



Escola de Ciências Sociais e Humanas  
Departamento de Psicologia Social e das Organizações

Utilização de *virtual fencing* na gestão e restauro de ecossistemas naturais:  
uma revisão do estado da arte, limitações e oportunidades.

Emanuel Pires Lourenço

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Estudos do Ambiente e da Sustentabilidade

Orientador:

Doutora Vânia Andreia Malheiro Proença, Investigadora Auxiliar,  
MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Outubro, 2019



## **Agradecimentos**

Aos meus pais, por terem proporcionado todas as condições para que pudesse frequentar este mestrado e escrever esta tese. Um grande obrigado pelo apoio e compreensão nos momentos mais exigentes, que nos retiraram vários fins de semana juntos.

À minha irmã por, mesmo à distância, estar sempre perto. Pela preocupação, pelo acompanhamento e pelos conselhos, não apenas ao longo deste ano, mas ao longo de todo o meu percurso.

A toda a minha família, pelo carinho e apoio que sempre me deram e por muitas vezes compensarem a minha ausência junto dos meus pais.

À Doutora Vânia Proença, a minha orientadora, por todo o suporte e por, mesmo perante a dificuldade que foi escrever esta tese, ter mantido sempre confiança no meu trabalho e transmitido uma atitude positiva.

Por fim, um agradecimento especial para a Joana, a minha companhia de todos os dias. Pela força e incentivo que sempre me transmitiu, por todo o carinho e, sobretudo, pela paciência. Obrigado por estares sempre presente e por teres assumido tão bem o controlo de tudo o que tive que deixar de lado nestes últimos meses.

## Resumo

As alterações nos efetivos das populações de herbívoros, um pouco por toda a Europa, provocaram desequilíbrios nos ecossistemas, associados a situações de sub pastoreio e sobre pastoreio. Por um lado, assistiu-se ao abandono da atividade pastoril em áreas marginais para o pastoreio, com redução do efetivo ou menor esforço de gestão, por outro, assistiu-se a uma intensificação do pastoreio extensivo, com aumento do efetivo e/ou da densidade de encabeçamento.

O controlo eficaz da movimentação dos animais promove o seu papel de regulação ecológica, otimizando-os ao mesmo tempo que diminui os seus impactos sobre habitats sensíveis. Esta tese usa uma metodologia de revisão sistemática para avaliar o estado da arte do uso de um novo sistema de vedação, o virtual fencing, e o seu potencial para ser implementado gestão e restauro de ecossistemas naturais.

O virtual fencing é cada vez mais alvo de atenção por parte de científicas de todo o mundo. Nesse aspeto, a Austrália, Inglaterra e Estados Unidos foram os países que mais contribuíram com publicações para esta tese. Nestes países, os artigos abordam maioritariamente a gestão de gado (na Austrália e Estados Unidos) e ovelhas (em Inglaterra) em sistemas de pastagem extensiva, montanhas e florestas, sendo os principais objetivos de estudo o desenvolvimento de software a gestão de valores naturais. Esta solução mostrou ser eficaz na manutenção de animais na área definida pelo sistema de GPS, um aspeto essencial para a gestão e conservação de ecossistemas degradados.

**Palavras-Chave:** *cercas virtuais*, gestão de ecossistemas, pastoreio extensivo, herbívoros, *rewilding*, tecnologia, revisão sistemática.

## **Abstract**

Changes in herbivore populations across Europe have led to ecosystem disturbances associated with under and overgrazing. On one hand, pastoral activity was abandoned in marginal grazing areas, with a reduction in the number of herds or a lower management effort. On the other hand, there was an intensification of extensive grazing, with the increase of livestock and / or stocking density.

Effective control of animal movement promotes their ecological regulatory role while optimizing their impact on sensitive habitats. This thesis uses a systematic review methodology to assess the state of the art of the use of a new fencing system, virtual fencing, and its potential for implementing natural ecosystem management and restoration.

Virtual fencing is increasingly receiving attention from scientists around the world. Australia, England and the United States were the countries with more publications for this thesis. In these countries, the articles focus mainly on the management of cattle (in Australia and the United States) and sheep (in England) in extensive pasture, mountain and forest systems. This solution has been shown to be effective to maintain animals in the area defined by the GPS system which corresponds to an essential aspect for the management and conservation of degraded ecosystems. Cattle were also successfully excluded from sensitive areas, generally responding positively to audio cues and electrical stimulus, after a learning period. There are, however, some issues associated with animal welfare and behavioural variability among individuals and between species, which should be tackled as opportunities to motivate future technological developments.

**Keywords:** *virtual fencing*, ecosystem management, grazing, livestock, herbivores, *rewilding*.

## Índice

Agradecimentos .....	I
Resumo .....	II
Abstract .....	III
Índice de Figuras.....	V
Índice de Tabelas.....	VI
1. Introdução .....	1
1.1. O papel funcional dos herbívoros no funcionamento dos ecossistemas.....	2
1.2. Pastoreio extensivo e Sistemas Agrícolas de Elevado Valor Natural.....	7
1.3. Efeitos dos herbívoros domésticos na biodiversidade.....	9
1.4. Casos de estudo de gestão de ecossistemas com herbívoros domésticos .....	12
1.5. O uso de virtual fencing como uma oportunidade para a gestão de ecossistemas .....	14
1.6. Exemplos de soluções comerciais existentes .....	16
1.7. Objetivos e Estrutura da Tese.....	19
1.8. Contributo da tese para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável .....	20
2. Métodos.....	21
2.1. Revisão Sistemática.....	21
2.2. Search string .....	21
2.3. Revisão de conteúdo e extração de dados.....	23
3. Resultados .....	25
3.1. Artigos Analisados.....	25
3.2. Tipos de estudo e objetivos específicos da investigação em virtual fencing.....	26
Sistemas de teste e implementação de virtual fencing.....	27
3.3. 27	
3.4. Limitações das cercas convencionais.....	28
3.5. Vantagens e Limitações associadas à utilização de Virtual Fencing .....	28
3.6. Síntese dos resultados obtidos em estudos experimentais.....	30
3.7. Casos práticos de Conservação com recurso ao Virtual Fencing .....	31
4. Discussão.....	33
4.1. Vantagens e Limitações do Virtual Fencing para a Gestão da Biodiversidade .....	33
4.2. Aplicações do Virtual Fencing enquanto ferramenta de Gestão da Biodiversidade.....	35
4.3. Considerações Finais.....	36
Referências Bibliográficas.....	37
ANEXOS .....	45
Anexo I – Análise de artigos da <i>Search String</i> .....	45
Anexo II – Lista de Referências da <i>Search String</i> .....	49

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Alterações nos ecossistemas alpinos europeus .....	4
Figura 1.2 Evolução da população residente em quatro distritos com tendência de abandono agrícola. .....	5
Figura 1.3 Evolução do número de cabeças de gado bovino, caprino, ovino e equídeo em regiões NUTIII com elevado abandono rural entre 1989 e 2009.....	6
Figura 1.4 Distribuição de sistemas agrícolas de alto valor natural na Europa.....	8
Figura 1.5 Perda de HNPF devido à intensificação da agricultura entre 2006-2012 .....	9
Figura 1.6 Efeitos do gado na biodiversidade.....	11
Figura 1.7 Esquema do projeto de utilização de herbívoros para controlo de biomassa combustível na Andaluzia.....	12
Figura 1.8 Evolução do número de pesquisas efetuadas no Google sobre virtual fencing nos últimos 15 anos.....	15
Figura 1.9 Ilustração de funcionamento do sistema BoviGuard .....	16
Figura 1.10 Colar eSheperd com GPS e aplicativo móvel .....	17
Figura 1.11 Dispositivo utilizado no sistema de virtual fencing SheepIt .....	18
Figura 1.12 Exemplo de aplicação do SheepIt. ....	18
Figura 3.1 Distribuição geográfica dos artigos analisados .....	25
Figura 3.2 Distribuição do número de estudos por ano .....	26
Figura 3.3 Distribuição dos artigos por tipo de estudo .....	26
Figura 3.4 Objetivos específicos e secundários dos artigos revistos .....	27
Figura 3.5 Espécies e/ou grupo de espécies abordadas nos artigos .....	27
Figura 3.6 Tipos sistema utilizado nos artigos revistos .....	28
Figura 3.7 Distribuição dos estudos de conservação por objetivos.....	32
Figura 4.1 Custo de implementação de cercas convencionais .....	35

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Definição da Search String .....	22
Tabela 2.2 Número total de artigos selecionados para revisão de conteúdo.....	23
Tabela 3.1 Limitações associadas às cercas convencionais referidas nos estudos analisados nesta tese.....	28
Tabela 3.2 Vantagens associadas ao sistema de virtual fencing .....	29
Tabela 3.3 Limitações associadas à utilização do virtual fencing .....	29
Tabela 3.4 Casos práticos de Conservação associados à utilização de virtual fencing .....	31

## 1. Introdução

Em Portugal, a alteração da estrutura e funcionalidade dos ecossistemas está muito associada a alterações no uso do solo, nomeadamente por via do abandono rural e intensificação agrícola e florestal. Antes da «transição florestal», processo que consiste na reflorestação do território, a utilização das florestas por parte da população fazia-se essencialmente através da agricultura de subsistência (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). O progressivo desaparecimento desta economia, bem como a diminuição das populações de herbívoros domésticos de grande porte, permitiu o crescimento de matéria combustível, aumentando assim o risco de incêndio florestal.

Por sua vez, a alteração para um regime de fogo mais frequente e intenso, e sem reposição de nutrientes, pode conduzir à expansão de matos, com espécies adaptadas a fogos recorrentes, com perda da diversidade de espécies e habitats e degradação do solo (Leadley et al., 2010).

Estas alterações têm implicações para o bem-estar humano (Leadley et al., 2010) uma vez que, embora protegidos das ações imediatas do meio ambiente (aumento da temperatura média global, catástrofes naturais, etc.) e pelas infraestruturas, cultura e tecnologia das sociedades humanas, estamos, em última instância, dependentes do funcionamento dos ecossistemas e dos serviços por eles gerados (IPBES, 2016 - [www.ipbes.net/](http://www.ipbes.net/)).

O reconhecimento do valor que os serviços dos ecossistemas representam para a economia e o bem-estar humano, bem como a degradação do ambiente em geral a que temos assistido, catapultou a discussão da importância dos serviços dos ecossistemas na política de ambiente e biodiversidade, aumentando a necessidade de salvaguarda e recuperação da biodiversidade junto das agendas económicas globais e nacionais (AEA, 2018 - [www.eea.europa.eu/pt/](http://www.eea.europa.eu/pt/)), promovendo a “valoração e integração económica dos serviços dos ecossistemas e do capital natural” (ICNF, 2018 - [www.icnf.pt/](http://www.icnf.pt/)).

Os serviços dos ecossistemas, estão divididos em três classes distintas: regulação, provisão e culturais (Haines-Young e Potschin, 2011). Os serviços de regulação correspondem aos benefícios obtidos da regulação dos processos dos ecossistemas, tais como a regulação de doenças, pragas cheias e do clima. Os serviços de provisão constituem os benefícios materiais que se obtêm dos ecossistemas, como alimentos e fibras, madeira ou biomassa não lenhosa, e água de rios, lagos e aquíferos. Os serviços culturais dizem respeito a benefícios não materiais resultantes da interação entre os seres humanos e a natureza, da apreciação de valores naturais, e no conhecimento obtido a partir da natureza. Perante a referida degradação dos serviços dos ecossistemas é necessário encontrar medidas que minimizem estes desequilíbrios e que permitam gerir os ecossistemas de uma forma sustentável. A reintrodução de grandes herbívoros domésticos com vista à manutenção de processos ecológicos, como a herbivoria para regulação da biomassa e da estrutura da vegetação, a reciclagem de nutrientes por via das fezes e urina, e a dispersão de sementes, apresenta-se como uma abordagem promissora que tem vindo a ser adotada como medida de prevenção de incêndios e para restauro ecológico dos ecossistemas. Exemplo disso, é a utilização de “cabras sapadoras”, promovida pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e a Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro (DRAPC) como medida para a “Prevenção dos Fogos Florestais,

através da Realização de Gestão de Combustíveis” (Lusa, 2018) . Este projeto consiste na introdução de cerca de quatro mil e novecentos animais, distribuídos pelas regiões Centro, Norte e Algarve que, com recurso à pastorícia, serão responsáveis pela limpeza de mais de três mil hectares de floresta.

Estas medidas são particularmente relevantes em contextos onde os herbívoros selvagens apresentam populações reduzidas, em consequência da presença humana e uso da paisagem ao longo da história (Navarro, Proença et al., 2015).

Para esse efeito, será necessário um sistema que permita definir qual a área que se pretende proteger e que, ao mesmo tempo, monitorize e controle os movimentos desses animais, direcionando as suas ações para a gestão do ecossistema em que se encontra.

### **1.1.O papel funcional dos herbívoros no funcionamento dos ecossistemas**

A composição das comunidades ecológicas e a diversidade de espécies não é imutável no tempo e espaço, resultando da interação entre fatores bióticos e abióticos. No entanto, a complexidade das comunidades ecológicas dificulta a compreensão das consequências da perda de espécies para o funcionamento dos ecossistemas (Schneider F. et al., 2016).

O papel dos herbívoros terrestres de grande porte, sobre os quais incide este trabalho, e o seu efeito na estrutura e funcionamento dos ecossistemas relaciona-se essencialmente com as suas características morfológicas, biológicas e sociais. Segundo Jones et al. (1994), o tamanho, alimentação, requisitos metabólicos, comportamento social, padrões de movimento e o historial de vida são essenciais para determinar a importância destes animais enquanto “engenheiros dos ecossistemas”. Nesse sentido, vários autores destacam a função que os herbívoros desempenham dentro do ecossistema em que estão inseridos. Bakker et al. (2006) destacam a sua influência na composição das comunidades de plantas das pastagens, concluindo que os grandes herbívoros contribuíram para o aumento da diversidade de plantas em sistemas de maior produtividade, mas apresentam o efeito contrário em sistemas de baixa produtividade. Asner et al. (2009) destacam o seu efeito na estruturação de habitats, referindo que nas áreas em que os herbívoros foram excluídos o aumento do coberto vegetal, a curto prazo, atingia valores entre 38% a 80%. A longo prazo, a diferença da estrutura dos habitats era ainda mais evidente, com uma concentração de vegetação lenhosa até onze vezes superior àquela que se verificava nas áreas com herbívoros. McNaughton et al. (1997) e Augustine et al. (2001) abordaram a sua importância no fluxo de nutrientes, uma vez que a presença de grandes herbívoros promove a aceleração do ciclo de nutrientes dos ecossistemas naturais, de maneira a aumentar a sua capacidade de carga. Concentrações consideravelmente mais altas de azoto foram encontradas em plantas provenientes de solos sujeitos a regimes de pastoreio mais intenso, relativamente àquelas verificadas em solos em que a atividade pastoril é reduzida. Por sua vez, Pringle et al. (2007) mencionaram a influência direta e indireta dos herbívoros no dinamismo entre cadeias tróficas, nas quais desempenham papéis-chave, assim como ao nível da manutenção da conservação dos ecossistemas, uma vez que afetam os ciclos de nutrientes, mantendo a diversidade e estabilidade dos predadores e produtores primários (Bardgett & Wardle, 2010).

Considerando o conjunto de funções que os herbívoros de grande porte desempenham dentro de um ecossistema, verifica-se que têm uma importante função de transformação e regulação da dinâmica do ecossistema e da estrutura do habitat. O declínio destas espécies ao longo da história da humanidade, devido à caça e a alterações do habitat, tem sido associado a grandes mudanças na estrutura dos ecossistemas naturais (Pereira et al., 2012).

O abandono de terras agrícolas tem suscitado muita preocupação nas comunidades científicas e políticas. Existem graves implicações sociais associadas ao êxodo rural, tais como o envelhecimento da população e a diminuição dos serviços públicos básicos nas áreas despovoadas. Segundo o Relatório “O Abandono da Atividade Agrícola” (Alves.A et al., 2003), existem também consequências ecológicas, uma vez que muitas das paisagens abandonadas eram anteriormente geridas como sistemas agrícolas de baixa intensidade ou pastagens seminaturais que albergavam comunidades ricas em biodiversidade. O receio atual é que, sem a manutenção desses sistemas, ocorra uma perda de biodiversidade e serviços dos ecossistemas com impactos a escalas locais a regionais (Navarro, Proença et al., 2015).

A Figura 1.1 exemplifica o impacto negativo que o abandono rural pode ter nos ecossistemas, e foi extraída de um estudo realizado nos Pireneus, por Espunyes et al. (2018). Através dos resultados obtidos na região dos Pirenéus Centrais (estudada para os 4 indicadores, e por isso mais fácil de comparar), é possível verificar uma diminuição de 43% da população rural entre 1930 e 1980, o que correspondeu a uma redução de 48% da atividade agro-pastoril para o mesmo período. Consequentemente, a concentração de gado nos Pirenéus Centrais também se viu reduzida em 43% no período compreendido entre 1920 e 2000. A diminuição da atividade agrícola e da presença de gado desencadeou processos de regeneração natural da vegetação, nomeadamente de espécies arbustivas lenhosas, resultando num aumento de 16% deste tipo de espécies entre 1980 e 2000.

Também em Portugal existem exemplos de estudos que comprovam a importância dos herbívoros na gestão dos ecossistemas. Pereira et al. (2009) estudaram o caso do Sistelo, uma freguesia de montanha nos limites do Parque Nacional da Peneda-Gerês, “onde se tem verificado um abandono progressivo das práticas agro-pastoris tradicionais nos últimos 50 anos, colocando em causa a manutenção dos serviços locais de ecossistema que dependem da intervenção humana”. Também o despovoamento e o envelhecimento da população, são apontados como impulsionadores desse mesmo abandono e, consequentemente, de uma “progressiva degradação da condição dos serviços de ecossistema que dependem da intervenção humana.”

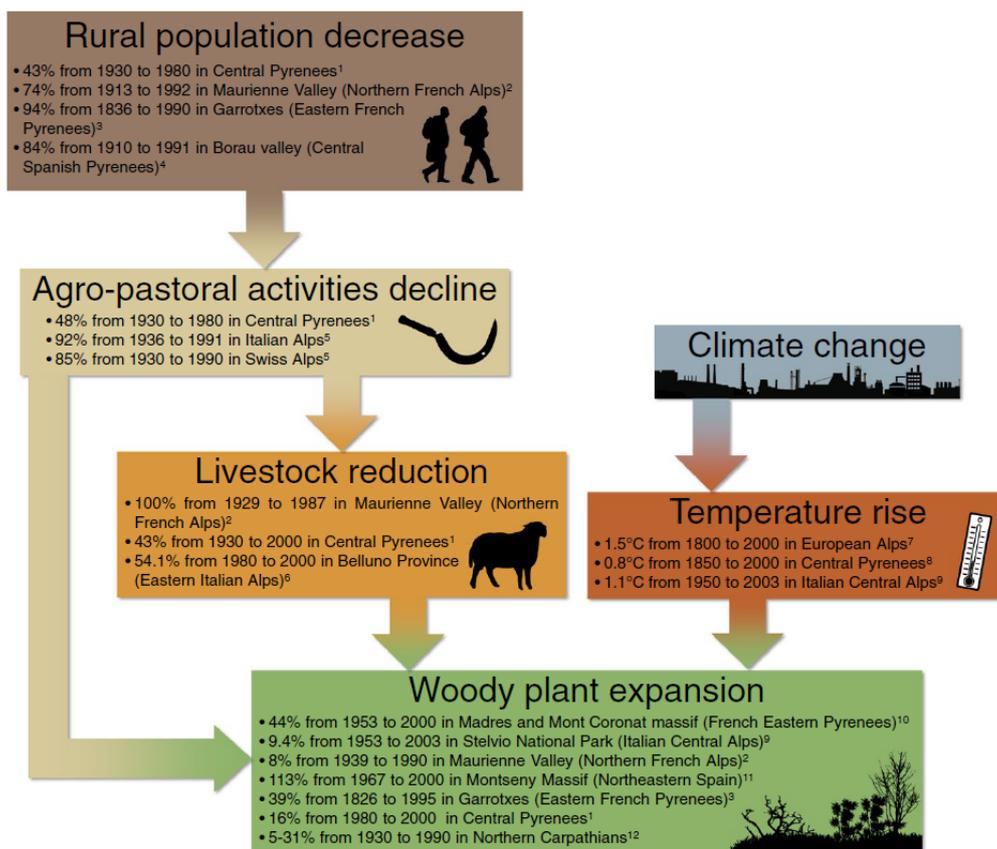


Figura 1.1 Alterações nos ecossistemas alpinos europeus, com expansão das plantas lenhosas, na sequência do despovoamento rural (Fonte: Espunyes et al., 2018)

Tal como no exemplo apresentado para os Pirenéus, também em Sísleto a diminuição da população rural contribuiu para uma “progressiva diminuição das práticas de cultivo” que “desencadeou um processo gradual de abandono das áreas agrícolas”. Verificou-se uma redução de 66% da área cultivada, tendo a área de pastagem aumentado cerca de 12 vezes (INE, 1989; INE, 1999). Por fim, este abandono agrícola, levou ao desaparecimento de grande parte do gado da região, permitindo que os campos desencadeassem “um processo de sucessão secundária em que as espécies predominantemente agrícolas (maioritariamente herbáceas de crescimento rápido) são predominantemente substituídas por espécies arbustivas e arbóreas”.

Numa perspetiva alargada ao território nacional, e a título ilustrativo, é possível verificar padrões semelhantes noutras regiões, como por exemplo as regiões rurais da Guarda, Viana do Castelo, Vila Real e Viseu, onde a população residente tem diminuído nas últimas três décadas (Instituto Nacional de Estatística, [www.ine.pt](http://www.ine.pt)) (Figura 1.2). Estas regiões foram selecionadas com base no relatório “O Abandono da Atividade Agrícola” (Alves, A, et al., 2003) que avalia a magnitude e o impacto do abandono agrícola em Portugal. Segundo os autores deste relatório, “estrutura fundiária de várias regiões do país, a baixa produtividade do trabalho agrícola e o elevado grau de envelhecimento dos agricultores portugueses” são a causa para o desaparecimento de milhares de explorações agrícolas, que irão dar origem a diversos problemas sociais, económicos, culturais e ambientais.

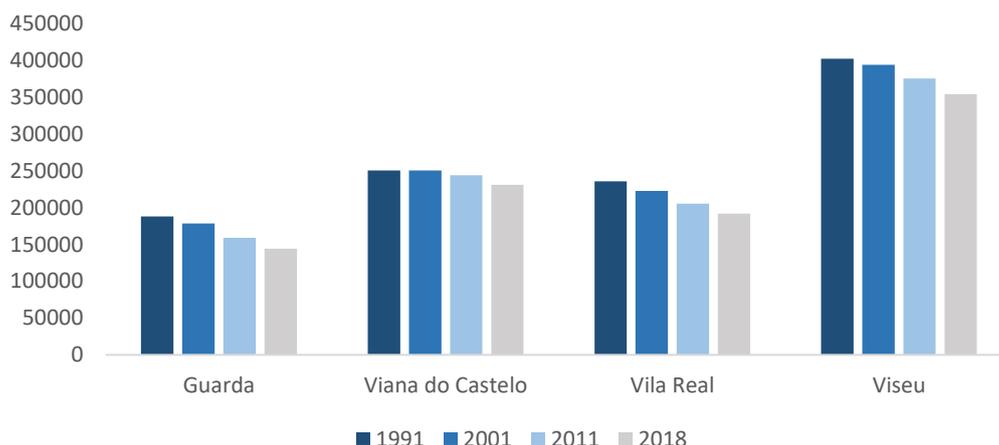


Figura 1.2 Evolução da população residente em quatro distritos com tendência de abandono agrícola. (Fonte: Próprio autor)

Tendo por base o decréscimo da população rural, procurou-se verificar se o número de cabeças de gado bovino, caprino, ovino e equídeo acompanhava essa tendência nestas áreas do país, entre 1989 e 2009. Os gráficos da Figura 1.3, permitem-nos verificar o decréscimo acentuado das populações destes animais ao longo dos últimos 30 anos, reforçando assim as implicações do êxodo rural para os modos e tendências de uso do solo

Na região do Minho-Lima (Viana do Castelo) a população de bovinos sofreu uma grande diminuição (cerca de 60%) entre 1989 e 2009. Também na Beira Interior (Guarda) se verificou uma diminuição na população destes animais, mas numa percentagem menos acentuada (cerca de 30%). No caso do gado caprino, houve uma grande queda no número de cabeças, principalmente na região do Minho-Lima, onde esta redução foi superior a 50%, mas também no Pinhal Interior Sul e Norte, com a perda de cerca de um terço da população caprina. Relativamente à população de equídeos, em 1989 esta concentrava-se essencialmente na Beira Interior (13 304 cabeças contabilizadas), no entanto, em 2009 encontrava-se reduzida em cerca de três quartos. Por outro lado, na região do Minho-Lima, a sua população aumentou cerca de 8 vezes impulsionada por apoios financeiros associados ao baixo custo de manejo dos animais (Luzio M., 2006; Gonçalves A., et al.,2009) nas restantes regiões, a sua presença era praticamente inexistente em 2009. Por fim, o gado ovino foi aquele que apresentou uma menor oscilação no número de cabeças presentes nas diferentes regiões para o período em questão. A única alteração significativa verificou-se na região da Beira Interior, com um aumento significativo da população entre 1989 e 1999 que, no entanto, voltou a diminuir na década seguinte para números semelhantes aos que se verificavam inicialmente.

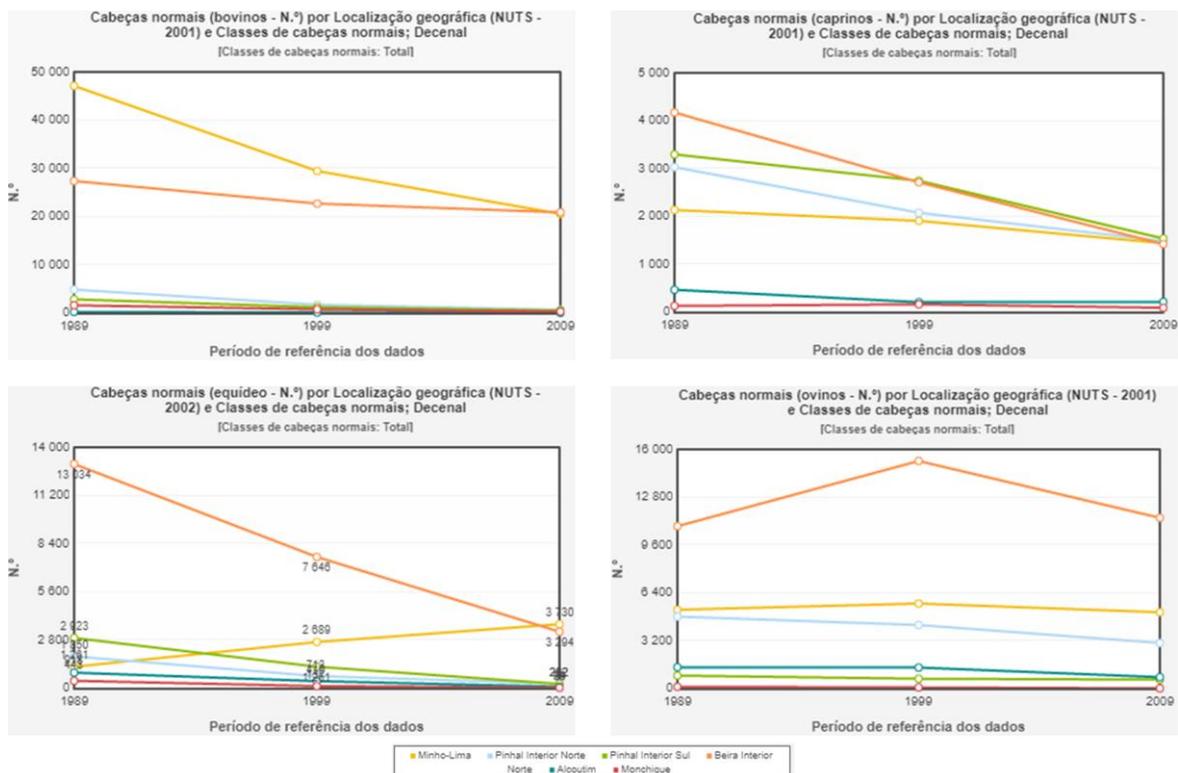


Figura 1.3 Evolução do número de cabeças de gado bovino, caprino, ovino e equídeo em regiões NUTIII com elevado abando rural entre 1989 e 2009: Minho-Lima (amarelo), Pinhal Interior Norte (azul claro), Pinhal Interior Sul (verde), Beira Interior (laranja), Alcoutim (Fonte: INE, 2009)

Por outro lado, a ocorrência de sobre pastoreio numa determinada área, ou a intensificação de regimes extensivos para além da capacidade de carga do ecossistema, também afetam negativamente os ecossistemas (Gonçalves A., et al., 2009). O sobre pastoreio pode resultar de iniciativas de conservação de espécies de herbívoros selvagens, da sua recuperação natural, nomeadamente por declínio dos seus predadores e melhorias nos habitats, ou estar associado a atividades agropecuárias. A intensificação do pastoreio em sistemas de montado no Alentejano, e o pastoreio extensivo, não vigiado por pastores, praticado nas serras do Norte, são exemplos de situações que podem resultar em sobre pastoreio com impactos nos ecossistemas (Pereira C., 2000; Pinto-Correia et al., 2011; Gama, 2018).

O montado Alentejano combina, em larga escala, pastagens e árvores, criando um padrão paisagístico particular muito apreciado. Devido a essas qualidades, e de acordo com a classificação proposta pela Agência Europeia Ambiente (ver ponto 1.2), o montado pode ser amplamente classificado como uma Terra Agrícola de Elevado Valor Natural, (do inglês *High Nature Value Farmland* - HNVF). No entanto, a intensificação de algumas atividades agrícolas, nomeadamente o pastoreio e a lavoura mecanizada, podem dificultar a regeneração das árvores, comprometendo a sua regeneração a longo prazo. A redução de árvores e a sua falta de regeneração são uma ameaça grave para a manutenção futura do sistema, sendo que o sobre pastoreio pode contribuir para este fator através da compactação do solo e aumento do risco de erosão.

No caso das serras do Norte, são exemplo as áreas de alto valor de conservação no Parque Nacional da Peneda-Gerês, onde o pastoreio livre coloca em causa a persistência e recuperação de habitats

como azevinhais e carvalhais (Gama, 2018). Os fogos e queimadas dos pastores e a pressão exercida pelo gado bovino e equídeo são apontados por Gama (2018) como causas de destruição “dos melhores redutos de vegetação natural do nosso único parque nacional.” Em resposta a isto, foram criadas zonas vedadas na zona do Ramiscal, sendo que, volvidos alguns meses, foi notória a recuperação da vegetação herbácea, não pressionada pelas vacas e cavalos. Dentro das regiões cercadas foi possível observar a regeneração natural do arvoredo, pelo que a medida foi considerada como positiva, No entanto, os espaços vedados são diminutos e não protegem toda uma área de eleição, pelo que se torna necessário encontrar uma medida mais eficaz e que confirme o estatuto de proteção que o plano de ordenamento lhes conferiu.

## **1.2. Pastoreio extensivo e Sistemas Agrícolas de Elevado Valor Natural**

Os sistemas agrícolas de alto valor natural (*High Nature Value Farmland*, HNVF) correspondem a áreas onde o uso agrícola, incluindo o pastoreio, contribui para manter altos níveis de biodiversidade. Estas áreas são geralmente associadas a sistemas de baixa intensidade e caracterizadas por um longo historial de utilização humana.

As atividades desenvolvidas pelos humanos, nomeadamente a atividade pecuária, substituíram alguns processos de perturbação natural e equilibraram o seu papel na manutenção da estrutura do habitat e diversidade de espécies no espaço e no tempo. A contribuição destas áreas para a conservação da biodiversidade varia entre a manutenção de extensas áreas de habitats seminaturais, com comunidades ricas e diversificadas de espécies, e a manutenção de habitats críticos, de forma a garantir a persistência de espécies raras, em paisagens mais intensificadas (Keenleyside et al. 2014). No primeiro caso, a HNVF é frequentemente associada ao pastoreio de gado e a uma parte integrante do uso agrícola, enquanto no último caso, a HNVF não está diretamente relacionada com o uso agrícola, mas representa uma área muito importante no fornecimento de abrigo às espécies e na manutenção dos valores de biodiversidade.

De um modo geral, as HNVF têm sido classificadas em três tipos diferentes, tendo em conta as características dos terrenos agrícolas (Keenleyside et al. 2014):

- **Tipo 1:** terras agrícolas com elevada proporção de vegetação seminatural.
- **Tipo 2:** terras agrícolas dominadas pela agricultura de baixa intensidade ou um mosaico de terrenos seminaturais e cultivados e de pequena escala.
- **Tipo 3:** terras agrícolas que apoiam espécies raras ou uma elevada percentagem de populações europeias ou mundiais.

Estas categorias não são mutuamente exclusivas, mas a sua aplicação pode seguir uma abordagem hierárquica, onde extensas áreas do tipo 1 ou 2 são assumidas como fornecedoras de condições de habitat adequadas para apoiar a diversidade de espécies elevadas, enquanto o tipo 3 é frequentemente utilizado na identificação de importantes habitats em paisagens intensificadas (Beaufoy, 2008).

Existem áreas de HNPF por toda a Europa, mas a sua presença é mais acentuada nas regiões Sul, Leste e Noroeste do continente (Figura 1.4).

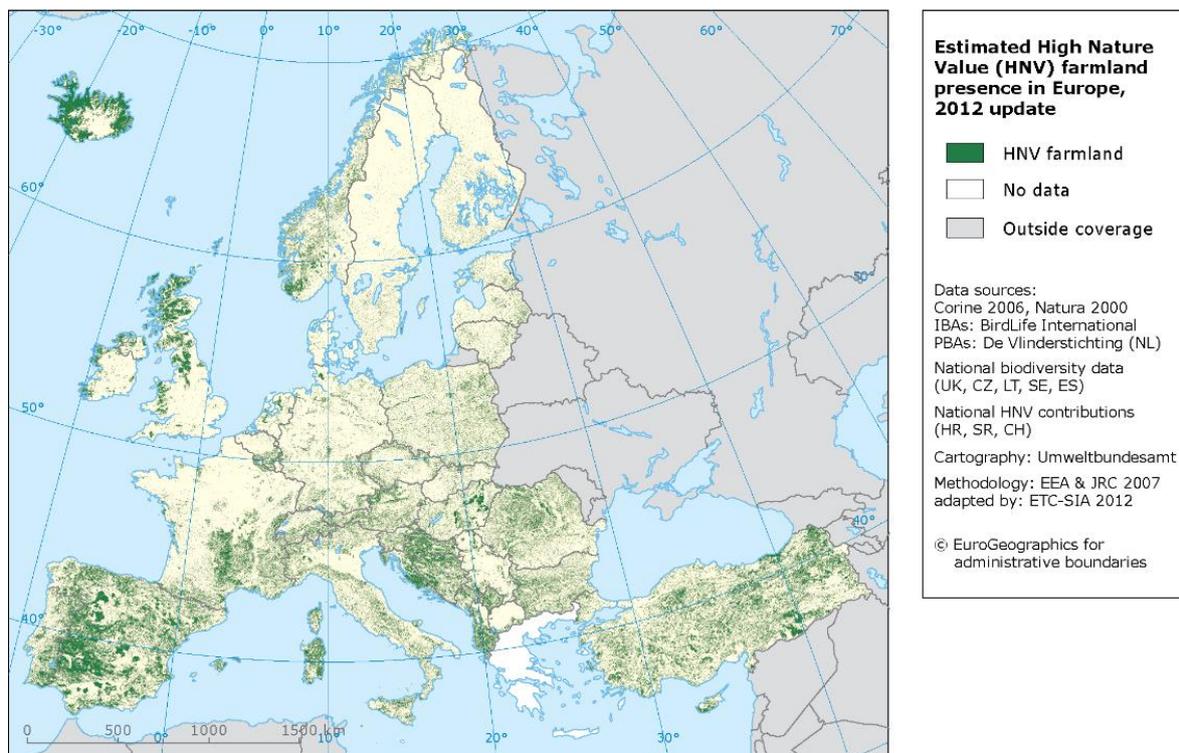


Figura 1.4 Distribuição de sistemas agrícolas de alto valor natural na Europa (Fonte: EEA,2012)

Os sistemas agropecuários extensivos em territórios designados como HNPF incluem dois tipos de sistemas de pastoreio: um deles mais livre, muitas vezes associados a pastagens de montanha, e o outro mais fechado, onde pastagens permanentes ou culturas aráveis fornecem o principal recurso forrageiro (EEA, 2004). Os sistemas pastoris de baixa intensidade, nos quais os animais se alimentam essencialmente de vegetação seminatural, constituem o uso mais comum de terras agrícolas em HNPF (Keenleyside et al. 2014).

Os sistemas silvo-pastoris em Portugal e em Espanha, também designados como *Montados* ou *Dehesas*, fornecem um excelente exemplo deste tipo de pecuária de HNPF. Os níveis elevados de diversidade de espécies são mantidos pela diversidade estrutural do sistema, tanto localmente (por exemplo, múltiplas camadas de vegetação) como ao nível da paisagem (por exemplo, variação na densidade da árvore), pela extensa distribuição e, geralmente, boa conectividade a nível regional.

A manutenção da diversidade estrutural deriva de uma utilização silvo-pastoral de baixa intensidade, que pode ser combinada com outros usos, como a caça, apicultura, colheita de cogumelos e observação de aves. Para que isso se verifique, é exigido um bom equilíbrio entre as práticas de gestão, correndo o risco de que as atividades que permitem simultaneamente o uso multifuncional e a conservação da biodiversidade (por exemplo, pastoreio de gado) se tornem um ameaça, caso sejam mal geridas (Pinto-Correia & Mascarenhas, 1999, Almeida et al. 2015). Neste aspeto, o pastoreio extensivo é extremamente importante para controlar o crescimento da vegetação, garantindo uma vegetação mais rasteira nas áreas abertas e contribuindo igualmente para a reciclagem de nutrientes.

No entanto, elevados níveis de pastoreio podem dificultar o desenvolvimento das árvores, reduzindo assim, a heterogeneidade do habitat, caso se verifique a presença de bovinos e equídeos, e potenciar a compactação do solo (Almeida et al. 2015).

A intensificação da agricultura, o aumento da pressão de pastoreio, através das elevadas taxas de pastagem, a conversão de áreas seminaturais e mosaicos de culturas em grandes manchas de sistemas homogêneos intensificados, sem dinâmicas sazonais ou de pousio, bem como o uso de agroquímicos, representam a principal ameaça para a manutenção de sistemas de pastoreio de baixa intensidade em HNPF.

Na Europa, as regiões com maior perda de HNPF devido à intensificação, incluem a área de distribuição de *Montados/Dehesas* no Sul de Portugal e Espanha e também extensos sistemas pecuários nos Países Bálticos e da Europa Central e Oriental (Figura 1.5).

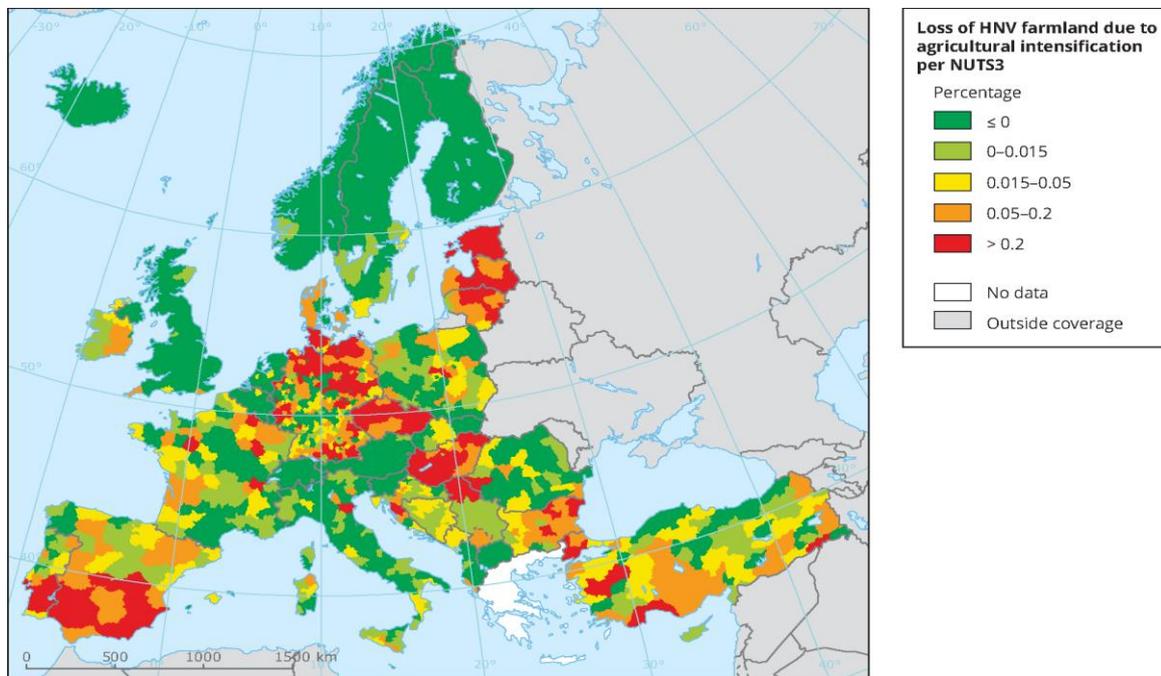


Figura 1.5 Perda de HNPF devido à intensificação da agricultura entre 2006-2012 (Fonte: EEA, 2012)

### 1.3.Efeitos dos herbívoros domésticos na biodiversidade

Cerca de 30% da superfície terrestre é utilizada na produção de gado, divididos entre pastagens (≈ 25%) e produção de alimentos para animais (≈ 5%) (Monfreda et al., 2008). Este tipo de utilização tem, normalmente, duas situações associadas, uma delas em que habitats anteriormente não perturbados podem ser destruídos, sendo exemplo disso a conversão de florestas primárias em pastagens ou terrenos de cultivo (Nepstad et al., 2009) e, por outro lado, a adaptação de locais com uma longa história de pastoreio de gado, em que toda a biodiversidade se adapta especificamente aos habitats associados à presença de herbívoros domésticos.

Para avaliar melhor o impacto dos herbívoros na biodiversidade é necessário identificar quais os principais fatores diretos para a perda de biodiversidade, presentes no relatório do *Millenium Ecosystem Assessment* (2005), sendo eles: alterações de habitat, alterações climáticas, poluição, sobre-exploração e espécies invasoras. Para cada um destes fatores, Teillard et al. (2016) identificaram as principais categorias de pressões sobre a biodiversidade, mais específicas no contexto da produção pecuária (Figura 1.6).

A influência do gado na biodiversidade não se restringe às pressões negativas, existindo também vários tipos de benefícios. Nesse sentido, é possível verificar na Figura 1.6 que para cada um dos fatores de perda de biodiversidade, existem simultaneamente pontos positivos e negativos associados à presença destes animais e aos seus efeitos na biodiversidade.

No que diz respeito à alteração de habitat, a sua degradação e/ou destruição pode ser causadas pela ocupação dos herbívoros. Por outro lado, a sua presença pode também potenciar a criação e/ou restauro de habitats, bem como da sua manutenção, promovendo igualmente a conectividade entre paisagens. Por exemplo, o pastoreio pode ser uma fonte de erosão e degradação da terra em áreas em que a atividade é recente e a vegetação indígena é sensível ao pastoreio. No entanto, o pastoreio extensivo também permite a manutenção da biodiversidade em muitos ecossistemas (Frank, 2005) nos quais o gado, quando gerido adequadamente, assume o papel funcional dos herbívoros selvagens (Bond & Parr, 2010). Na Europa, os sistemas de produção extensiva de animais são fundamentais para manter habitats permanentes de pastagens com altos níveis de biodiversidade (Rook et al., 2004)

Relativamente aos outros indicadores de perda de biodiversidade, é igualmente referido que o impacto dos herbívoros provoca alterações, tanto positivas como negativas, ao nível da poluição, alterações climáticas e espécies invasoras que afetam diretamente a biodiversidade. Considera-se que os animais contribuem para o aumento da ecotoxicidade, mas, em contrapartida, apresentam um impacto positivo no ciclo dos nutrientes.

A herbivoria influencia fortemente a estrutura e a função da comunidade vegetal e os processos do solo através de três mecanismos principais, que atuam simultaneamente em diferentes escalas espaciais e temporais. Em primeiro lugar, a inclusão de folhas na sua alimentação afeta diretamente as plantas, através da remoção e consumo de tecidos vegetais; posteriormente, a biomassa vegetal é convertida em excrementos e urina, permitindo a redistribuição de nutrientes no ecossistema (Hobbs, 1996), estimulando as atividades microbianas do solo, que por sua vez aumentam a mineralização de azoto e promovem a aquisição de nutrientes e a produtividade das plantas (Hamilton et al., 2001). Finalmente, a deslocação dos grandes herbívoros tem efeitos no microclima e na estrutura do solo, uma vez que diminui a cobertura vegetal e contribui para a compactação do solo (Veldhuis et al., 2014).

Por outro lado, nas regiões com clima temperado, como é o caso da Europa, a intensificação dos sistemas de pastagens teve efeitos muito adversos na biodiversidade durante as últimas décadas (Vickery et al., 2001). A fertilização e excreção de nutrientes alterou significativamente os ciclos dos nutrientes (Bouwman et al., 2009), levando à poluição difusa do azoto e fósforo (Jongbloed & Lenis,

1998). Nos solos, maiores concentrações e acidificação de nutrientes modificam a composição de espécies e a estrutura dos ecossistemas terrestres. (Clark et al., 2007)

Por fim, as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) relacionadas com a atividade agropecuária representam uma parte significativa das emissões induzidas pelo homem - cerca de 14,5% de acordo com Gerber et al., (2013). Essas emissões contribuem para as alterações climáticas, que por sua vez representam um importante fator de perda de biodiversidade à escala global.

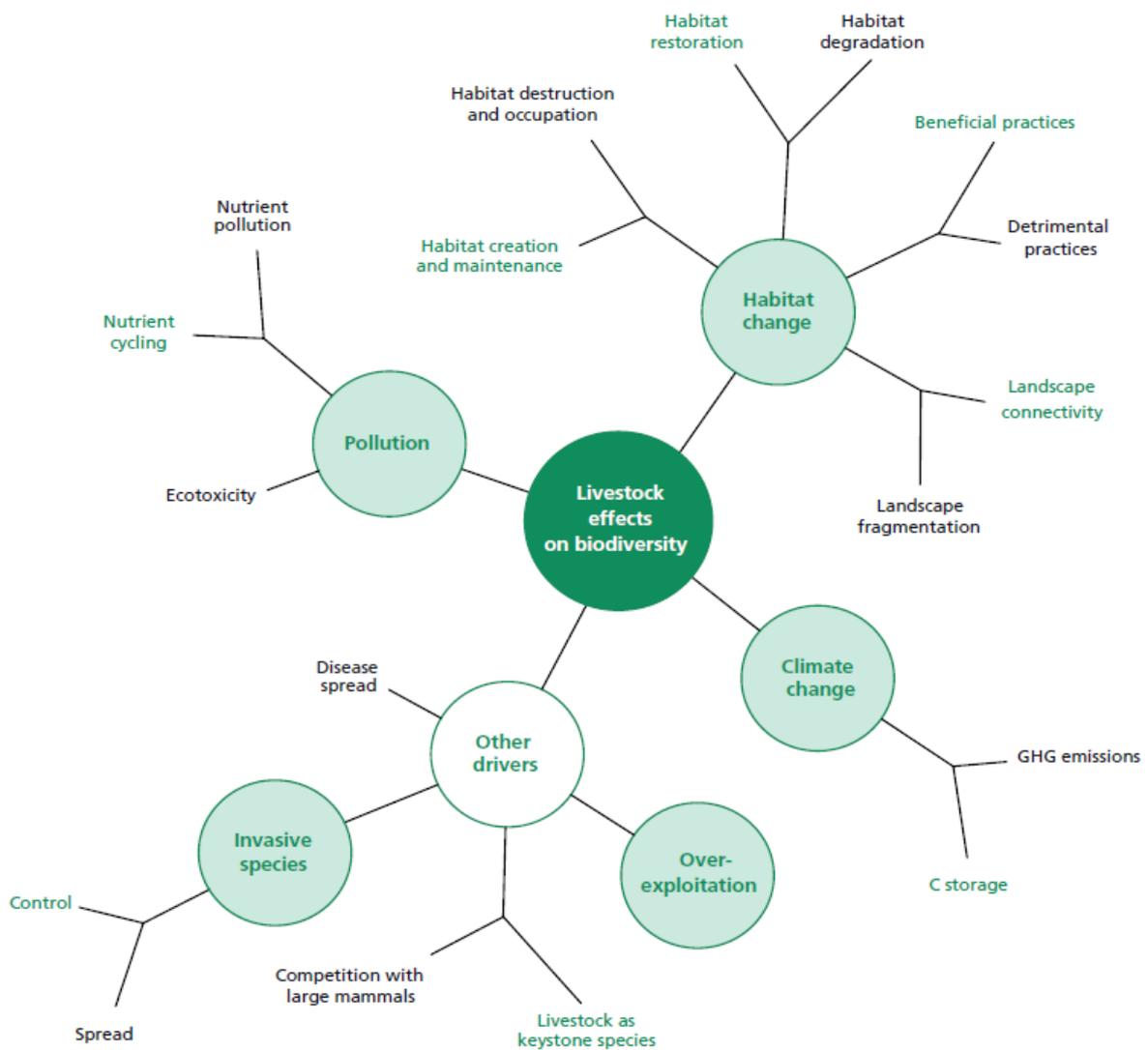


Figura 1.6 Efeitos do gado na biodiversidade (Fonte:Teillard et al. 2016)

#### 1.4. Casos de estudo de gestão de ecossistemas com herbívoros domésticos

O abandono da produção animal extensiva em áreas agrícolas marginais levou a um decréscimo das populações de herbívoros domésticos que não foi compensado por um aumento de herbívoros selvagens. Assim, tornou-se necessário procurar soluções que minimizassem os efeitos da ausência de herbivoria nos ecossistemas. Nesse sentido, uma das opções a ter em consideração passa pela valorização do papel ecológico funcional dos herbívoros domésticos como ferramenta de gestão dos ecossistemas. Mena, Y. et al. (2015), abordam a utilização de ruminantes no controlo de matéria combustível como prevenção para incêndios florestais na região de Andaluzia. Os objetivos desse estudo centraram-se na caracterização e tipificação das explorações de gado que participaram no programa de pastoreio de controlo de combustível na Andaluzia e em propor estratégias para aumentar a viabilidade económica destas explorações e melhorar os resultados do pastoreio para prevenção de incêndios florestais (Figura 1.7)

Os resultados demonstraram que as principais vantagens identificadas com este estudo se relacionavam com a melhorias na alimentação e reprodução dos animais utilizados, que se traduziam em melhorias de produtividade e na gestão das pastagens disponíveis. Constatou-se também que os melhores resultados na redução de matéria combustível se verificavam quando existiam grandes rebanhos, compostos por ovelhas e cabras, com pouca disponibilidade de alimento por animal, e durante um longo período de tempo. Por outro lado, as limitações identificadas relacionam-se essencialmente com a falta de recursos humanos e com as queixas relativamente aos salários reduzidos que eram atribuídos aos pastores.

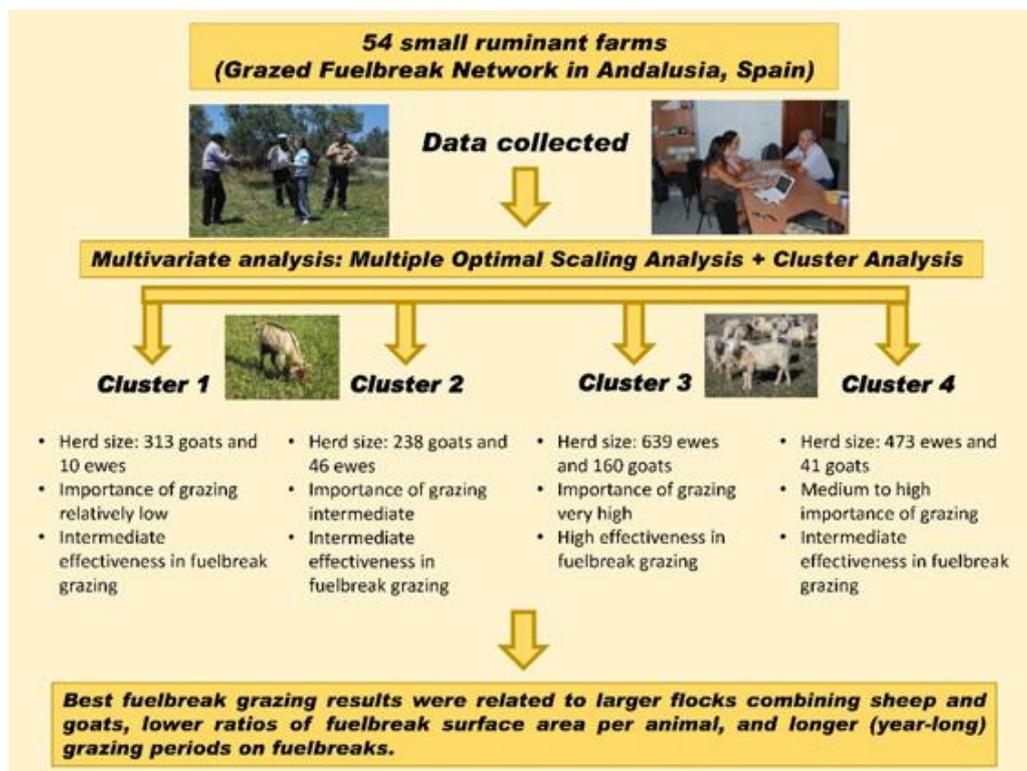


Figura 1.7 Esquema do projeto de utilização de herbívoros para controlo de biomassa combustível na Andaluzia (Fonte: Mena et al., 2015).

O segundo caso estudo, descrito por Hall e Bunce. (2019) aborda a conservação de uma população de gado bovino (*Bos taurus*) no parque Chillingham, no Norte de Inglaterra. Considera-se que os bovinos, e em particular algumas raças, podem contribuir como substitutos do papel ecológico anteriormente desempenhado pelos auroques (*Bos primigenius*), sendo por isso utilizados em iniciativas de *rewilding* e de restauro ecológico. Até 2004, as pastagens do parque eram utilizadas por gado bovino e ovino. No sentido de perceber o impacto desse pastoreio foram realizadas no local que mostraram que a diversidade de plantas tinha diminuído de 33.8 espécies/m<sup>2</sup> em 1979 para 22.6 espécies/m<sup>2</sup> em 2006.

Com a remoção do gado bovino do parque os objetivos de conservação deixaram de estar centrados na conservação do gado bovino, sendo alargado a todo o ecossistema envolvente, conciliando assim a conservação da população de *Bos taurus* com a recuperação da diversidade das plantas.

O estudo demonstra o potencial do uso de grandes herbívoros na gestão de biodiversidade, onde neste caso foi possível, através de uma gestão correta do pastoreio aliada a objetivos de conservação, manter e aumentar o efetivo da população de bovinos e também obter um incremento da diversidade de plantas

O terceiro caso-estudo foi realizado por Carmona et al. (2012), que estudou os efeitos do pastoreio sazonal na regeneração da azinheira nas Dehesas Mediterrâneas. Para esse efeito, foram consideradas dezoito propriedades com dois tipos de pastoreio diferentes, nove delas correspondiam a sistemas permanentes e as outras nove caracterizavam-se por um sistema de transumância. Foi também garantida a diversidade de amostra relativamente ao tipo de animais utilizados para o pastoreio, sendo que, entre as propriedades estudadas, nove delas eram ocupadas por ovelhas, seis por gado e três por ambas as espécies.

Estas propriedades eram dominadas essencialmente por azinheiras, com uma densidade de árvores adultas bastante variável entre propriedades. No entanto, procurou-se garantir a semelhança dessas densidades para os dois tipos de pastoreio.

Os resultados para este estudo indicam que existe uma relação clara entre o sistema de pastoreio e a pressão exercida sobre as azinheiras. Isto é, a pressão exercida pelos animais é proporcional ao tempo de pastagem, pelo que se pode concluir que os sistemas de pastoreio permanentes são mais suscetíveis de provocar alterações nos ecossistemas do que o pastoreio de transumância.

Nesse sentido, o *virtual fencing*, devido à sua flexibilidade, poderia ser um contributo importante na gestão dos animais, permitindo alterar facilmente as zonas de pastagem, promovendo assim a rotatividade das pastagens e diminuindo a pressão sobre os terrenos. É também possível excluir a presença do gado e ovelhas de áreas mais sensíveis, por exemplo, áreas com uma elevada densidade de azinheiras juvenis.

### **1.5.O uso de virtual fencing como uma oportunidade para a gestão de ecossistemas**

As “cercas” podem ser definidas como estruturas que servem de barreira, ou fronteira, normalmente construídas por pilares interligados por arames, madeira ou outro tipo de placas (Umstatter C., 2011). Este é, atualmente, o método mais utilizado na gestão e controlo de gado nos países desenvolvidos. No entanto, existem várias limitações associadas a este tipo de barreiras fixas, nomeadamente a sua falta de flexibilidade, que inibe a sua rápida alteração perante a necessidade de mudança. Esta inibição tem um impacto direto na gestão dos terrenos e dos próprios animais, uma vez que não permite, por um lado, ser rapidamente adaptada às alterações sazonais das pastagens, o que se traduz em falta de alimento para o gado em determinadas alturas do ano, e por outro, a remoção de animais de áreas sensíveis em determinadas alturas do ano, como é o caso de linhas de água ou terrenos recentemente cultivados (Umstatter C., 2011; Campbell D. et al.,2017). Dentro das cercas fixas, as elétricas são aquelas que apresentam uma maior flexibilidade. No entanto, o seu processo de construção e manutenção é demorado e difícil de realizar, especialmente em áreas mais remotas, onde muitas vezes não há acesso à rede de abastecimento elétrico, impossibilitando o seu funcionamento (Jachowski et al., 2013).

Para além dos problemas relacionados com a falta de flexibilidade, a construção e manutenção deste tipo de cercas é também uma limitação. Em sistemas de pastoreio extensivo, as áreas de pastagem ou cursos de água podem ser muito grandes e difíceis de cercar, devido às características do terreno ou à falta de acesso, e, portanto, a construção de cercas físicas, que permitem um melhor controlo e monitorização do movimento dos animais, geralmente pode ser restringida devido às elevadas exigências de mão-de-obra, custo ou viabilidade (Jachowski, S. et al., 2013; Campbell D. et al., 2018).

Os habitats de conservação são, geralmente, melhor geridos quando associados a um pastoreio controlado. A gestão do gado é acompanhada por vários desafios, que podem incluir o contacto limitado do agricultor com os animais em áreas de pastagens extensivas ou a restrição de utilização de ecossistemas sensíveis e/ou perigosos no caso dos sistemas intensivos. Essas limitações podem resultar em problemas de bem-estar animal, caso os mesmos contraíam lesões ou doenças que não são detetados por longos períodos de tempo ou na contaminação e destruição de habitats naturais (Kearton T. et al.,2019).

O pastoreio de conservação é uma ferramenta útil para criar habitats necessários para certas espécies raras, tanto de plantas como de outros animais, bem como para a prevenção de incêndios (Bailey W. et al., 2018). Portanto, o desenvolvimento de cercas mais flexíveis é essencial e irá constituir um grande benefício para fins de gestão e conservação dos ecossistemas, oferecendo igualmente o potencial para melhorar a eficiência na realização de pastoreio. Como solução, têm sido desenvolvidos alguns sistemas de cercas virtuais que, remotamente, permitem manter animais limitados a uma área previamente definida (Umstatter C., 2011). Para isso contribuíram os constantes avanços da tecnologia que, combinados com uma melhor compreensão do comportamento e bem-estar dos animais, transformam a realidade das cercas virtuais numa solução sustentável e com possíveis

reduções nos custos de mão-de-obra e matéria prima em relação às cercas convencionais (Umstatter C. et al., 2014).

O conceito de *virtual fencing* tem vindo a ganhar força junto da comunidade científica nos últimos anos, no sentido de desenvolver uma solução inovadora que permita otimizar a gestão de pastoreio. Este crescente interesse pelo tema, reflete-se no número de pesquisas realizadas online (Figura 1.8); search string: (“virtual fenc” OR “geofenc” OR “wireless fenc” OR “biological fenc”) –“pet ), onde é possível verificar que se trata de um conceito relativamente recente cuja procura apresenta uma tendência de crescimento rápido e consistente.

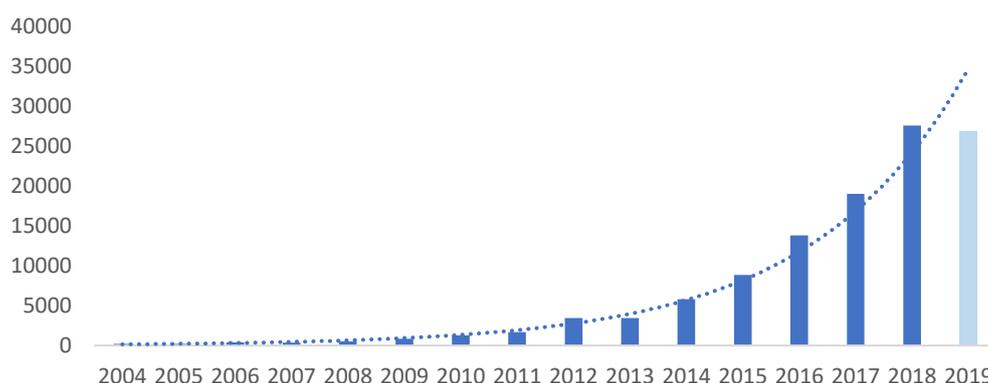


Figura 1.8 Evolução do número de pesquisas efetuadas no Google sobre virtual fencing nos últimos 15 anos (Fonte:Próprio autor)

Umstatter (2011) define o *virtual fencing* como uma estrutura que serve de cerca, barreira ou fronteira, sem barreiras físicas. Para que o *virtual fencing* funcione, os animais necessitam de estar equipados com uma coleira de GPS, associada a um sistema que emite um sinal sonoro e outro que transmita um estímulo elétrico. À medida que o animal se aproxima de uma *virtual fence* pré-determinada, o colar GPS emite um sinal sonoro e caso o animal continue a caminhar em direção à barreira, recebe um estímulo elétrico imediato, geralmente de cerca de 800 V, por períodos nunca superiores a um segundo (Campbell et al., 2018; Lee; Colditz e Campbell, 2018). Os animais são previamente treinados para entender o funcionamento do *virtual fencing* através do condicionamento operante, um método de aprendizagem que utiliza a recompensa e a punição para moldar o comportamento (Skinner, 1938). Desta forma os animais aprendem a responder ao estímulo auditivo, afastando-se das barreiras definidas remotamente, para evitar o choque elétrico.

O *virtual fencing* tem sido essencialmente desenvolvido para finalidades agrícolas. No entanto, apresenta potencialidades que permitem a sua aplicação na gestão e restauro dos ecossistemas. A flexibilidade deste sistema poderá permitir a sua implementação em qualquer área, mesmo nas áreas de difícil acesso, permitindo também a alteração da zona de intervenção através de um sistema informático, sem custos associados, bem como a possibilidade de criar zonas secundárias, dentro da área de pastoreio inicialmente definida, que permitem a proteção de zonas ou elementos sensíveis, como galerias ripícolas ou regeneração natural de árvores (Bahlo, C. et al., 2018).

## 1.6.Exemplos de soluções comerciais existentes

### 1.6.1. Boviguard

O sistema Boviguard (Figura 1.9) funciona através da utilização de coleiras para bovinos, suportadas por transformador a bateria e um cabo de indução colocado à superfície ou enterrado no chão. Quando o animal, portador do colar *Boviguard*, se aproxima do cabo de indução, é acionado um som de aviso e, se o animal continuar a sua aproximação, é acionado um estímulo elétrico. Um estudo realizado com este sistema (Umstatter, C et al., 2014) reporta o teste com um grupo de 10 vacas, portadoras de colares, equipados com sistema GPS, para identificar a localização, e sensores de atividade para recolher dados comportamentais. Foram criadas duas zonas de exclusão, separadas consecutivamente em diferentes áreas do campo de testes, com pontos de controlo que alternavam entre períodos de ativação e desativação da barreira.

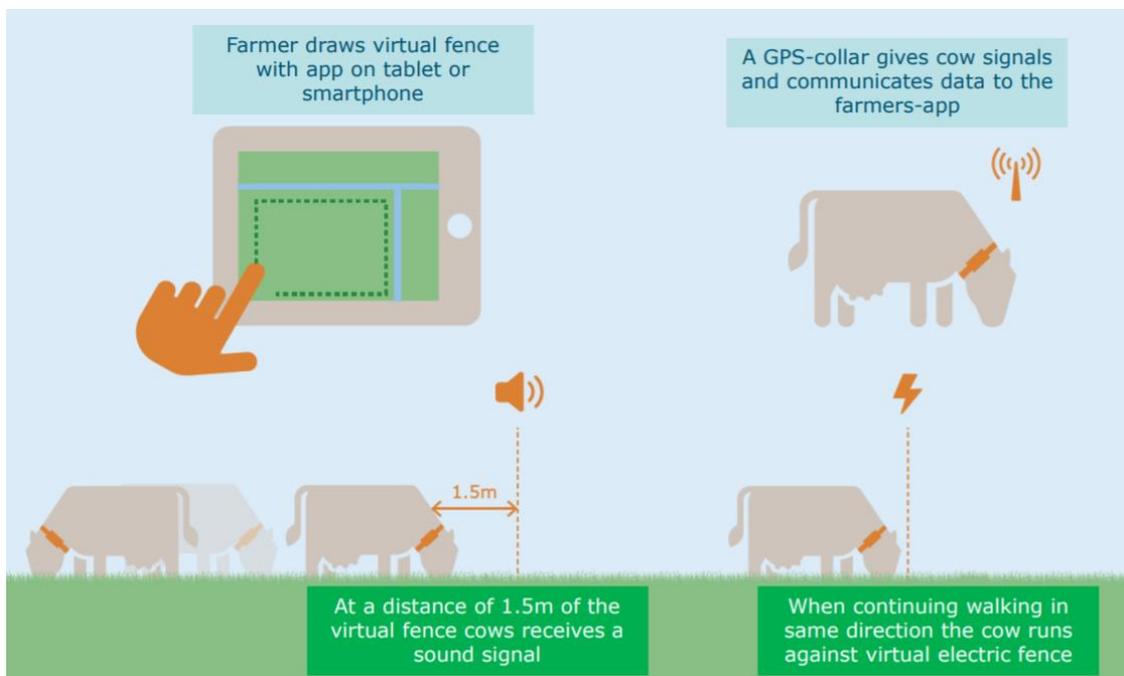


Figura 1.9 Ilustração de funcionamento do sistema BoviGuard (Fonte: P. Hogewerf e P. Koene, 2018)

O sistema impediu com sucesso que os animais cruzassem a linha da cerca virtual, não sendo encontradas alterações na atividade geral ou no comportamento dos animais. Houve, no entanto, mudanças significativas no padrão de uso da restante da área do campo quando o sistema de vedação foi ativado. No final dos ensaios, o cabo não ativado foi deixado no chão para um período final de controlo, e verificou-se que a sugestão visual impediu os animais de entrarem na área excluída.

O estudo mostrou a eficácia dos estímulos elétricos instalados em colares, uma abordagem que poderá fornecer soluções para sistemas de gestão, nos quais é necessário mover as cercas frequentemente, tais como pastagens em tiras, gestão e conservação de sistemas naturais, em áreas e habitats sensíveis e sistemas pastoris em terrenos onde as cercas convencionais não são viáveis.

### 1.6.2. eShepherd™

O eShepherd™ ([www.agersens.com/eshepherd/](http://www.agersens.com/eshepherd/)) corresponde a um colar com GPS (Figura 1.10 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) e um aplicativo móvel para cercar, mover ou monitorizar animais. Os limites do GPS são carregados no colar, sendo possível defini-los para um ponto específico da propriedade através do *Google Maps*.

De acordo com os promotores, este sistema foi desenvolvido para atender aos mais altos padrões de bem-estar animal, utilizando um programa de treino exclusivo, que permite aos animais prever e controlar o seu ambiente. O eShepherd™ replica os princípios de aprendizagem de uma cerca elétrica, mas utiliza um estímulo sonoro em vez de um estímulo visual para indicar a localização da cerca. No caso de uma cerca elétrica, quando os animais se aproximam pela primeira vez veem o fio (estímulo visual), e recebem um choque elétrico quando avançam e tocam no fio. Após algumas repetições, aprendam a evitar o fio. O eShepherd™ funciona da mesma maneira, ou seja, quando os animais se aproximam de uma cerca virtual pela primeira vez, a coleira emite um estímulo sonoro. Se o animal ignorar esse sinal e continuar a caminhar em direção à cerca, o colar produz um único estímulo elétrico suave (muito mais baixo que uma cerca elétrica) que deixa o animal desconfortável. Se o animal para e inverte o sentido da marcha ou se afasta quando ouve a sugestão de áudio, o sistema não ativa o estímulo elétrico. Da mesma forma como uma cerca elétrica, os animais aprendem na segunda ou terceira vez que precisam de parar ou se desviar quando ouvem o som.

Para além das características já mencionadas, estes colares incluem ainda um painel fotovoltaico, permitindo uma maior autonomia e diminuição da necessidade de substituir as baterias do dispositivo, acesso à internet, que permite a troca de informação entre o colar e o sistema responsável pela definição das *virtual fences* e um quadro que permite monitorizar o software do sistema.



Figura 1.10 Colar eShepherd com GPS e aplicativo móvel (Fonte: <https://www.agersens.com>)

### 1.6.3. SheepIT

O SheepIT ([www.av.it.pt/sheepit/](http://www.av.it.pt/sheepit/)) (Figura 1.11) é um sistema português, que corresponde a uma ferramenta baseada na Internet of Things (IoT) para restrição autónoma da postura e alimentação dos animais. Este sistema permite o uso de rebanhos de ovelhas para remover vegetação espontânea (“ervas daninhas”) de culturas sensíveis, como é o caso das vinhas (Figura 1.12). De acordo com os promotores, o SheepIT apresenta várias vantagens relativamente às cercas elétricas, como:

- Custos de instalação reduzidos
- Maior flexibilidade
- Supervisão de rebanho em tempo real
- Monitoramento de integridade em tempo real

Este projeto tem como objetivo desenvolver um sistema baseado em IoT, capaz de controlar a postura animal, limitando a sua capacidade de se alimentar de videiras e uvas, e implantar cercas virtuais para controlar áreas de alimentação animal. As vantagens deste sistema dividem-se entre ganhos de produção e menor impacto ambiental uma vez que elimina a utilização de herbicidas no controlo de ervas infestantes (evitando que os mesmos possam contaminar as uvas e os vinhos) e, conseqüentemente, reduz a necessidade de arar os terrenos (reduzindo o consumo de combustíveis fósseis, e os custos para os agricultores). Nesta situação, a fertilização do solo é assegurada de forma natural, devido à presença das ovelhas (Figura 1.12).



Figura 1.11 Dispositivo utilizado no sistema de virtual fencing SheepIT (Fonte: [www.av.it.pt/sheepit/](http://www.av.it.pt/sheepit/))



Figura 1.12 Exemplo de aplicação do SheepIT. (Fonte: [www.av.it.pt/sheepit/](http://www.av.it.pt/sheepit/))

## 1.7. Objetivos e Estrutura da Tese

Tendo em consideração a necessidade de criação de novos modelos de gestão dos ecossistemas, esta dissertação tem como objetivo geral analisar a possibilidade de adaptação e transformação do sistema de *virtual fencing*, originalmente desenvolvido com finalidades agropecuárias, numa ferramenta tecnológica de gestão e restauro de ecossistemas naturais.

Para isso, é necessário perceber o modo de funcionamento desta ferramenta e quais as condições e limitações à sua implementação, tais como: quais as espécies animais que melhor se adaptam ao *virtual fencing*, quais as suas vantagens económicas e ambientais e perceber as possíveis limitações associadas à sua utilização.

Esta tese está estruturada em cinco capítulos principais, que se subdividem em subcapítulos de modo a tornar claros cada um dos tópicos abordados

Assim, o Capítulo 1 corresponde à introdução do trabalho realizado, com a exposição do problema identificado, o estado da arte e os objetivos que se pretendem alcançar. O Capítulo 2 apresenta a metodologia utilizada na recolha e tratamento de dados, desde a definição da *search string* aos critérios de análise dos artigos. No Capítulo 3 estão expostos os resultados quantitativos e qualitativos obtidos através da análise dos artigos. O Capítulo 4 expõe a discussão dos resultados e as considerações finais/conclusão da tese.

## 1.8. Contributo da tese para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram aprovados e adotados na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, no Rio de Janeiro, em 2012 substituindo os Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM), aprovados em 2000 para combater a pobreza. O novo conjunto de objetivos ambiciona responder a um maior leque de desafios globais, incluindo desafios ambientais, políticos e económicos urgentes. Deste modo, foram criados dezassete objetivos, focados em áreas que afetam a qualidade de vida das gerações atuais e futuras e que definem as prioridades e aspirações do desenvolvimento sustentável global para 2030. Dentro dos dezassete ODS, é possível identificar cinco grandes áreas (BCDS, [www.ods.pt](http://www.ods.pt)):

- **Pessoas** – erradicação da pobreza e fome, da promoção da dignidade e da igualdade;
- **Planeta** – consumo e produção sustentáveis, combate às alterações climáticas e à gestão dos recursos naturais;
- **Prosperidade** – realização pessoal e progresso económico e social;
- **Paz** – sociedades pacíficas, justas e inclusivas, livres do medo e da violência;
- **Parcerias** – integração transversal, interconexão e mobilização conjunta em prol dos mais vulneráveis.

Nesse sentido, esta tese pretende contribuir positivamente para os ODS, propondo medidas inovadoras que contribuam para o cumprimento dos mesmos até 2030. A aplicação de sistemas de *virtual fencing*, como ferramenta para a gestão e restauro de ecossistemas degradados, tem potencial para ter um impacto significativo nos ODS 13 (Ação Climática) e ODS 15 (Vida na Terra).

A revitalização de sistemas de produção animal de pequena escala, poderá ser geradora de novas oportunidades de negócio apoiadas na investigação e desenvolvimento tecnológico, e contribuir para a sustentabilidade socio económica de comunidades rurais, ao permitir a redução de custos de gestão e o uso de recursos forrageiros mais remotos e de baixo valor produtivo. Por outro lado, a diminuição da concentração de matéria combustível nas florestas também tem claras vantagens ao nível da prevenção de incêndios e, sempre que o sistema de *virtual fencing* seja aplicado corretamente, na proteção e conservação de espécies de plantas e habitats antes sujeitas a pressões como o sobre pastoreio ou a competição com espécies invasoras.

## 2. Métodos

### 2.1.Revisão Sistemática

Com o intuito de avaliar o estado da arte relativamente ao uso e desenvolvimento de *virtual fencing*, foi feita uma revisão sistemática da literatura associada a esta temática, isto é, uma revisão estruturada, para localizar, avaliar e sintetizar as melhores evidências disponíveis sobre uma questão de investigação específica, de forma a fornecer respostas informativas e baseadas em resultados (Boland, A. et al., 2017). A informação recolhida, além de permitir avançar no campo de investigação e informar acerca de futuras pesquisas, podem ser combinadas com a avaliação profissional, no sentido de tomar decisões sobre como realizar intervenções ou fazer alterações nas políticas. Revisões sistemáticas são consideradas a melhor maneira de sintetizar a informação de diversos estudos, seguindo etapas bem definidas e transparentes, nomeadamente: definição da questão ou identificação do problema, avaliação crítica das evidências disponíveis, síntese da informação analisada e formulação de conclusões relevantes (Boland, A. et al., 2017).

### 2.2.Search string

Os estudos primários – foco da revisão sistemática - são identificados através de motores de pesquisa em bases de dados científicas, e leitura de documentos e publicações científicas relevantes. Uma boa maneira de criar a “search string” é estruturá-la em termos de população, intervenção, comparação e resultado (Kitchenham & Charters 2007). Para esta tese, estando perante um tema recente e ainda com poucas entradas, a *search string* focou-se essencialmente na intervenção. Esta opção permite também obter informação sobre a população relevante e os contextos de uso que estariam, por sua vez, associados à componente de população e comparação.

A definição da “*search string*” surgiu através de conceitos e palavras-chave frequentemente encontrados em estudos caso e publicações relacionadas com *virtual fencing* durante a investigação prévia sobre o tema. Para garantir uma maior especificação dos artigos foram considerados dois tipos de expansores de pesquisa, um para que fosse possível “pesquisar também no texto integral dos artigos” e outro para “aplicar assuntos equivalentes”. Reduziu-se também a pesquisa a artigos disponíveis na biblioteca B-On (<https://www.b-on.pt/>).

As disciplinas consideradas nesta seleção foram: “Agricultura e Setor Agroindustrial”; “Biotecnologia”; “Botânica”; “Ciência”; “Ciências Aplicadas”; “Ciências da Terra e da Atmosfera”; “Ciências da Vida”; “Ciências do Ambiente”; “Engenharia”; “Geografia e Cartografia”; “Medicina Veterinária”; “Silvicultura”; “Tecnologia”; “Tecnologias da informação”; “Zoologia”

Numa primeira pesquisa bibliográfica, utilizou-se uma metodologia mais simples, cruzando apenas termos relacionados com *virtual fencing* (“*virtual fen\**” OR “*geofenc\**” OR “*wireless fenc\**” OR “*biological fenc\**”), definidos previamente através de revisão de literatura, onde se procurou identificar a diversidade de termos utilizados nos diferentes estudos, com termos associados à gestão da biodiversidade, obtendo-se os resultados expostos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Definição da Search String (Fonte: Próprio autor)

Pesquisa Principal			
Tema	Fases	Termos Aplicados/Ação	Nº de Resultados
Virtual Fencing	1ª fase	"virtual fen*" OR "geofenc*" OR "wireless fenc*" OR "biological fenc**"	2446
	2ª fase	"virtual fen*" OR "geofenc*" OR "wireless fenc*" OR "biological fenc**" AND "biodiv**"	2038
	3ª fase	"virtual fen*" OR "geofenc*" OR "wireless fenc*" OR "biological fenc**" AND "graz*" AND "biol*" AND "biodiv**"	202
	4ª fase	Artigos disponíveis para download	126
	5ª fase	Leitura e análise de artigos. Excluídos 74 artigos que não correspondiam diretamente aos termos da pesquisa	52
<b>Número final de artigos – Pesquisa Principal</b>			<b>52</b>
Pesquisa Adicional			
Virtual Fencing	1ª Fase	"virtual fen*" OR "geofenc*" OR "wireless fenc*" OR "biological fenc**"	2446
	2ª fase	"cattle" OR "cow" OR "heifer" OR "goat" OR "sheep" OR "lamb" OR "livestock"	386
	3ª Fase	"graz*" OR "herb**"	324
	4ª Fase	"biodiv**" OR "biol**"	203
	5ª Fase	Restrição dos resultados a revistas acadêmicas, livros e resenhas	124
	6ª Fase	Comparação com resultados da Pesquisa Principal e remoção de artigos duplicados	42
	7ª Fase	Leitura e análise de artigos. Excluídos 19 artigos que não correspondiam diretamente aos termos da pesquisa	23
<b>Número final de artigos – Pesquisa Adicional</b>			<b>23</b>
Pesquisas complementares			
Incêndios	1ª fase	"virtual fen*" OR "geofenc*" OR "wireless fenc*" OR "biological fenc**" AND "wildfire"	3
	2ª fase	<b>Seleção dos seguintes assuntos:</b> "corridors", "environmental impact analysis", "adaptative management", "biological invasions", "ecological connectivity", "ecological disturbances", "ecology", "mammals", "nature study", "plant invasions".	
Espécies Invasoras	1ª fase	"virtual fen*" OR "geofenc*" OR "wireless fenc*" OR "biological fenc**" AND "invasive species"	21
	2ª fase	<b>Seleção dos seguintes assuntos:</b> "ecology", "vertebrates", "animal species", "animals", "biodiversity", "biology and life sciences", "climate change", "ecology and environmental...", "organisms", "research article", "biotic communities", "predation", "predation (biology)", "animal behaviour", "animal types", "endangered species", "introduced organisms", "invasive plants", "population groupings", "reptiles", "wildlife", "wildlife conservation", "zoology", "biological invasions", "adaptation", "agricultural ecology", agricultural landscapes", "agricultural workers", "agriculture", "animal mechanics", "animal morphology", "animal populations", "aquatic plants", "biodeposition".	
Áreas Protegidas	1ª fase	"virtual fen*" OR "geofenc*" OR "wireless fenc*" OR "biological fenc**" AND "protected areas"	28
	2ª fase	<b>Seleção dos seguintes assuntos:</b> "ecology", "vertebrates", "animal species", "animals", "biodiversity", "biodiversity conservation", "biology and life sciences", "ecology and environmental...", "organisms", "research article", "animal behaviour", "animal types", "endangered species", "population groupings", "wildlife", "zoology", "agriculture", "people and places", "conservation science", "earth sciences", "natural areas", "geography", "traffic safety and wildlife", "forests and forestry", "population density", "farms", "fences", "fragmented landscapes", "geofence", "grazing", "wildlife conservation", "mammals", "conservation", "environmental impact analysis", "habitats"	
Galeria Ripícolas	1ª fase	"virtual fen*" OR "geofenc*" OR "wireless fenc*" OR "biological fenc**" AND "riparian"	15
	2ª fase	<b>Seleção dos seguintes assuntos:</b> "ecology", "vertebrates", "animal species", "animals", "biodiversity conservation", "biology and life sciences", "ecology and environmental...", "organisms", "research article", "predation (biology)", "animal behaviour", "endangered species", "zoology", "agriculture", "bovines", "cattle", "livestock", "adaptative management", "biodiversity research", "biological divergence", "biological locomotion", "biotic communities", "ruminants", "trophic interactions", "grazing", "mammals"	
<b>Número de artigos encontrados – Pesquisa Complementar</b>			<b>67</b>
<b>Seleção de Artigos</b>	Após o cruzamento com artigos encontrados na pesquisa principal (remoção dos artigos repetidos) e análise dos restantes, foram excluídos 52 artigos que não correspondiam diretamente aos termos da pesquisa		15
<b>Número final de artigos – Pesquisa Complementar</b>			<b>15</b>

Tabela 2.2 Número total de artigos selecionados para revisão de conteúdo (Fonte: Próprio autor)

Tipo de Pesquisa	Número de resultados
Principal	52
Adicional	23
Complementar	15
<b>Número Total de Artigos</b>	<b>90</b>

Esta pesquisa foi realizada em 6 etapas, nas quais foram sendo adicionados novos termos, de modo a garantir uma maior especificidade dos resultados. Perante o reduzido número de artigos recolhidos numa primeira fase, após a leitura e análise, realizou-se uma nova pesquisa com termos mais específicos, nomeadamente dirigidos aos animais domésticos relevantes no uso de *virtual fencing*, adicionando também termos relacionados com pastagens e herbivoria.

Posteriormente, de forma a enriquecer o âmbito da revisão sistemática numa perspetiva de gestão da biodiversidade, foram identificadas na literatura já recolhida quatro áreas potenciais para o uso de *virtual fencing* na gestão de ecossistemas: Áreas Protegidas, Espécies Invasoras, Galerias Ripícolas e Incêndios Florestais. Nesta fase, de procura complementar de artigos, manteve-se a *search string* inicial, ou seja, os diferentes termos relacionados com *virtual fencing*, adicionando cada uma das áreas de intervenção identificadas (áreas protegidas, espécies invasoras, galerias ripícolas e incêndios florestais). Para garantir o enquadramento dos artigos com o tema pesquisado, foram selecionados tópicos diretamente relacionados, como listado na Tabela 2.1 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

### 2.3.Revisão de conteúdo e extração de dados

Embora uma pesquisa eficaz dos artigos contribua diretamente para a qualidade dos resultados, o processo de revisão corresponde a um momento chave, que dita se os objetivos inicialmente propostos serão ou não alcançados. Assim, após a compilação dos artigos encontrados através da *search string* foram definidos parâmetros de análise com o objetivo de tornar a recolha de informação mais eficiente.

É no processo de revisão de artigos que, efetivamente, se consegue comprovar se os artigos obtidos após a aplicação da *search string* poderão adicionar valor ao trabalho que queremos realizar. Para isso, foi aplicado um primeiro filtro de seleção que visava essencialmente perceber qual o tema do artigo, através do seu resumo e introdução, e quais os objetivos propostos. Este filtro permitiu selecionar apenas os artigos que abordavam diretamente a temática do *virtual fencing*, tanto ao nível de exemplos de aplicação como desenvolvimento de software ou bem-estar animal.

Esta primeira fase de triagem permitiu um tratamento de dados mais eficaz, reduzindo o número de artigos com informações irrelevantes para a tese. A cada um dos 90 artigos finais (Tabela 2.2) foi atribuído um código, que permitia ser mais facilmente identificado. Os artigos foram depois caracterizados através das seguintes variáveis: o ano de publicação, tipo de estudo (experimental,

teórico ou de revisão), país ou países em que o estudo foi desenvolvido, espécies animais utilizadas (nesta categoria alguns artigos apenas faziam referência a termos como “gado” ou “ruminantes”, enquanto que outros eram mais específicos mencionando a espécie testada, como vacas, ovelhas e cabras) e tipo de sistema de teste ou implementação (pastagem, florestal, montanhoso, aráveis ou culturas permanentes). Foram também identificados os objetivos dos artigos, sendo cada estudo classificado numa ou mais de cinco categorias: “melhoria de software”, “bem-estar animal”, “comportamento animal”, “gestão de valores naturais” e “gestão a produção”.

Os dados extraídos foram compilados numa base de dados em Microsoft Excel, e posteriormente analisados com vista a caracterizar o estado da arte relativamente ao uso de *virtual fencing* e responder aos objetivos propostos por esta tese.

### 3. Resultados

#### 3.1. Artigos Analisados

Dos 90 artigos selecionados e analisados (Tabela 2.2), verificou-se que quase de dois terços (64%) foram realizados em apenas três países: Austrália (27), Reino Unido (16) e Estados Unidos da América (15), que assim se apresentam como os maiores contribuidores para o desenvolvimento desta tecnologia, contribuindo também para o desenvolvimento da maioria das soluções comerciais atualmente existentes. No entanto, é possível verificar que o virtual fencing é já um tema global (Figura 3.1), com a totalidade dos estudos a estar distribuída por 28 países de 5 continentes (Europa, Oceânia, América, Ásia e África). É importante notar que alguns estudos foram associados a mais do que um país, devido a colaborações entre investigadores e universidades de diferentes países.

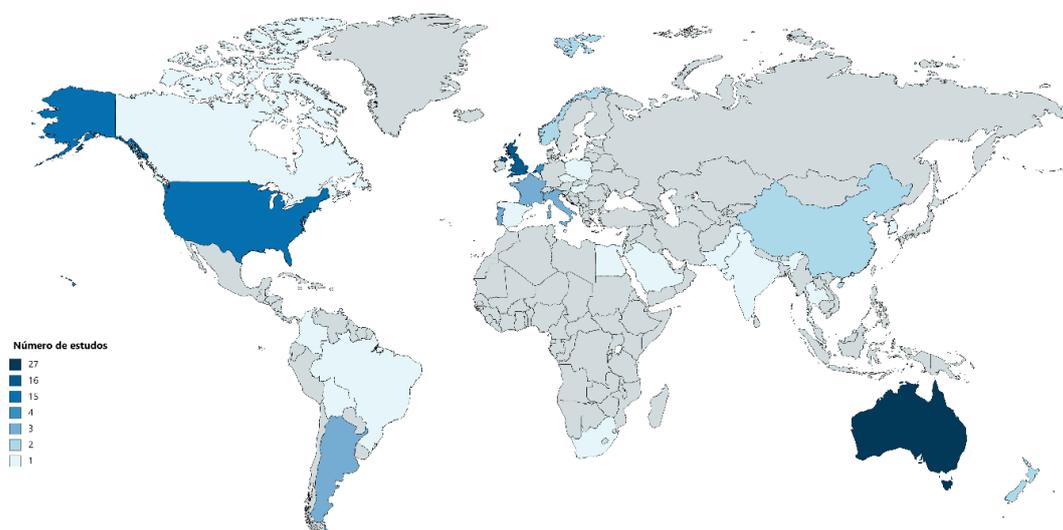


Figura 3.1 Distribuição geográfica dos artigos analisados (Fonte: Próprio autor, via mapchart.net)

A Figura 3.2 mostra a distribuição dos artigos analisados por ano. Apesar de alguma irregularidade, é possível verificar que a maioria destes estudos surgiram nos últimos dez anos. O crescente interesse nos benefícios do *virtual fencing* tem suscitado a necessidade dos investigadores em explorar este tema, tanto para aplicações agropecuárias como para a sua utilização enquanto ferramenta de gestão e restauro da biodiversidade.

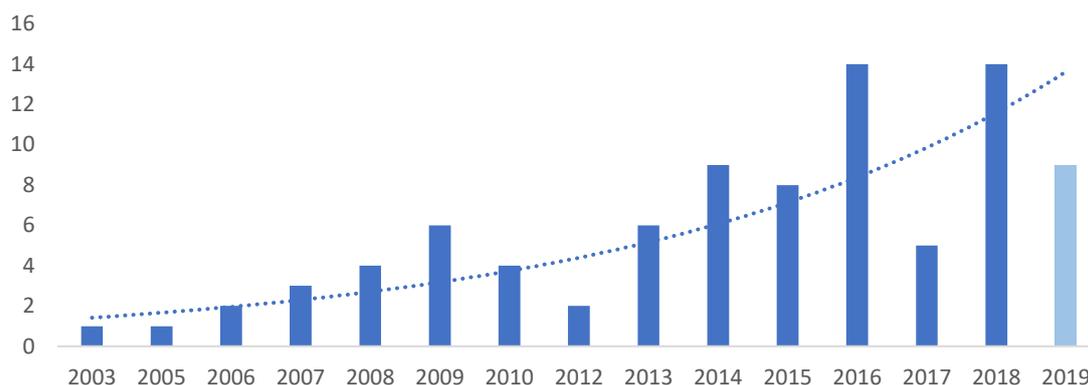


Figura 3.2 Distribuição do número de estudos por ano (Fonte:Próprio autor)

### 3.2.Tipos de estudo e objetivos específicos da investigação em virtual fencing

Como o *virtual fencing* é uma tecnologia recente, os artigos utilizados correspondiam essencialmente a estudos experimentais (Figura 3.3). Os estudos experimentais correspondem a estudos que testam as soluções comerciais disponíveis em diferentes sistemas naturais, avaliando o seu desempenho, essencialmente, em termos de bem-estar animal, manutenção de animais nas áreas definidas e a sua reação aos estímulos emitidos pelo colar, estudos teóricos correspondem a artigos realizados com finalidades académicas, que exploram o funcionamento desta tecnologia no sentido de descobrir as suas implicações e forma como se desenvolve. Por fim, os estudos de revisão fornecem uma visão integrada da aplicabilidade deste sistema e analisam as suas vantagens e limitações.

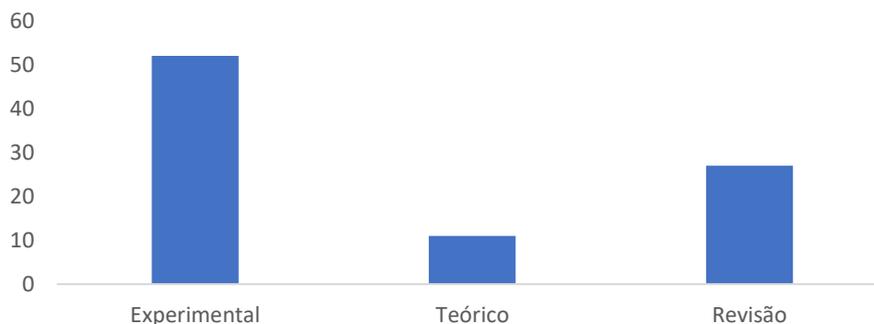


Figura 3.3 Distribuição dos artigos por tipo de estudo (Fonte:Próprio autor)

Na identificação dos objetivos dos estudos foram identificadas cinco principais categorias que abrangem os estudos analisados. Os objetivos gerais identificados prendem-se com o desenvolvimento e melhoria do software e design dos sistemas de *virtual fencing*; avaliação do comportamento e bem-estar animal expostos a estes sistemas; e perceber as vantagens da sua aplicação na gestão da atividade agropecuária e na gestão dos valores naturais. A Figura 3.4 sumariza a distribuição dos estudos pelas cinco grandes categorias de objetivos. Cada estudo foi caracterizado de acordo com o seu objetivo específico (i.e., a principal razão que motivou o estudo) e, se existentes, de acordo com outros objetivos presentes no texto (objetivos secundários). Estes estudos forneceram quer informação quantitativa, sobre a qual incide a caracterização dos estudos e estado da arte, mas também informação útil para a compreensão das vantagens e limitações do *virtual fencing*.

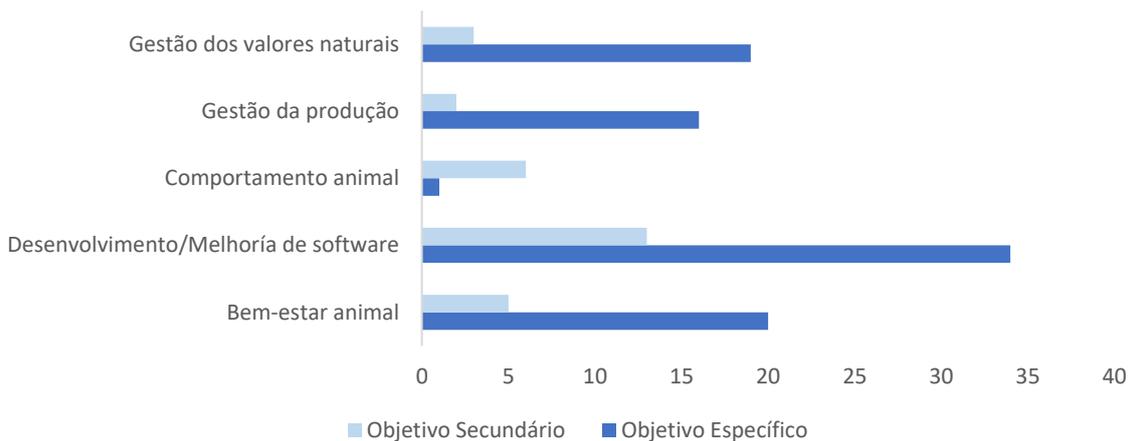


Figura 3.4 Objetivos específicos e secundários dos artigos revisados (Fonte: Próprio autor)

### 3.3. Sistemas de teste e implementação de virtual fencing

Na análise dos sistemas de teste foram consideradas duas componentes: tipo de animal e sistema biofísico de implementação da tecnologia. Relativamente aos animais utilizados, os artigos foram caracterizados de acordo com a descrição disponível no texto. Alguns estudos referiam a espécie animal em concreto (vacas, cabras e ovelhas) enquanto que outros usam descrições mais abrangentes, como “ruminantes” ou “gado”. A Figura 3.5 mostra o número de artigos para cada uma destas espécies, e também o número de artigos que não referenciaram nenhum animal ou grupo de animais em específico.

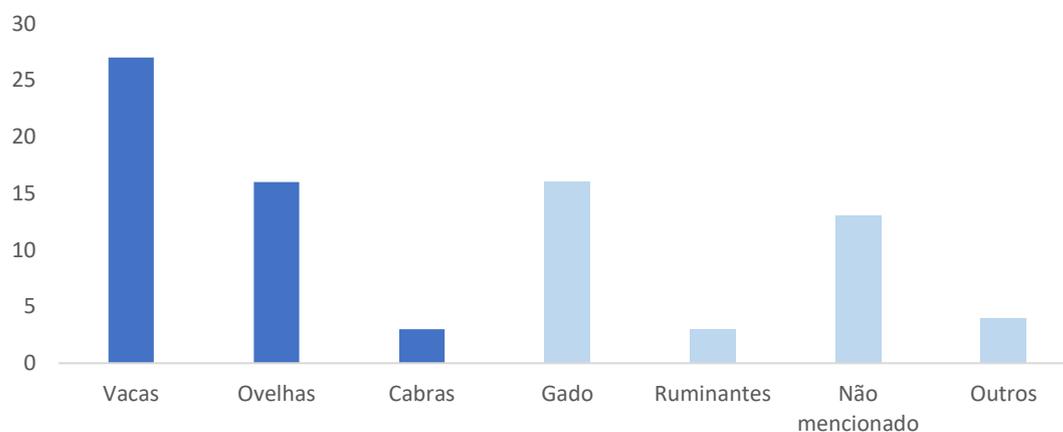


Figura 3.5 Espécies e/ou grupo de espécies abordadas nos artigos (Fonte: Próprio autor)

A maioria dos estudos foi conduzida em sistemas de pastagem, extensiva, para realizar testes aos dispositivos e avaliar o comportamento dos animais durante a utilização do *virtual fencing*. Existe também um número relevante de estudos em sistemas naturais, como floresta e montanha (Figura 3.6).

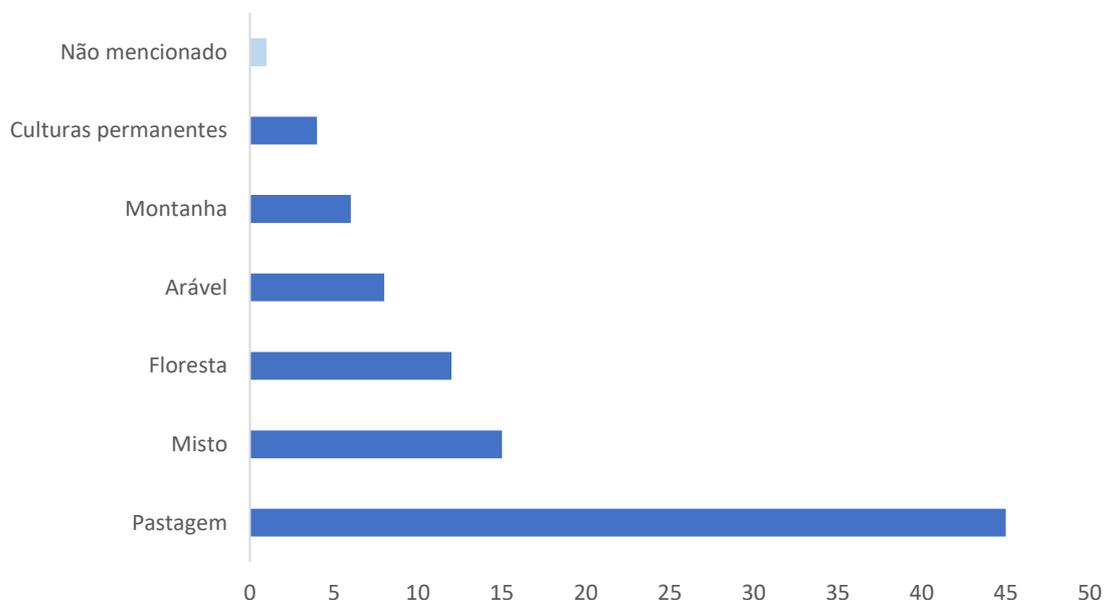


Figura 3.6 Tipos sistema utilizado nos artigos revistos (Fonte: Próprio autor)

### 3.4. Limitações das cercas convencionais

A exposição das limitações associadas às cercas convencionais revelou-se um fator determinante para o desenvolvimento de alternativas de gestão animal inovadoras. A Tabela 3.1 sintetiza os pontos negativos, referidos pelos vários autores, associados à utilização de cercas fixas na gestão de animais, essencialmente em regimes de pastoreio extensivo.

Tabela 3.1 Limitações associadas às cercas convencionais referidas nos estudos analisados nesta tese. (Fonte: Próprio autor)

Componente	Limitação	Referências
Custos associados Ambiente	- Elevado custo de construção e manutenção;	Umstatter, C. (2011)
	- Dependência de mão de obra intensa;	
Bem-estar animal	- Impactos negativos no ambiente e paisagem;	Umstatter, C et al. (2013)
	- Limitações de construção em áreas protegidas ou inacessíveis;	
Estrutura das cercas	- Limitação à circulação de espécies selvagens;	Jachowski, S et al. (2013)
	- Sobre-exploração da área cercada;	
	- Falta de flexibilidade espacial;	
	- Morte de animais por asfixia;	
	- Vulneráveis perante condições meteorológicas adversa e incêndios.	

### 3.5. Vantagens e Limitações associadas à utilização de Virtual Fencing

Um dos principais objetos desta tese era a perceção das vantagens e as limitações associadas à utilização do *virtual fencing*. Assim, na Tabela 3.2 estão compiladas as principais vantagens mencionadas na literatura, sendo a flexibilidade do sistema, a sua facilidade de instalação, mesmo em áreas remotas e a redução de custos de manutenção em relação às cercas convencionais, os pontos mais consensuais entre os vários autores.

Tabela 3.2 Vantagens associadas ao sistema de virtual fencing (Fonte: Próprio autor)

Componente	Vantagens	Referências
Custos associados	- Custos de instalação mais baixos (quando utilizado em sistemas extensivos de grande área)	Jachowski, S. et al. (2013)
	- Custos de manutenção reduzidos;	Umstatter C. (2011)
Ambiente	- Baixo impacto na paisagem e no ambiente;	Umstatter, C. et al. (2013)
	- Permite a circulação de espécies, nomeadamente selvagens;	
	- Elevada flexibilidade permite alterar os limites da zona de pastoreio com facilidade;	Lomax, S. et al. (2019)
	- Possibilidade de implementação em terrenos mais adversos;	
Estrutura das cercas	- Resistência a incêndios e fenómenos naturais;	Anderson, M et al. (2014)
	- Menor vulnerabilidade da infraestrutura	
	- Melhor gestão das pastagens, promovendo a rotatividade das culturas	
	- Ausência de mortes relacionadas com cercas físicas;	

Na Tabela 3.3, são apresentadas as principais limitações mencionadas nos artigos utilizados nesta revisão. A maioria dos autores considera que as questões relacionadas com o bem-estar animal e a variabilidade comportamental entre os animais são as que poderão criar mais dificuldades na aplicação de um sistema de *virtual fencing*

Tabela 3.3 Limitações associadas à utilização do virtual fencing (Fonte: Próprio autor)

Componente	Limitações	Referências
Bem-estar e comportamento animal	- Utilização de choques elétricos em animais;	
	- Não considera as diferenças comportamentais entre animais (da mesma e de outras espécies)	Umstatter, C. (2011)
	- Aprendizagem da localização das barreiras por parte dos animais limita a alteração das <i>virtual fences</i> ;	Campbell, L et al. (2018)
	- Design dos colares <i>standardizado</i> para todas as espécies aplicáveis à utilização de virtual fencing;	
Dispositivos	- Fixação do colar passível de provocar ulcerações nos animais;	di Virgilio, A et al. (2018)
	- Duração das baterias dos colares;	
Ambiente	- Eficiência do sinal GPS em áreas remotas;	Bahlo, C et al. (2018)
	- Heterogeneidade dos terrenos;	
Social	- Proteção dos animais em relação aos seus predadores naturais	
	- Riscos para seres humanos (caso entrem numa zona com barreira invisíveis e a um dos animais seja emitida um estímulo elétrico)	Jachowski, S et al. (2013)

### 3.6. Síntese dos resultados obtidos em estudos experimentais

Os principais resultados obtidos através da análise destes artigos sugerem que os sistemas de *virtual fencing* que foram utilizados apresentam uma grande eficiência na manutenção dos animais na área pré-definida (C. Umstatter et al., 2013; Campbell D. et al., 2018; Markus S. et al., 2014), tendo para isso contribuindo a sua capacidade de aprendizagem dos estímulos auditivos e elétricos (Markus S. et al., 2014; Kearton T. et al., 2019; Marini D. et al., 2018). Com o decorrer do processo experimental foi evidente a diminuição do número de estímulos administrado por dia, mantendo-se os mesmos sempre mais afastados dos limites definidos (M.O Monod et al., 2009; Lee C. et al., 2009).

Este afastamento também se pode traduzir num aspeto negativo, caso os animais associem o estímulo negativo à imagem de um local, fator que iria dificultar a sua transferência de um local para outro definido posteriormente.

No que diz respeito à reação das diferentes espécies animais a esta tecnologia, registaram-se dificuldades em dois estudos realizados com ovelhas (E. I. Burnberd et al. 2015; E. I. Burnberd et al., 2016). Nomeadamente, os estudos reportam que os animais reagiram de forma excessiva aos estímulos. No entanto, não foi claro que o método de treino aos estímulos tenha sido feito de forma eficaz (E.I Burnberg, et al., 2015). Já nos estudos realizados com vacas, todos os artigos reportam bons resultados finais que demonstram a capacidade do *virtual fencing* em manter os animais confinados a uma determinada área (Campbell et al., 2017; Umstatter C. et al., 2014). Não obstante, a grande variabilidade comportamental dentro dos animais de um mesmo grupo ou rebanho apresenta-se como o principal desafio e limitação do sistema de *virtual fencing*, sendo um tema recorrente e transversal a vários estudos (Handcock R. et al., 2009). Em concreto, a variabilidade no padrão de aprendizagem e resposta aos estímulos, torna o processo de aprendizagem menos eficaz.

### 3.7. Casos práticos de Conservação com recurso ao Virtual Fencing

A Tabela 3.4 expõe detalhadamente os quinze artigos (“Pesquisa Complementar”) - que representam casos práticos de conservação com recurso à utilização de virtual fencing. A maioria destes estudos são recentes (realizados nos últimos cinco anos), tendo sido utilizadas as tecnologias mais recentes entre as disponíveis para este sistema

Tabela 3.4 Casos práticos de Conservação associados à utilização de virtual fencing (Fonte: Próprio autor)

Autor(es)	País	Espécie animal	Sistema Agrícola	Objetivo Específico
Britton A. (2005)	Reino Unido	Gado	Misto	Avaliar efeitos do pastoreio
Campbell D. et al. (2018)	Austrália	Gado	Misto	Exclusão de animais
Jachowski D. et al. (2013)	EUA	-	Misto	Oportunidades de conservação da biodiversidade
S. Mcintyre K. et al. (2003)	Austrália	Gado	Pastagem	Oportunidades de conservação da biodiversidade
Welch D. et al. (2015)	Reino Unido	Ovelhas	Montanhoso	Avaliar efeitos do pastoreio
Mena Y. et al. (2015)	Espanha	Ruminantes	Misto	Prevenção de incêndios
Morgan-Davies C. et al. (2016)	Reino Unido	Ovelhas	Montanhoso	<i>Rewilding</i>
M. Walsh et al. (2016)	Reino Unido	Ovelhas	Pastagem	Avaliar efeitos do pastoreio
Bonari G. (2019)	Rep. Checa/Itália	-	Florestal	Avaliar efeitos do pastoreio
Rowaily S. et al. (2015)	Egipto/Árabiã Saudita	Gado	Misto	Avaliar efeitos do pastoreio
Zhu G. et al. (2016)	China	Gado	Misto	Avaliar efeitos do pastoreio
Corlett R. et al. (2016)	China	-	Florestal	<i>Rewilding</i>
Hayward M. et al. (2008)	Polónia/Austrália/África do Sul	-	Florestal	Oportunidades de conservação da biodiversidade
Hall S. et al. (2019)	Reino Unido	Vacas	Pastagem	Avaliar efeitos do pastoreio
Lovreglio R. et al. (2014)	Itália	Cabras	Pastagem	Prevenção de incêndios

Os objetivos principais para estes casos-estudo estão identificados na Figura 3.7, estando essencialmente relacionados com a perceção de pressão exercida pelos animais nos ecossistemas e a evolução da composição de espécies após a introdução de herbívoros; procura de novas oportunidades de conservação, como o recurso ao pastoreio para o controlo de matéria combustível, eficaz na prevenção de incêndios florestais ou a exclusão temporária de animais de habitats sensíveis (como galerias ripícolas) e a reintrodução de animais domésticos nos ecossistemas com objetivos de *rewilding*.

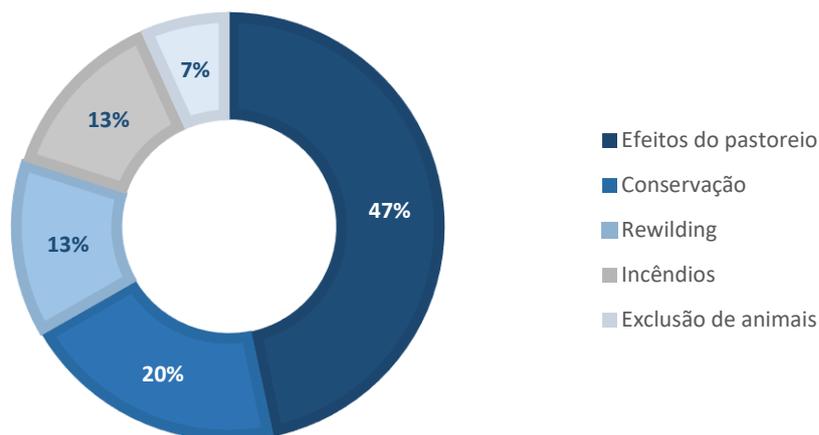


Figura 3.7 Distribuição dos estudos de conservação por objetivos (Fonte: Próprio autor)

Relativamente à pressão exercida pelos animais e à evolução da diversidade das espécies, verificou-se que são diretamente afetadas pela densidade do pastoreio (S.Mcintyre et al., 2003). Por outro lado, a manutenção dos animais dentro das áreas definidas (ou a sua exclusão de, por exemplo, habitats sensíveis) foi bem-sucedida nos estudos em que foi avaliada (Campbell, D. et al., 2018; Morgan-Davies C. et al., 2016).

## 4. Discussão

A revisão sistemática realizada para esta dissertação permitiu concluir que o *virtual fencing* é uma opção válida na gestão de animais em regimes extensivos, independentemente da sua finalidade (agropecuária ou conservação da biodiversidade). O seu papel principal passa pela restrição dos animais a uma zona pré-definida e, considerando os estudos utilizados, ficou claro que apresenta funcionalidades e características interessantes para o fazer.

Esta ferramenta tem beneficiado do desenvolvimento tecnológico para crescer e se adaptar às principais necessidades atualmente existentes em termos de gestão de gado. Nesse sentido, conscientes das vantagens que o um sistema de gestão eficaz pode trazer para as explorações agropecuárias e para a conservação de habitats ameaçados, existem cada vez mais autores a explorar a utilização de sistemas *virtual fencing*.

Centralizando a discussão dos resultados nos principais objetivos definidos para esta dissertação, ou seja, na adaptação do *virtual fencing* à gestão e restauro de ecossistemas degradados, importa essencialmente esclarecer quais as vantagens e limitações identificadas; qual o seu âmbito de aplicabilidade, isto é, em que condições os resultados são mais satisfatórios e avaliar a possibilidade de utilização de sistemas de *virtual fencing* para produção animal e projetos de conservação em simultâneo.

### 4.1. Vantagens e Limitações do Virtual Fencing para a Gestão da Biodiversidade

O *virtual fencing* corresponde a uma ferramenta de vedação sustentável particularmente interessante pelo potencial que apresenta, tanto a ao nível da gestão do património ecológico, como ao nível de melhorias na gestão da atividade pecuária, reduzindo a carga de trabalho e, conseqüentemente, os custos associados à construção de cercas convencionais. Para além disso, esta tecnologia abre também a possibilidade de gerir áreas que anteriormente não eram possíveis devido à dificuldade de acesso, às características do solo, que não permitiam a instalação de cercas, ou porque simplesmente os ganhos obtidos através da exploração animal não serviam para cobrir os custos de instalação das barreiras físicas (Umstatter C., 2011; Jachowski S. et al., 2013).

Uma das principais vantagens associadas à utilização de *virtual fencing* é a sua flexibilidade, traduzida na facilidade de adaptação dos limites das “barreiras”, que podem ser alteradas rapidamente, sem qualquer custo associado e, inclusive, remotamente (Umstatter, C., 2011). No que diz respeito à conservação de ecossistemas, a necessidade de alterações dos limites é frequente, tanto temporal como espacialmente. Esta rotação na ocupação dos terrenos permite uma exploração mais eficaz do crescimento sazonal das plantas, diminuem a compactação dos solos provocada pela presença do gado e a reestruturação de habitats através da exclusão ou inclusão temporário de animais em áreas específicas (Umstatter, C. et al., 2014).

Os estudos experimentais com *virtual fencing* incluídos nesta revisão demonstraram a eficácia deste sistema na exclusão e inclusão de animais dentro dos limites definidos. Todos os autores reportaram que o *virtual fencing* foi capaz de reter os animais dentro das áreas de estudo durante mais de 90% do

período experimental. Para isso, os animais deverão passar por um período de adaptação aos estímulos auditivos e elétricos emitidos pelo colar, através de um processo de aprendizagem associativa. Este processo consiste na percepção por parte do gado que, após um primeiro sinal áudio deverão mudar de direção para evitar que se aproximem do limite definido e recebam um estímulo elétrico (Bishop-Hurley, G. et al., 2006; Lee, C. et al., 2009; Markus, S. et al., 2014)

Estudos realizados com vacas (Lee, C. et al., 2009; Campbell, D. et al., 2018; Lomax, S. et al., 2019), ovelhas (Marini, D. et al., 2018; Kearton, T. et al., 2019) e cabras (Muminov, A. et al., 2019) demonstraram que todas estas espécies aprenderam a lidar com os estímulos emitidos pelos dispositivos de *virtual fencing*, sendo por isso verificada uma diminuição do número de choques elétricos ao longo dos períodos experimentais. Esta é uma das etapas mais importantes de todo o processo de implementação de um sistema de *virtual fencing*, funcionando de certa forma como uma triagem para os animais. O temperamento dos animais influencia a sua reação e sensibilidade aos estímulos, não sendo conveniente, especialmente em contexto de conservação, manter animais que reagem de forma exagerada e imprevisível, podendo colocar em causa todo o projeto (Markus, S. et al., 2014). A imprevisibilidade do comportamento animal corresponde a uma das principais limitações atribuídas ao *virtual fencing*, no sentido em que não pode ser compensada com o desenvolvimento tecnológico (Lomax, S. et al., 2019).

Existem várias outras limitações apontadas a este sistema, nomeadamente ao nível de preocupações com o bem-estar animal e a possibilidade de o mesmo ser afetado negativamente devido á aplicação e estímulos elétrico na monitorização dos animais. Esse é, no entanto, um tema pouco consensual junto da comunidade científica, existindo estudo que comprovam o aumento do stress e alterações comportamentais nos animais (Brunberg, E. et al., 2015) e outros que comprovam a inexistência de uma relação entre os dois fatores (Kearton, T. et al., 2019).

Outra das principais limitações é a aprendizagem associativa de alguns animais, isto é, a sua capacidade de associar os estímulos elétricos a um local em ao invés de a associarem ao estímulo auditivo que a sucedeu. Este problema foi reportado em vários estudos e levanta preocupações essencialmente ao nível da alteração dos limites das cercas.

É muito comum em atividades de conservação existir a necessidade de alteração e a rotação dos limites das cercas, o que se poderá traduzir na colocação dos animais em áreas anteriormente interditas. É precisamente nessas situações que a associação visual dos limites das cercas poderá provocar dificuldades de adaptação nos animais. Para evitar isso, é essencial que estes passem por um período de aprendizagem e habituação ao *virtual fencing*, no qual aprendam a associar os choques elétricos aos estímulos auditivos que os antecedem. Um método eficaz de avaliar essa performance passa pelo controlo do número de choques emitidos face ao número de sinais áudio (Lee, C. et al., 2009). O ideal neste caso será constatar a diminuição da aplicação de estímulos elétricos ao longo do ( tempo para um mesmo número de sinais auditivos. Por outro lado, uma diminuição dos sinais auditivos poderá estar relacionada com um reconhecimento das fronteiras do *virtual fencing*, que se traduzirá no afastamento das zonas periféricas por parte animais, impedindo assim uma gestão eficaz de toda a área definida (Marini, D. et al., 2018).

#### 4.1.1. Vantagens Económicas

Vários autores referenciaram as vantagens económicas do virtual fencing face às cercas convencionais, quando aplicadas a sistemas de pastoreio extensivo, caracterizados por grande áreas e com um reduzido número de cabeças por parcela.

A Figura 4.1 mostra o custo de implementação dos vários tipos de cercas convencionais e do seu tempo de vida útil, comparando o seu custo de investimento inicial, manutenção, interesse no investimento e desvalorização. O custo total anual deste tipo de cercas varia entre os 108€ e os 300€, sendo as cercas elétricas aquelas que exigem um menor investimento por parte dos proprietários.

Item	Woven wire	Barbed wire	High-tensile non-electric (8-strand)	High-tensile electric (5-strand)
Estimated useful life (yr)	20	20	25	25
Average annual maintenance (% of initial cost)	8%	8%	5%	5%
Depreciation	\$99	\$ 81	\$ 59	\$ 37
Interest on investment	79	65	59	37
Maintenance	159	129	74	46
Total cost/year	\$ 338	\$ 274	\$ 193	\$ 121
Total cost/foot/year	\$ 0.26	\$ 0.21	\$ 0.15	\$ 0.09

Figura 4.1 Custo de implementação de cercas convencionais (Fonte: Agrireseau,2005)

Enquanto a nova tecnologia do sistema *eShepherd™* custa cerca de 4500€ para configurar e, em seguida, entre 50€ a 80€ para cada colar e manutenção contínua, isso é significativamente menor do que os 4500€ por quilómetro estimados para as cercas tradicionais. Embora a vedação virtual não substitua as cercas tradicionais em algumas circunstâncias, ela reduzirá consideravelmente os custos associados à sua construção e manutenção. Ao automatizar o controlo do pastoreio de gado, a cerca virtual tem o potencial de melhorar a saúde e o bem-estar dos animais, além de aumentar a produtividade e a lucratividade, cortando mão-de-obra, cercas e outros custos de entrada.

#### 4.2. Aplicações do Virtual Fencing enquanto ferramenta de Gestão da Biodiversidade

Os casos-estudo abordados na introdução desta dissertação mostram a importância do controlo do pastoreio para a conservação dos ecossistemas. A presença de herbívoros é essencial para a regulação dos serviços dos ecossistemas, no entanto, se não estiver associada a um modelo de gestão eficaz, poderá resultar em consequências danosas para os mesmos.

A gestão da biodiversidade é umas das áreas que mais poderá beneficiar com a aplicação de sistemas de *virtual fencing*. Características como a flexibilidade das cercas, reduzido impacto na paisagem, circulação livre de espécies selvagens e a ausência de atividades de construção em áreas já por si degradadas, são essenciais para a conservação tanto de animais como de plantas.

### 4.3. Considerações Finais

Tendo em consideração todos os pontos positivos associados à utilização de virtual fencing, é possível concluir que este sistema constitui uma ferramenta válida no que diz respeito à gestão e restauro dos ecossistemas.

E nesse sentido existem vários exemplos em que a intervenção do virtual fencing é necessária para garantir uma gestão eficaz dos animais, como é o caso do montado: onde a presença excessiva de animais, muitas vezes confinados a pequenas parcelas, poderão afetar regeneração das árvores (sobreiro e azinheira); também nas montanhas do norte de Portugal, a presença de animais em regime livre, sem qualquer tipo de vigia, poderão perturbar zonas importantes para a conservação; também nas zonas com elevado abandono rural e sub pastoreio a sua aplicação pode permitir reduzir custos de gestão e assim tirar partido de pastagens de valor marginal - onde os custos de gestão com cercas físicas seriam superiores aos ganhos com produção animal - e usá-las de modo sustentável.

Posto isto, embora ainda existam algumas limitações técnicas, por se tratar de uma ferramenta recente, e exista também alguma desconfiança relativamente ao seu impacto no bem-estar animal, podemos considerar o *virtual fencing* como a principal alternativa às cercas convencionais, sendo um método mais vantajoso e eficaz, principalmente quando associado a programas de conservação de ecossistemas.

## Referências Bibliográficas

- Almeida, M., Azeda, C., Guiomar, N., & Pinto-Correia, T. (2016). The effects of grazing management in montado fragmentation and heterogeneity. *Agroforestry Systems*, 90(1), 69–85.
- Al-Rowaily, S. L., El-Bana, M. I., Al-Bakre, D. A., Assaeed, A. M., Hegazy, A. K., & Ali, M. B. (2015). Effects of open grazing and livestock exclusion on floristic composition and diversity in natural ecosystem of Western Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(4), 430–437.
- Andersen, E., Baldock, D., Bennett, H., & Beaufoy, G. (2003). Developing a high nature value farming area indicator. Report for the European Commission. *Report for the European*, (November 2003). Retrieved from
- Anderson, D. M., & Estell, R. E. (2009). Behavior - The keystone in optimizing free-ranging ungulate production. *Range and Animal Sciences and Resource Management*, 1(January).
- Andres F. Cibils; Miguel A. Brizuela. (2009). Tecnologías disponibles para el desarrollo de pastoreo de precisión en sistemas extensivos de pastizal natural. *Sitio Argentino de Producción Animal*, (2005), 1–6.
- Angelstam, P., Pedersen, S., Manton, M., Garrido, P., Naumov, V., & Elbakidze, M. (2017). Green infrastructure maintenance is more than land cover: Large herbivores limit recruitment of key-stone tree species in Sweden. *Landscape and Urban Planning*, 167(July), 368–377.
- Apinan, A., & Kuankid, S. (2016). Dynamic Time Warping for classifying cattle behaviors and reducing acceleration data size. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(4), 293–300.
- Aqeel-Ur-Rehman, Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. (2014). A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards and Interfaces*, 36(2), 263–270.
- Asner, G. P., Levick, S. R., Kennedy-Bowdoin, T., Knapp, D. E., Emerson, R., Jacobson, J., ... Martin, R. E. (2009). Large-scale impacts of herbivores on the structural diversity of african savannas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(12), 4947–4952.
- Aubron, C., Noël, L., & Lasseur, J. (2016). Labor as a driver of changes in herd feeding patterns: Evidence from a diachronic approach in Mediterranean France and lessons for agroecology. *Ecological Economics*, 127, 68–79.
- Augustine, D. J., & Frank, D. A. (2001). Effects of migratory grazers on spatial heterogeneity of soil nitrogen properties in a grassland ecosystem. *Ecology*, 82(11), 3149–3162.
- Bahlo, C., Dahlhaus, P., Thompson, H., & Trotter, M. (2019). The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156(August 2018), 459–466.
- Bailey, D. W., Mosley, J. C., Estell, R. E., Cibils, A. F., Horney, M., Hendrickson, J. R., ... Burritt, E. A. (2019). Synthesis Paper: Targeted Livestock Grazing: Prescription for Healthy Rangelands. *Rangeland Ecology & Management*
- Bakker, E. S., Pagès, J. F., Arthur, R., & Alcoverro, T. (2016). Assessing the role of large herbivores in the structuring and functioning of freshwater and marine angiosperm ecosystems. *Ecography*, 39(2), 162–179.
- Bakker, E. S., Ritchie, M. E., Olff, H., Milchunas, D. G., & Knops, J. M. H. (2006). Herbivore impact on grassland plant diversity depends on habitat productivity and herbivore size. *Ecology Letters*, 9(7), 780–788.

- Beaufoy, G. (2000). HNV Farming - Explaining the concept and interpreting EU and National policy commitments. *Regulation*, 15.
- Bell, L. W., Moore, A. D., & Kirkegaard, J. A. (2014). Evolution in crop-livestock integration systems that improve farm productivity and environmental performance in Australia. *European Journal of Agronomy*, 57, 10–20.
- Berger-Tal, O., & Lahoz-Monfort, J. J. (2018). Conservation technology: The next generation. *Conservation Letters*, (October 2017), 1–6.
- Biggs, H., & Herrick, J. (2003). Management for sustainable use — rangeland auditing and monitoring. *African Journal of Range and Forage Science*, 20(2), 117–130.
- Bishop-Hurley, G. J., Swain, D. L., Anderson, D. M., Sikka, P., Crossman, C., & Corke, P. (2007). Virtual fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 56(1), 14–22.
- Black-Rubio, C. M., Cibils, A. F., & Gould, W. R. (2007). Maternal influence on feeding site avoidance behaviour of lambs. *Applied Animal Behaviour Science*, 105(1–3), 122–139.
- Bonari, G., Těšitel, J., Migliorini, M., Angiolini, C., Protano, G., Nannoni, F., ... Chytrý, M. (2019). Conservation of the Mediterranean coastal pine woodlands: How can management support biodiversity? *Forest Ecology and Management*, 443(February), 28–35.
- Bradby, K., Fitzsimons, J. A., Del Marco, A., Driscoll, D. A., Ritchie, E. G., Lau, J., ... Hobbs, R. J. (2014). Ecological connectivity or Barrier Fence? Critical choices on the agricultural margins of Western Australia. *Ecological Management & Restoration*, 15(3), 180–190.
- Britton, A. J., Pearce, I. S. K., & Jones, B. (2005). Impacts of grazing on montane heath vegetation in Wales and implications for the restoration of montane areas. *Biological Conservation*, 125(4), 515–524.
- Broom, D. M., Galindo, F. A., & Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1771).
- Brunberg, E. I., Bergslid, I. K., Bøe, K. E., & Sørheim, K. M. (2016). The ability of ewes with lambs to learn a virtual fencing system. *Animal*, 1–6.
- Brunberg, E. I., Bøe, K. E., & Sørheim, K. M. (2015). Testing a new virtual fencing system on sheep. *Taylor & Francis Group*, 65(3–4), 168–175.
- Buckland, P. C., Bullock, J. M., & Kirby, K. J. (2005). Large herbivores in the wildwood and in modern naturalistic grazing systems. English Nature Report no. 648. *English Nature Research Reports*, (648).
- Campbell, D. L. M., Lea, J. M., Haynes, S. J., Farrer, W. J., Leigh-Lancaster, C. J., & Lee, C. (2018). Virtual fencing of cattle using an automated collar in a feed attractant trial. *Applied Animal Behaviour Science*, 200(October 2017), 71–77.
- Campbell, D., Haynes, S., Lea, J., Farrer, W., & Lee, C. (2018). Temporary Exclusion of Cattle from a Riparian Zone Using Virtual Fencing Technology. *Animals*, 9(1), 5.
- Carmona, C. P., Azcárate, F. M., Oteros-Rozas, E., González, J. A., & Peco, B. (2013). Assessing the effects of seasonal grazing on holm oak regeneration: Implications for the conservation of Mediterranean dehesas. *Biological Conservation*, 159(February), 240–247.

- Carmona, C. P., Azcárate, F. M., Oteros-Rozas, E., González, J. A., & Peco, B. (2013). Assessing the effects of seasonal grazing on holm oak regeneration: Implications for the conservation of Mediterranean dehesas. *Biological Conservation*, 159(February), 240–247.
- Castro, M., & Fernández Núñez, E. (2016). Seasonal grazing of goats and sheep on Mediterranean mountain rangelands of northeast Portugal. *Livestock Research for Rural Development*, 28(5).
- Chaoui, H. I., & Sørensen, C. G. (2008). Review of Technological Advances and Technological Needs in Ecological Agriculture ( Organic Farming ) Written for presentation at the 2008 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Rhode Island Convention Center. *Agricultural Engineering*, 0300(08).
- Corke, P., Wark, T., Jurdak, R., Hu, W., Valencia, P., & Moore, D. (2010). Environmental wireless sensor networks. *Proceedings of the IEEE*, 98(11), 1903–1917.
- Corlett, R. T. (2016). Restoration, Reintroduction, and Rewilding in a Changing World. *CellPress*, 31(6), 453–462.
- Coughenour, M. B. (1991). Spatial components of plant-herbivore interactions in pastoral, ranching, and native ungulate ecosystems. *Journal of Range Management*, 44(6), 530–542.
- Dennis, P. (n.d.). Evaluation of the grazing management strategy proposed for Epping Forest. *Democracy.Cityoflondon.Gov.Uk*. Retrieved from
- di Virgilio, A., Morales, J. M., Lambertucci, S. A., Shepard, E. L. C., & Wilson, R. P. (2018). Multi-dimensional Precision Livestock Farming: A potential toolbox for sustainable rangeland management. *PeerJ*, 2018(5), 1–23.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1–16.
- Doupé, R. G., Mitchell, J., Knott, M. J., Davis, A. M., & Lymbery, A. J. (2010). Efficacy of exclusion fencing to protect ephemeral floodplain lagoon habitats from feral pigs (*Sus scrofa*). *Wetlands*
- Dwyer, C. (2000). *The Welfare of Sheep*. Springer.
- Espunyes, J., Lurgi, M., Büntgen, U., Bartolomé, J., Calleja, J. A., Gálvez-Cerón, A., ... Serrano, E. (2019). Different effects of alpine woody plant expansion on domestic and wild ungulates. *Global Change Biology*, 25(5), 1808–1819.
- Grayson, L. M., Keefe, R. F., Tinkham, W. T., Eitel, J. U. H., Saralecos, J. D., Smith, A. M. S., & Zimelman, E. G. (2016). Accuracy of WAAS-enabled GPS-RF warning signals when crossing a terrestrial geofence. *Sensors (Switzerland)*, 16(6), 1–9.
- Halasz, A., & Nagy, G. (2013). Complexity of local measurements in cattle behavioural studies. *Precision Livestock Farming 2013 - Papers Presented at the 6th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2013*, (September 2013), 223–228.
- Hall, S. J. G., & Bunce, R. G. H. (2019). The use of cattle *Bos taurus* for restoring and maintaining holarctic landscapes: Conclusions from a long-term study (1946–2017) in northern England. *Ecology and Evolution*, 9(10), 5859–5869.
- Handcock, R. N., Swain, D. L., Bishop-Hurley, G. J., Patison, K. P., Wark, T., Valencia, P., ... O'Neill, C. J. (2009). Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing. *Sensors*, 9(5), 3586–3603.

- Hennessy, D., Delaby, L., Van denPol-van Dasselaar, A., & Shalloo, L. (2009). Grassland Science in Europe, Vol. 20 – Grassland and forages in high output dairy farming systems Possibilities and constraints for grazing in high output dairy systems. *Grassland Science in Europe*, 20, 151–162.
- Jablonski, K. E., Boone, R. B., & Meiman, P. J. (2018). An agent-based model of cattle grazing toxic Geyer's larkspur. *PLOS ONE*, 13(3), e0194450. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194450>
- Jachowski, D. S., Slotow, R., & Millsaugh, J. J. (2014). Good virtual fences make good neighbors: opportunities for conservation. *Animal Conservation*, 17(3), 187–196.
- Jakes, A. F., Jones, P. F., Paige, L. C., Seidler, R. G., & Huijser, M. P. (2018). A fence runs through it: A call for greater attention to the influence of fences on wildlife and ecosystems. *Biological Conservation*, 227(October), 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.09.026>
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos*, 69(3), 373.
- Kasbaoui, N., Cooper, J., Mills, D. S., & Burman, O. (2016). Effects of long-term exposure to an electronic containment system on the behaviour and welfare of domestic cats. *PLoS ONE*, 11(9), 1–21.
- Kearton, T., Marini, D., Cowley, F., Belson, S., & Lee, C. (2019). The Effect of Virtual Fencing Stimuli on Stress Responses and Behavior in Sheep. *Animals*, 9(1), 30.
- Keefe, R. F., Wempe, A. M., Becker, R. M., Zimbelman, E. G., Nagler, E. S., Gilbert, S. L., & Caudill, C. C. (2019). Positioning methods and the use of location and activity data in forests. *Forests*, 10(5).
- Keenleyside, C., Beaufoy, G., Tucker, G., & Jones, G. (2014). *High Nature Value farming throughout EU-27 and its financial support under the CAP. Report Prepared for DG Environment, Contract No ENV B.1/ETU/2012/0035, Institute for European Environmental Policy.*
- Leadley, P., Pereira, H. M., Alkemade, R., Fernandez-Manjarrés, J. F., Proença, V., Scharlemann, J. P. W., & Walpole, M. J. (2010). *Biodiversity scenarios: Projections of 21st Century Change in Biodiversity and associated ecosystem services. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.* (Vol. 50). <https://doi.org/Technical Series no. 50>
- Lee, C., Henshall, J. M., Wark, T. J., Crossman, C. C., Reed, M. T., Brewer, H. G., ... Fisher, A. D. (2009). Associative learning by cattle to enable effective and ethical virtual fences. *Applied Animal Behaviour Science*, 119(1–2), 15–22.
- Lee, C., Prayaga, K., Reed, M., & Henshall, J. (2007). Methods of training cattle to avoid a location using electrical cues. *Applied Animal Behaviour Science*, 108(3–4), 229–238.
- Leng, R. A. (2008). *Decline in available world resources; implications for livestock production systems in Asia. Livestock Research for Rural Development* (Vol. 20).
- Lomax, S., Colusso, P., & Clark, C. E. F. (2019). Does Virtual Fencing Work for Grazing Dairy Cattle? *Animals*, 9(7), 429.
- Lomba, A., Guerra, C., Alonso, J., Honrado, J. P., Jongman, R., & McCracken, D. (2014). Mapping and monitoring High Nature Value farmlands: Challenges in European landscapes. *Journal of Environmental Management*, 143, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.04.029>
- Lovreglio, R., Meddour-Sahar, O., & Leone, V. (2014). Goat grazing as a wildfire prevention tool: A basic review. *IForest*, 7(4),

- Manning, J. K. (2018). Heterogeneity in extensive pasture systems : the effect on beef cattle behaviour , selection , paddock utilisation and production, (July).
- Marini, D., Llewellyn, R., Belson, S., & Lee, C. (2018). Controlling Within-Field Sheep Movement Using Virtual Fencing. *Animals*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/ani8030031>
- Marini, D., Meuleman, M., Belson, S., Rodenburg, T., Llewellyn, R., & Lee, C. (2018). Developing an Ethically Acceptable Virtual Fencing System for Sheep. *Animals*, 8(3), 33.
- Markus, S. B., Bailey, D. W., & Jensen, D. (2014). Comparison of electric fence and a simulated fenceless control system on cattle movements. *Livestock Science*, 170, 203–209.
- Masters, D. G., Revell, D., & Norman, H. (2010). Managing Livestock in Degrading Environments, 255–267.
- McIntyre, S., Heard, K. M., & Martin, T. G. (2003). The relative importance of cattle grazing in subtropical grasslands: Does it reduce or enhance plant biodiversity? *Journal of Applied Ecology*, 40(3), 445–457.
- McNaughton, S. J., Banyikwa, F. F., & McNaughton, M. M. (1997). Promotion of the cycling of diet-enhancing nutrients by African grazers. *Science*, 278(5344), 1798–1800.
- Mena, Y., Ruiz-Mirazo, J., Ruiz, F. A., & Castel, J. M. (2016). Characterization and typification of small ruminant farms providing fuelbreak grazing services for wildfire prevention in Andalusia (Spain). *Science of the Total Environment*, 544, 211–219.
- Michez, A., Lejeune, P., Bauwens, S., Lalaina Herinaina, A. A., Blaise, Y., Muñoz, E. C., ... Bindelle, J. (2019). Mapping and monitoring of biomass and grazing in pasture with an unmanned aerial system. *Remote Sensing*, 11(5).
- Molle, G., Decandia, M., Cabiddu, A., Landau, S. Y., & Cannas, A. (2008). An update on the nutrition of dairy sheep grazing Mediterranean pastures. *Small Ruminant Research*, 77(2–3), 93–112.
- Monod, M. O., Faure, P., Moiroux, L., & Rameau, P. (2009). Stakeless fencing for mountain pastures. *Precision Livestock Farming 2009 - Papers Presented at the 4th European Conference on Precision Livestock Farming*, 13(10), 175–181.
- Morgan-Davies, C., Morgan-Davies, J., Beaton, I., Kyle, J., Waterhouse, T., & McCracken, D. (2016). Restocking extensive mountain areas with young ewes-does origin matter? *Small Ruminant Research*, 137, 99–108.
- Morris, S. T. (2017). *Overview of sheep production systems*. *Advances in Sheep Welfare*. Elsevier Ltd.
- Muminov, A., Na, D., Lee, C., Kang, H. K., & Jeon, H. S. (2019). Modern virtual fencing application: Monitoring and controlling behavior of goats using GPS collars and warning signals. *Sensors (Switzerland)*, 19(7).
- Navarro, L. M., Proença, V., Kaplan, J. O., & Pereira, H. M. (2015). Maintaining Disturbance-Dependent Habitats BT - Rewilding European Landscapes. In H. M. Pereira & L. M. Navarro (Eds.) (pp. 143–167). Cham: Springer International Publishing.
- Nóbrega, L., Gonçalves, P., Pedreiras, P., & Pereira, J. (2019). An IoT-based solution for intelligent farming. *Sensors (Switzerland)*, 19(3), 1–25.

- Nundloll, V., Porter, B., Blair, G. S., Emmett, B., Cosby, J., Jones, D. L., ... Ullah, I. (2019). The design and deployment of an end-to-end IoT infrastructure for the natural environment. *Future Internet*, 11(6), 1–14.
- Olf, H., & Ritchie, M. E. (1998). Importance of herbivore type and scale. *Trends in Ecology and Evolution*, 13(7), 261–265.
- Owen-Smith, N. (2004). Functional heterogeneity in resources within landscapes and herbivore population dynamics. *Landscape Ecology*, 19(7), 761–771.
- P. Asner, G., R. Levick, S., Kennedy-Bowdoin, T., Knapp, D. E., Emerson, R., Jacobson, J., ... Martin, R. E. (2009). Inamgaon Seminar. *PNAS*, 106(12), 4947–4952.
- Pereira, E., & Queiroz, C. F. (2019). Sistelo: Um estudo Participativo Numa Freguesia de Montanha, 3(September), 126–133.
- Pereira, H. M., & Navarro, L. M. (2015). Rewilding European landscapes. *Rewilding European Landscapes*, 1–227.
- Pereira, H. M., Navarro, L. M., & Martins, I. S. (2012). Global Biodiversity Change: The Bad, the Good, and the Unknown. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 25–50.
- Perotto-Baldivieso, H. L., Cooper, S. M., Cibils, A. F., Figueroa-Pagán, M., Udaeta, K., & Black-Rubio, C. M. (2012). Detecting autocorrelation problems from GPS collar data in livestock studies. *Applied Animal Behaviour Science*, 136(2–4), 117–125.
- Pinto-Correia, T., Ribeiro, N., & Sá-Sousa, P. (2011). Introducing the montado, the cork and holm oak agroforestry system of Southern Portugal. *Agroforestry Systems*, 82(2), 99–104.
- Pringle, R. M., Young, T. P., Rubenstein, D. I., & McCauley, D. J. (2007). Herbivore-initiated interaction cascades and their modulation by productivity in an African savanna. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(1), 193–197.
- Pulina, G., Francesconi, A. H. D., Stefanon, B., Sevi, A., Calamari, L., Lacetera, N., ... Ronchi, B. (2017). Sustainable ruminant production to help feed the planet. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 140–171.
- Rana, R., Yang, M., Wark, T., Chou, C. T., & Hu, W. (2014). SimpleTrack: Adaptive Trajectory Compression with Deterministic Projection Matrix for Mobile Sensor Networks. *IEEE Sensors*, 1–9.
- Rana, V., Vermani, A., & Govil, S. (2013). Virtual Fencing for Animals Management Using RF Module. *Of the Conference on Advances in ...*, 2013(Cac2s), 360–362. Retrieved from
- Randall, N. P., & James, K. L. (2012). The effectiveness of integrated farm management, organic farming and agri-environment schemes for conserving biodiversity in temperate Europe - Asystematicmap. *Environmental Evidence*, 1–21.
- Rey, A., Novaro, A. J., & Guichón, M. L. (2012). Guanaco (*Lama guanicoe*) mortality by entanglement in wire fences. *Journal for Nature Conservation*, 20(5), 280–283.
- Riley, S. (2015). Model Codes for Humane Treatment of Animals: Australian Law and Policy on Lethal Control of Pests. *Journal of International Wildlife Law & Policy*, 18(4), 276–288.
- Roche, J. R., Berry, D. P., Bryant, A. M., Burke, C. R., Butler, S. T., Dillon, P. G., ... Macmillan, K. L. (2017). A 100-Year Review: A century of change in temperate grazing dairy systems. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10189–10233.

- Ruiz-Mirazo, J., Robles, A. B., & González-Rebollar, J. L. (2011). Two-year evaluation of fuelbreaks grazed by livestock in the wildfire prevention program in Andalusia (Spain). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141(1–2), 13–22.
- Rutter, S. M. (2014). Smart technologies for detecting animal welfare status and delivering health remedies for rangeland systems. *OIE Revue Scientifique et Technique*, 33(1), 181–187.
- Rutter, S. M. (2017). *Advanced livestock management solutions. Advances in Sheep Welfare*. Elsevier Ltd.
- Schellberg, J., Hill, M. J., Gerhards, R., Rothmund, M., & Braun, M. (2008). Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, 29(2–3), 59–71.
- Schneider, F. D., Brose, U., Rall, B. C., & Guill, C. (2016). Animal diversity and ecosystem functioning in dynamic food webs. *Nature Communications*, 7(iDiv), 1–8.
- Schwager, M., Anderson, D. M., Butler, Z., & Rus, D. (2007). Robust classification of animal tracking data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 56(1), 46–59.
- Somers, M. J., & Hayward, M. W. (2012). Fencing for conservation: Restriction of evolutionary potential or a riposte to threatening processes? *Fencing for Conservation: Restriction of Evolutionary Potential Or a Riposte to Threatening Processes?*, 142(1), 1–320.
- Sommer, P., Kusy, B., Jurdak, R., Kottege, N., Liu, J., Zhao, K., ... Westcott, D. (2016). From the lab into the wild: Design and deployment methods for multi-modal tracking platforms. *Pervasive and Mobile Computing*, 30, 1–17.
- Stephenson, M. B., Bailey, D. W., & Jensen, D. (2016). Association patterns of visually-observed cattle on Montana, USA foothill rangelands. *Applied Animal Behaviour Science*, 178, 7–15.
- Sueur, C., Kuntz, C., Debergue, E., Keller, B., Robic, F., Siegwalt-Baudin, F., ... Pelé, M. (2018). Leadership linked to group composition in Highland cattle (*Bos taurus*): Implications for livestock management. *Applied Animal Behaviour Science*, 198(June 2017), 9–18.
- Temprilho, A., Nobrega, L., Pedreiras, P., Goncalves, P., & Silva, S. (2018). M2M Communication stack for intelligent farming. *2018 Global Internet of Things Summit, GloTS 2018*, (February 2019).
- Umstatter, C. (2011). The evolution of virtual fences: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 10–22.
- Umstatter, C., Brocklehurst, S., Ross, D. W., & Haskell, M. J. (2013). Can the location of cattle be managed using broadcast audio cues? *Applied Animal Behaviour Science*, 147(1–2), 34–42.
- Umstatter, C., Morgan-Davies, J., & Waterhouse, T. (2015). Cattle responses to a type of virtual fence. *Rangeland Ecology and Management*, 68(1), 100–107.
- Umstätter, C., Waterhouse, A., & Holland, J. P. (2008). An automated sensor-based method of simple behavioural classification of sheep in extensive systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(1), 19–26.
- Verdon, M., Rawnsley, R., Raedts, P., & Freeman, M. (2018). The Behaviour and Productivity of Mid-Lactation Dairy Cows Provided Daily Pasture Allowance over 2 or 7 Intensively Grazed Strips. *Animals*, 8(7), 115.
- Vliegheer, A. De, Hennessy, D., & Isselstein, J. (2016). Grazing and automation.

- Walsh, M., Hanrahan, J. P., O'Malley, L., & Moles, R. (2016). Trends, over 14 years, in the ground cover on an unimproved western hill grazed by sheep, and associated trends in animal performance. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 55(1), 47–62.
- Wark, T., Corke, P., Sikka, P., Klingbeil, L., Guo, Y., Crossman, C., ... Bishop-Hurley, G. (2007). Transforming Agriculture through Pervasive Wireless Sensor Networks. *IEEE Pervasive Computing*, 6(2), 50–57.
- Wark, T., Crossman, C., Valencia, P., Swain, D., & Handcock, R. (2009). Sensor and Actuator Networks: *IEEE Pervasive Computing*, 30–36.
- Weisberg, P. J., & Bugmann, H. (2003). Forest dynamics and ungulate herbivory: From leaf to landscape. *Forest Ecology and Management*, 181(1–2), 1–12.
- Welch, D., Scott, D., & Thompson, D. B. A. (2015). Persistence of *Carex bigelowii*-*Racomitrium lanuginosum* moss heath under sheep grazing in the Grampian Mountains, Scotland. *Journal of Bryology*, 37(2), 96–103.
- Zerger, A., Viscarra Rossel, R. A., Swain, D. L., Wark, T., Handcock, R. N., Doerr, V. A. J., ... Lobsey, C. (2010). Environmental sensor networks for vegetation, animal and soil sciences. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(5), 303–316.
- Zhao, K., & Jurdak, R. (2016). Understanding the spatiotemporal pattern of grazing cattle movement. *Scientific Reports*, 6(August), 1–8.
- Zhu, G. yu, Deng, L., Zhang, X. biao, & Shanguan, Z. ping. (2016). Effects of grazing exclusion on plant community and soil physicochemical properties in a desert steppe on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, 90, 372–381.
- Zimelman, E. G., & Keefe, R. F. (2018). Real-time positioning in logging: Effects of forest stand characteristics, topography, and line-of-sight obstructions on GNSS-RF transponder accuracy and radio signal propagation. *PLOS ONE*, 13(1).

## A. ANEXOS

### Anexo I – Análise de artigos da *Search String*

Autor(es)	Tipo de estudo	País / Região	Espécie animal	Sistema Agrícola	Aborda biodiversidade/ valores naturais	Objetivo Específico	Objetivos Gerais				
							BE	CA	ME/S	GP	GVN
A. Cibils et al., 2009	Revisão	Argentina	Gado	Pastagem	não	ME/S			sim		
A. Zerger et al., 2010	Experimental	Austrália	Gado	Misto	sim	ME/S			sim		
A.J. Britton, et al., 2005	Experimental	Reino Unido	NE	misto	não	BE	sim		sim		
Al-Rowaily et al., 2015	Experimental	Egito e Arábia Saudita	Gado	Misto	sim	GVN					sim
Anderson et al., 2014	Revisão	Estados Unidos	NE	arável	não	GVN					sim
Anderson et al., 2015	Revisão	Estados Unidos	Gado	Pastagem	não	BE	sim				
Apinan. A et al., 2016	Experimental	Tailândia	Gado	Pastagem	não	BE	sim				
Aqeel-ur-Rehman et al., 2014	Revisão	Paquistão	NE	Pastagens Permanentes	não	ME/S			sim		
Bailey et al., 2018	Revisão	Estados Unidos	Gado	Pastagem	sim	GVN			sim		sim
Baratchi et al., 2013	Revisão	Holanda	NE	Florestal	sim	ME/S			sim		
Berger-Tal et al., 2018	Teórico	Israel	NE	Florestal	sim	ME/S			sim		
Black-Rubio et al., 2006	Experimental	Estados Unidos	Ovelhas	Pastagem	não	BE	sim				
Bonari et al., 2019	Experimental	República Checa e Itália	NE	Florestal	sim	GVN					sim
Brady et al., 2014	Revisão	Austrália	NE	arável	sim	GVN					sim
C. Aubron et al., 2016	Experimental	França	Ovelhas	Pastagem e Pastagens Permanentes	não	GP				sim	
C. Bahlo et al., 2018	Revisão	Austrália	NE	Pastagem	não	ME/S			sim		
C. Dwyer et al., 2000	Teórico	Reino Unido	Ovelhas	misto	não	BE	sim				
C. Umstatter et al., 2008	Experimental	Reino Unido	Ovelhas	Pastagem	não	BE	sim		sim		
C. Umstatter, 2010	Revisão	Reino Unido	NE	Pastagem	não	ME/S			sim		
C. Umstatter et al., 2013	Experimental	Reino Unido	Gado	Pastagem	não	ME/S		sim	sim		

C. Umstatter et al., 2014	Experimental	Reino Unido	Gado	Pastagem	não	BE	sim				
Campbell et al., 2017	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	não	BE	sim		sim		
Campbell et al., 2018	Experimental	Austrália	Gado	Misto	sim	BE	sim				sim
Campbell et al., 2018	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	não	ME/S	sim	sim	sim		
Carvalho et al., 2009	Revisão	Brasil	Gado	Pastagem	não	GP					sim
Chaoui et al., 2008	Revisão	Estados Unidos	NE	arável	não	ME/S			sim	sim	
Corke et al., 2010	Revisão	Austrália	Gado	Misto	não	ME/S			sim		
Corlett et al. 2016	Revisão	China	NE	Florestal	sim	GVN					sim
D. G Masters et al., 2010	Teórico	Austrália	Gado	Misto	sim	GP					sim
D. M. Broom et al., 2013	Revisão	Reino Unido, Colômbia e Estados Unidos	Gado	Misto	sim	GP	sim				sim
di Virgilio et al., 2018	Experimental	Argentina	Ovelhas	Misto	sim	GVN					sim
Doupé et al., 2008	Experimental	Austrália	Javali	Florestal	sim	ME/S			sim		sim
E. I. Brunberg et al., 2015	Experimental	Noruega	Ovelhas	montanha	não	BE	sim	sim			
E. I. Brunberg et al., 2016	Experimental	Noruega	Ovelhas	Pastagem	não	BE	sim		sim		
G.J Bishop-Hurley et al., 2007	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	sim	ME/S			sim		
Grayson et al., 2016	Experimental	Estados Unidos	NE	Florestal	não	ME/S			sim		
Halasz et al., 2013	Experimental	Hungria	Gado	arável	não	BE	sim				
Hall et al., 2019	Experimental	reino unido	Gado	Pastagem	sim	GVN					sim
Handcock et al., 2009	Revisão	Austrália	Gado	Pastagem	sim	ME/S			sim		
Hayward et al., 2008	Experimental	Polónia, Austrália e África de Sul	NE	Florestal	sim	GVN					sim
Hennessy D. et al., 2015	Revisão	Holanda	Gado	Pastagem	não	GP					sim
J.R. Roche et al., 2017	Revisão	Nova Zelândia	Gado	Pastagem	sim	GP					sim
Jabionski et al., 2018	Teórico	Estados Unidos	Gado	Pastagem	não	ME/S			sim		
Jachowski et al., 2013	Revisão	Estados Unidos	NE	Misto	sim	GVN					sim
Jakes et al., 2018	Revisão	Estados Unidos	NE	misto	sim	GVN					sim
Kasbaoui et al., 2016	Experimental	Reino Unido	Gato		não	BE	sim				
Kearton et al., 2019	Experimental	Austrália	Ovelhas	Pastagem	não	BE	sim				
Keefe et al., 2019	Revisão	Estados Unidos	NE	Florestal	sim	GP			sim	sim	
L.W. Bell et al., 2014	Experimental	Austrália	NE	Pastagem	sim	GP					sim

Lee et al., 2007	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	não	ME/S	sim	sim	sim		
Lee et al., 2009	Experimental	Austrália	Cabras	Pastagem	sim	ME/S	sim		sim		
Lomax et al., 2019	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	não	ME/S		sim	sim		
Lovreglio et al., 2014	Experimental	Italia	Cabras	Pastagem	sim	GVN					sim
M. Castro et al., 2016	Experimental	Portugal	Cabras e Vacas	Pastagem	não	GP					sim
M. Walsh et al., 2016	Experimental	Reino Unido	Ovelhas	montanha	sim	GP					sim
Marini et al., 2018	Experimental	Austrália	Ovelhas	Pastagem	não	BE	sim		sim		
Marini et al., 2018	Experimental	Austrália	Ovelhas	arável	não	BE	sim		sim		
Markus et al., 2014	Experimental	Canada	Gado	Pastagem	não	ME/S	sim	sim	sim		
Mena Y. et al., 2015	Experimental	Espanha	Ruminantes	Pastagem e Florestal	sim	GVN			sim		sim
Michez et al., 2019	Experimental	Bélgica	Gado	Pastagem	não	ME/S			sim		
Monod et al., 2009	Teórico	França	Gado	montanha	sim	GP					sim
Morgan-Davies et al., 2016	Experimental	Reino Unido	Ovelhas	montanha	sim	GVN					sim
Muminov et al., 2019	Experimental	Coreia do Sul	Cabras	Pastagem	não	ME/S			sim		
Nóbrega et al., 2018	Teórico	Portugal	Ovelhas	Pastagens Permanentes	não	ME/S			sim		
Nóbrega et al., 2019	Teórico	Portugal	Ovelhas	Pastagens Permanentes	não	ME/S			sim		
P. Dennis	Revisão	Reino Unido	Gado	Florestal	sim	GP					sim
Pulina et al., 2016	Revisão	Italia	Ruminantes	arável	sim	GP					sim
Perotto-Baldivieso et al., 2012	Experimental	Reino Unido, Estados Unidos e Bolívia	Gado	Misto	sim	ME/S			sim		
Pol-van Dasselaar et al., 2016	Teórico	Holanda	Gado	Pastagem	não	GP			sim	sim	
Pol-van Dasselaar et al., 2017	Revisão	Holanda	Gado	Pastagem	não	GP			sim	sim	
Rana et al., 2014	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	não	ME/S			sim		
Rey et al., 2012	Experimental	Argentina	Guanaco	Florestal	sim	GVN					sim
Riley et al., 2015	Teórico	Austrália	NE	Florestal	sim	GVN					sim
Rutter et al., 2017	Revisão	Reino Unido	Ovelhas	Pastagem	não	BE	sim		sim		
Rutter et al., 2014	Revisão	Reino Unido	Ruminantes	Pastagem	não	ME/S			sim		
S. Mcintyre et al., 2003	Teórico	Austrália	Gado	Pastagem	sim	GVN					sim

Schwager et al., 2007	Experimental	Estados Unidos	Gado	Pastagem	não	ME/S			sim		
Sommer et al., 2015	Experimental	Austrália	NE	misto	sim	ME/S			sim		
Stephenson et al., 2016	Experimental	Estados Unidos	Gado	montanha	sim	CA		sim			
Sueur et al., 2018	Experimental	França	Gado	Pastagem	sim	BE	sim				
T. Morris et al., 2017	Revisão	Nova Zelândia	Ovelhas	Pastagem	não	BE	sim			sim	
V. Nundloll et al., 2019	Revisão		NE	misto	sim	GVN					sim
Verdon et al., 2018	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	não	BE	sim				
Vermani et al., 2013	Teórico	Índia	Gado	arável	não	ME/S			sim		
Wark et al., 2007	Experimental	Austrália	Gado	arável	não	ME/S			sim		
Wark et al., 2009	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	não	ME/S			sim		
Welch et al., 2015	Experimental	Reino Unido	Ovelhas	montanha	sim	ME/S			sim		
Zhao e Jurdak, 2016	Experimental	Austrália	Gado	Pastagem	não	GP			sim	sim	
Zhu et al., 2016	Experimental	China	NE	misto	sim	GVN					sim
Zimbelman et al., 2018	Experimental	Estados Unidos	NE	Florestal	não	ME/S			sim		

**BE** - Bem-estar animal

**CA** - Comportamento animal

**ME/S** - Melhoria de Equipamento/Software

**GVN** - Gestão de valores naturais

**GP** - Gestão da produção

**NE** - Não especificado

## Anexo II – Lista de Referências da Search String

- Al-Rowaily, S. L., El-Bana, M. I., Al-Bakre, D. A., Assaeed, A. M., Hegazy, A. K., & Ali, M. B. (2015). Effects of open grazing and livestock exclusion on floristic composition and diversity in natural ecosystem of Western Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(4), 430–437.
- Anderson, D. M., & Estell, R. E. (2009). Behavior - The keystone in optimizing free-ranging ungulate production. *Range and Animal Sciences and Resource Management*, 1(January).
- Anderson, D. M., Estell, R. E., Holechek, J. L., Ivey, S., & Smith, G. B. (2014). Virtual herding for flexible livestock management - A review. *Rangeland Journal*, 36(3), 205–221. <https://doi.org/10.1071/RJ13092>
- Andres F. Cibils; Miguel A. Brizuela. (2009). Tecnologías disponibles para el desarrollo de pastoreo de precisión en sistemas extensivos de pastizal natural. *Sitio Argentino de Producción Animal*, (2005), 1–6.
- Apinan, A., & Kuankid, S. (2016). Dynamic Time Warping for classifying cattle behaviors and reducing acceleration data size. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(4), 293–300.
- Aqeel-Ur-Rehman, Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. (2014). A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards and Interfaces*, 36(2), 263–270.
- Aubron, C., Noël, L., & Lasseur, J. (2016). Labor as a driver of changes in herd feeding patterns: Evidence from a diachronic approach in Mediterranean France and lessons for agroecology. *Ecological Economics*, 127, 68–79.
- Bahlo, C., Dahlhaus, P., Thompson, H., & Trotter, M. (2019). The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156(August 2018), 459–466.
- Bailey, D. W., Mosley, J. C., Estell, R. E., Cibils, A. F., Horney, M., Hendrickson, J. R., ... Burritt, E. A. (2019). Synthesis Paper: Targeted Livestock
- Baratchi, M., Meratnia, N., Havinga, P. J. M., Skidmore, A. K., & Toxopeus, B. A. G. (2013). Sensing solutions for collecting spatio-temporal data for wildlife monitoring applications: A review. *Sensors (Switzerland)*, 13(5), 6054–6088. <https://doi.org/10.3390/s130506054>
- Bell, L. W., Moore, A. D., & Kirkegaard, J. A. (2014). Evolution in crop-livestock integration systems that improve farm productivity and environmental performance in Australia. *European Journal of Agronomy*, 57, 10–20.
- Berger-Tal, O., & Lahoz-Monfort, J. J. (2018). Conservation technology: The next generation. *Conservation Letters*, (October 2017), 1–6.
- Bishop-Hurley, G. J., Swain, D. L., Anderson, D. M., Sikka, P., Crossman, C., & Corke, P. (2007). Virtual fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 56(1), 14–22.
- Black-Rubio, C. M., Cibils, A. F., & Gould, W. R. (2007). Maternal influence on feeding site avoidance behaviour of lambs. *Applied Animal Behaviour Science*, 105(1–3), 122–139.
- Bonari, G., Těšitel, J., Migliorini, M., Angiolini, C., Protano, G., Nannoni, F., ... Chytrý, M. (2019). Conservation of the Mediterranean coastal pine woodlands: How can management support biodiversity? *Forest Ecology and Management*, 443(February), 28–35.
- Bradby, K., Fitzsimons, J. A., Del Marco, A., Driscoll, D. A., Ritchie, E. G., Lau, J., ... Hobbs, R. J. (2014). Ecological connectivity or Barrier Fence? Critical choices on the agricultural margins of Western Australia. *Ecological Management & Restoration*, 15(3), 180–190. <https://doi.org/10.1111/emr.12130>

- Britton, A. J., Pearce, I. S. K., & Jones, B. (2005). Impacts of grazing on montane heath vegetation in Wales and implications for the restoration of montane areas. *Biological Conservation*, 125(4), 515–524.
- Broom, D. M., Galindo, F. A., & Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1771).
- Brunberg, E. I., Bergslid, I. K., Bøe, K. E., & Sørheim, K. M. (2016). The ability of ewes with lambs to learn a virtual fencing system. *Animal*, 1–6.
- Brunberg, E. I., Bøe, K. E., & Sørheim, K. M. (2015). Testing a new virtual fencing system on sheep. *Taylor & Francis Group*, 65(3–4), 168–175.
- Campbell, D. L. M., Lea, J. M., Haynes, S. J., Farrer, W. J., Leigh-Lancaster, C. J., & Lee, C. (2018). Virtual fencing of cattle using an automated collar in a feed attractant trial. *Applied Animal Behaviour Science*, 200(October 2017), 71–77.
- Campbell, D., Haynes, S., Lea, J., Farrer, W., & Lee, C. (2018). Temporary Exclusion of Cattle from a Riparian Zone Using Virtual Fencing Technology. *Animals*, 9(1), 5.
- Campbell, D., Lea, J., Farrer, W., Haynes, S., & Lee, C. (2017). Tech-Savvy Beef Cattle? How Heifers Respond to Moving Virtual Fence Lines. *Animals*, 7(12), 72. <https://doi.org/10.3390/ani7090072>
- Castro, M., & Fernández Núñez, E. (2016). Seasonal grazing of goats and sheep on Mediterranean mountain rangelands of northeast Portugal. *Livestock Research for Rural Development*, 28(5).
- Chaoui, H. I., & Sørensen, C. G. (2008). Review of Technological Advances and Technological Needs in Ecological Agriculture ( Organic Farming ) Written for presentation at the 2008 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Rhode Island Convention Center. *Agricultural Engineering*, 0300(08).
- Corke, P., Wark, T., Jurdak, R., Hu, W., Valencia, P., & Moore, D. (2010). Environmental wireless sensor networks. *Proceedings of the IEEE*, 98(11), 1903–1917.
- Corlett, R. T. (2016). Restoration, Reintroduction, and Rewilding in a Changing World. *CellPress*, 31(6), 453–462.
- De Faccio Carvalho, P. C., Da Trindade, J. K., Mezzalira, J. C., Poli, C. H. E. C., Nabinger, C., Genro, T. C. M., & Gonda, H. L. (2009). Do bocado ao pastoreio de precisão: Compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(SUPPL. 1), 109–122. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300013>
- Dennis, P. (n.d.). Evaluation of the grazing management strategy proposed for Epping Forest. *Democracy.Cityoflondon.Gov.Uk*.
- di Virgilio, A., Morales, J. M., Lambertucci, S. A., Shepard, E. L. C., & Wilson, R. P. (2018). Multi-dimensional Precision Livestock Farming: A potential toolbox for sustainable rangeland management. *PeerJ*, 2018(5), 1–23.
- Doupé, R. G., Mitchell, J., Knott, M. J., Davis, A. M., & Lymbery, A. J. (2010). Efficacy of exclusion fencing to protect ephemeral floodplain lagoon habitats from feral pigs (*Sus scrofa*). *Wetlands*
- Dwyer, C. (2000). *The Welfare of Sheep*. Springer.
- Grayson, L. M., Keefe, R. F., Tinkham, W. T., Eitel, J. U. H., Saralecos, J. D., Smith, A. M. S., & Zimbelman, E. G. (2016). Accuracy of WAAS-enabled GPS-RF warning signals when crossing a terrestrial geofence. *Sensors (Switzerland)*, 16(6), 1–9.
- Halasz, A., & Nagy, G. (2013). Complexity of local measurements in cattle behavioural studies. *Precision Livestock Farming 2013 - Papers Presented at the 6th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2013*, (September 2013), 223–228.

- Hall, S. J. G., & Bunce, R. G. H. (2019). The use of cattle *Bos taurus* for restoring and maintaining holarctic landscapes: Conclusions from a long-term study (1946–2017) in northern England. *Ecology and Evolution*, *9*(10), 5859–5869.
- Handcock, R. N., Swain, D. L., Bishop-Hurley, G. J., Patison, K. P., Wark, T., Valencia, P., ... O'Neill, C. J. (2009). Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing. *Sensors*, *9*(5), 3586–3603.
- Jachowski, D. S., Slotow, R., & Millsaugh, J. J. (2014). Good virtual fences make good neighbors: opportunities for conservation. *Animal Conservation*, *17*(3), 187–196.
- Jakes, A. F., Jones, P. F., Paige, L. C., Seidler, R. G., & Huijser, M. P. (2018). A fence runs through it: A call for greater attention to the influence of fences on wildlife and ecosystems. *Biological Conservation*, *227*(October), 310–318.
- Kasbaoui, N., Cooper, J., Mills, D. S., & Burman, O. (2016). Effects of long-term exposure to an electronic containment system on the behaviour and welfare of domestic cats. *PLoS ONE*, *11*(9), 1–21.
- Kearton, T., Marini, D., Cowley, F., Belson, S., & Lee, C. (2019). The Effect of Virtual Fencing Stimuli on Stress Responses and Behavior in Sheep. *Animals*, *9*(1), 30.
- Keefe, R. F., Wempe, A. M., Becker, R. M., Zimelman, E. G., Nagler, E. S., Gilbert, S. L., & Caudill, C. C. (2019). Positioning methods and the use of location and activity data in forests. *Forests*, *10*(5).
- Lee, C., Henshall, J. M., Wark, T. J., Crossman, C. C., Reed, M. T., Brewer, H. G., ... Fisher, A. D. (2009). Associative learning by cattle to enable effective and ethical virtual fences. *Applied Animal Behaviour Science*, *119*(1–2), 15–22.
- Lee, C., Prayaga, K., Reed, M., & Henshall, J. (2007). Methods of training cattle to avoid a location using electrical cues. *Applied Animal Behaviour Science*, *108*(3–4), 229–238.
- Lomax, S., Colusso, P., & Clark, C. E. F. (2019). Does Virtual Fencing Work for Grazing Dairy Cattle? *Animals*, *9*(7), 429.
- Lovreglio, R., Meddour-Sahar, O., & Leone, V. (2014). Goat grazing as a wildfire prevention tool: A basic review. *IForest*, *7*(4),
- Marini, D., Llewellyn, R., Belson, S., & Lee, C. (2018). Controlling Within-Field Sheep Movement Using Virtual Fencing. *Animals*, *8*(3), 31.
- Marini, D., Meuleman, M., Belson, S., Rodenburg, T., Llewellyn, R., & Lee, C. (2018). Developing an Ethically Acceptable Virtual Fencing System for Sheep. *Animals*, *8*(3), 33.
- Markus, S. B., Bailey, D. W., & Jensen, D. (2014). Comparison of electric fence and a simulated fenceless control system on cattle movements. *Livestock Science*, *170*, 203–209.
- Masters, D. G., Revell, D., & Norman, H. (2010). Managing Livestock in Degrading Environments, 255–267.
- McIntyre, S., Heard, K. M., & Martin, T. G. (2003). The relative importance of cattle grazing in subtropical grasslands: Does it reduce or enhance plant biodiversity? *Journal of Applied Ecology*, *40*(3), 445–457.
- Mena, Y., Ruiz-Mirazo, J., Ruiz, F. A., & Castel, J. M. (2016). Characterization and typification of small ruminant farms providing fuelbreak grazing services for wildfire prevention in Andalusia (Spain). *Science of the Total Environment*, *544*, 211–219.
- Michez, A., Lejeune, P., Bauwens, S., Lalaina Herinaina, A. A., Blaise, Y., Muñoz, E. C., ... Bindelle, J. (2019). Mapping and monitoring of biomass and grazing in pasture with an unmanned aerial system. *Remote Sensing*, *11*(5).

- Monod, M. O., Faure, P., Moiroux, L., & Rameau, P. (2009). Stakeless fencing for mountain pastures. *Precision Livestock Farming 2009 - Papers Presented at the 4th European Conference on Precision Livestock Farming*, 13(10), 175–181.
- Morgan-Davies, C., Morgan-Davies, J., Beaton, I., Kyle, J., Waterhouse, T., & McCracken, D. (2016). Restocking extensive mountain areas with young ewes-does origin matter? *Small Ruminant Research*, 137, 99–108.
- Morris, S. T. (2017). *Overview of sheep production systems. Advances in Sheep Welfare*. Elsevier Ltd.
- Muminov, A., Na, D., Lee, C., Kang, H. K., & Jeon, H. S. (2019). Modern virtual fencing application: Monitoring and controlling behavior of goats using GPS collars and warning signals. *Sensors (Switzerland)*, 19(7).
- Nóbrega, L., Gonçalves, P., Pedreiras, P., & Pereira, J. (2019). An IoT-based solution for intelligent farming. *Sensors (Switzerland)*, 19(3), 1–25.
- Nundloll, V., Porter, B., Blair, G. S., Emmett, B., Cosby, J., Jones, D. L., ... Ullah, I. (2019). The design and deployment of an end-to-end IoT infrastructure for the natural environment. *Future Internet*, 11(6), 1–14.
- Perotto-Baldivieso, H. L., Cooper, S. M., Cibils, A. F., Figueroa-Pagán, M., Udaeta, K., & Black-Rubio, C. M. (2012). Detecting autocorrelation problems from GPS collar data in livestock studies. *Applied Animal Behaviour Science*, 136(2–4), 117–125.
- Pol-van Dasselaar, A., Vliegheer, A. De, Hennessy, D., & Isselstein, J. (2016). Grazing in a high-tech world.
- Pol-van Dasselaar, A., Vliegheer, A. De, Hennessy, D., & Isselstein, J. (2016). Grazing and automation.
- Pulina, G., Francesconi, A. H. D., Stefanon, B., Sevi, A., Calamari, L., Lacetera, N., ... Ronchi, B. (2017). Sustainable ruminant production to help feed the planet. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 140–171. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1260500>
- Rana, R., Yang, M., Wark, T., Chou, C. T., & Hu, W. (2014). SimpleTrack: Adaptive Trajectory Compression with Deterministic Projection Matrix for Mobile Sensor Networks. *IEEE Sensors*, 1–9.
- Rey, A., Novaro, A. J., & Guichón, M. L. (2012). Guanaco (*Lama guanicoe*) mortality by entanglement in wire fences. *Journal for Nature Conservation*, 20(5), 280–283.
- Riley, S. (2015). Model Codes for Humane Treatment of Animals: Australian Law and Policy on Lethal Control of Pests. *Journal of International Wildlife Law & Policy*, 18(4), 276–288.
- Roche, J. R., Berry, D. P., Bryant, A. M., Burke, C. R., Butler, S. T., Dillon, P. G., ... Macmillan, K. L. (2017). A 100-Year Review: A century of change in temperate grazing dairy systems. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10189–10233.
- Rutter, S. M. (2014). Smart technologies for detecting animal welfare status and delivering health remedies for rangeland systems. *OIE Revue Scientifique et Technique*, 33(1), 181–187.
- Rutter, S. M. (2017). *Advanced livestock management solutions. Advances in Sheep Welfare*. Elsevier Ltd.
- Schwager, M., Anderson, D. M., Butler, Z., & Rus, D. (2007). Robust classification of animal tracking data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 56(1), 46–59.
- Somers, M. J., & Hayward, M. W. (2012). Fencing for conservation: Restriction of evolutionary potential or a riposte to threatening processes? *Fencing for Conservation: Restriction of Evolutionary Potential Or a Riposte to Threatening Processes?*, 142(1), 1–320. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0902-1>

- Sommer, P., Kusy, B., Jurdak, R., Kottege, N., Liu, J., Zhao, K., ... Westcott, D. (2016). From the lab into the wild: Design and deployment methods for multi-modal tracking platforms. *Pervasive and Mobile Computing*, 30, 1–17.
- Stephenson, M. B., Bailey, D. W., & Jensen, D. (2016). Association patterns of visually-observed cattle on Montana, USA foothill rangelands. *Applied Animal Behaviour Science*, 178, 7–15.
- Sueur, C., Kuntz, C., Debergue, E., Keller, B., Robic, F., Siegwalt-Baudin, F., ... Pelé, M. (2018). Leadership linked to group composition in Highland cattle (*Bos taurus*): Implications for livestock management. *Applied Animal Behaviour Science*, 198(June 2017), 9–18.
- Umstatter, C. (2011). The evolution of virtual fences: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 10–22.
- Umstatter, C., Brocklehurst, S., Ross, D. W., & Haskell, M. J. (2013). Can the location of cattle be managed using broadcast audio cues? *Applied Animal Behaviour Science*, 147(1–2), 34–42.
- Umstatter, C., Morgan-Davies, J., & Waterhouse, T. (2015). Cattle responses to a type of virtual fence. *Rangeland Ecology and Management*, 68(1), 100–107.
- Umstätter, C., Waterhouse, A., & Holland, J. P. (2008). An automated sensor-based method of simple behavioural classification of sheep in extensive systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(1), 19–26.
- Vermani, A., & Govil, S. (2013). Virtual Fencing for Animals Management Using RF Module. *Of the Conference on Advances in ...*, 2013(Cac2s), 360–362. Retrieved from
- Vliegheer, A. De, Hennessy, D., & Isselstein, J. (2016). Grazing and automation.
- Walsh, M., Hanrahan, J. P., O'Malley, L., & Moles, R. (2016). Trends, over 14 years, in the ground cover on an unimproved western hill grazed by sheep, and associated trends in animal performance. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 55(1), 47–62.
- Wark, T., Corke, P., Sikka, P., Klingbeil, L., Guo, Y., Crossman, C., ... Bishop-Hurley, G. (2007). Transforming Agriculture through Pervasive Wireless Sensor Networks. *IEEE Pervasive Computing*, 6(2), 50–57.
- Wark, T., Crossman, C., Valencia, P., Swain, D., & Handcock, R. (2009). Sensor and Actuator Networks: *IEEE Pervasive Computing*, 30–36.
- Welch, D., Scott, D., & Thompson, D. B. A. (2015). Persistence of *Carex bigelowii*-*Racomitrium lanuginosum* moss heath under sheep grazing in the Grampian Mountains, Scotland. *Journal of Bryology*, 37(2), 96–103.
- Zerger, A., Viscarra Rossel, R. A., Swain, D. L., Wark, T., Handcock, R. N., Doerr, V. A. J., ... Lobsey, C. (2010). Environmental sensor networks for vegetation, animal and soil sciences. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(5), 303–316.
- Zhao, K., & Jurdak, R. (2016). Understanding the spatiotemporal pattern of grazing cattle movement. *Scientific Reports*, 6(August), 1–8.
- Zhu, G. yu, Deng, L., Zhang, X. biao, & Shangguan, Z. ping. (2016). Effects of grazing exclusion on plant community and soil physicochemical properties in a desert steppe on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, 90, 372–381.
- Zimbelman, E. G., & Keefe, R. F. (2018). Real-time positioning in logging: Effects of forest stand characteristics, topography, and line-of-sight obstructions on GNSS-RF transponder accuracy and radio signal propagation. *PLOS ONE*, 13(1).