*, 16(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
- SHAKOOR, A., SHAKOOR, S., REHMAN, A., ASHRAF, F., ABDULLAH, M., SHAHZAD, S. M., FAROOQ, T. H., ASHRAF, M., MANZOOR, M. A., ALTAF, M. M., & ALTAF, M. A. (2021). Effect of animal manure, crop type, climate zone, and soil attributes on greenhouse gas emissions

- from agricultural soils - a global meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 278(124019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124019>
- SMITH, L. G., & LAMPKIN, N. H. (2019). Greener farming: Managing carbon and nitrogen cycles to reduce greenhouse gas emissions from agriculture. In *Managing Global Warming*, 553–577. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814104-5.00019-3>
- SORATHIYA, L. M., FULSOUNDAR, A. B., TYAGI, K. K., PATEL, M. D., & SINGH, R. R. (2014). Eco-friendly and modern methods of livestock waste recycling for enhancing farm profitability. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0050-6>
- SUN, X. (2020). Invited review: Glucosinolates might result in low methane emissions from ruminants fed brassica forages. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.588051>
- TAN, Y., WU, D., BOL, R., WU, W., & MENG, F. (2018). Conservation farming practices in winter wheat-summer maize cropping reduce ghg emissions and maintain high yields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.001>
- TRIBUNAL DE CONTAS EUROPEU. (2019). *Emissões de gases com efeito de estufa na ue: Bem comunicadas, mas são necessárias melhores informações sobre as reduções futuras* (tech. rep. Especial nº 18/2019). Tribunal de Contas Europeu.
- VELÁZQUEZ, A. E., SALEM, A. Z. M., KHUSRO, A., PLIEGO, A. B., RODRÍGUEZ, G. B., & EL-GHANDOUR, M. M. M. Y. (2020). Sustainable mitigation of fecal greenhouse gases emission from equine using safflower and fish oils in combination with live yeast culture as additives towards a cleaner ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120460>
- VERMA, P., & SAMANTA, S. K. (2016). Overview of biogas reforming technologies for hydrogen production: Advantages and challenges. *ResearchGate*, 227–243. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2773-1_17
- WATTIAUX, M. A., UDDIN, M. E., LETELIER, P., JACKSON, R. D., & LARSON, R. A. (2019). Invited review: Emission and mitigation of greenhouse gases from dairy farms: The cow, the manure, and the field. *Applied Animal Science*, 35(2), 238–254. <https://doi.org/10.15232/aas.2018-01803>
- ZHANG, L., SHENG, J., ZHANG, Y., CHEN, L., SUN, G., & ZHENG, J. (2016). Ammonia and greenhouse gas emissions from different types of deep litter used for pig rearing. *Livestock Scienc*, 188, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.04.012>

FILIAÇÃO:

Rita Silva, Joana Grácio, Silvia Moreira, Nuno Serra, Ricardo Chagas: Food4Sustainability
- Associação para a inovação no alimento sustentável, Centro Empresarial de Idanha-a-Nova,
Zona Industrial, 6060-182 Idanha-a-Nova, Portugal