

Mapeamento de Ciência (Artigos com RSL) e de Desenvolvimento Tecnológico (Patentes) sobre Agricultura Sustentável visando à Fome Zero (ODS2)

Sustainable Development Goal Sustainable Agriculture and Zero Hunger by Patent and Literature Systematic Review (RSL)

Jaqueline Vieira¹

Cristina M. Quintella²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Salvador, BA, Brasil

²Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil

Resumo

O segundo Objetivo Sustentável da ONU (ODS2), Fome Zero, foca os desafios da sociedade no combate à fome e considerando o aumento populacional até 2050. O progresso da Agricultura Sustentável é um dos gargalos cruciais, sendo essencial acompanhar e intensificar tanto o conhecimento científico, como o desenvolvimento tecnológico. O mapeamento de artigos e revisões foi feito na base Scopus com tratamento de dados pelo bibliometrix biblioshiny do R e RStudio. O mapeamento patentário foi realizado na base Worldwide Europeia por meio do Orbit Intelligence, entre 2012 e 2021. Foram mapeados 438 artigos e 6.464 famílias de patentes. Em ambos os casos, houve crescimento de cerca de 90% entre 2017 e 2021 em comparação com 2012 e 2016. O desenvolvimento tecnológico da engenharia civil cresceu 157% e outras máquinas especiais 102%, se comparados dois ciclos de cinco anos, de 2012 a 2021.

Palavras-chave: Solos. Gestão Sustentável da Terra. Agronomia.

Abstract

The second UN Sustainable Goal (SDG2), Zero Hunger, focuses on society's challenges in combating hunger considering population growth by 2050. The progress of Sustainable Agriculture is one of the crucial bottlenecks, and it is essential to monitor and intensify both scientific knowledge and technological development. The assessment of articles and scientific reviews was done in the Scopus database with data processing by the bibliometrix biblioshiny of R and RStudio. Patent assessment was carried out in the European worldwide base through Orbit Intelligence, between 2012 and 2021. 438 articles and 6464 patent families were mapped. In both cases there was an increase of around 90% between 2017 and 2021 compared to 2012 and 2016. The technological development of civil engineering grew by 157% and other special machines by 102% when comparing two five-year cycles from 2012 to 2021.

Keywords: Soils. Sustainable Land Management. Agronomy

Área Tecnológica: Propriedade Intelectual. Inovação e Desenvolvimento.



1 Introdução

Em 2015, as Nações Unidas estabeleceram 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, para os próximos anos, de acordo com a Agenda 2030, com 169 metas para o cumprimento de todos os países. Akhtar-Schuster *et al.* (2017) salientam que a estratégia e o método das Nações Unidas são para se adaptar às mudanças climáticas, aumentando a capacidade de adaptação e resiliência dos ecossistemas e das populações humanas.

O crescimento populacional global exigirá um aumento da produção de alimentos, a partir das terras agrícolas até 2050, o que significará o aumento da produtividade agrícola (ZHANG *et al.*, 2017). Apesar dos debates prós e contras de grandes negócios terrestres, a necessidade de controle sobre a terra significa controlar os alimentos (PETRESCU-MAGUM; PETRESCUB; RETIUM, 2019).

Muito se discute sobre a segurança alimentar e a escassez de novas terras produtivas, o que coloca de volta o aumento da produtividade de terras degradadas na agenda política mundial (QADIR *et al.*, 2014). Assim, a Agricultura Sustentável, com o objetivo de alcançar a Fome Zero (ODS2) se tornou um desafio global (PE'ER *et al.*, 2020).

Como apontam Petrescu-Magum, Petrescub e Retium (2019) são determinantes para a segurança alimentar, aplicados a um contexto mundial: criar um ambiente político, que melhore o desenvolvimento rural do pequeno agricultor; adotar medidas sustentáveis para enfrentar o esgotamento da fertilidade do solo; e a necessidade de uso mais intensivo e diversificado da terra, que deve se concentrar na resiliência do agroecossistema.

A agricultura tradicional causa a contaminação do solo pelos agroquímicos (fertilizantes, fitossanitários...), além de outros efeitos, como a perda de solo por erosão, a redução da biodiversidade edáfica (invertebrados, microfauna e microflora), a perda de estrutura e, em casos extremos, desertificação (ANÍBAL, 2017). A busca por solos saudáveis e terra saudável são os meios para o sucesso da implementação e realização do ODS2 da ONU, devido à crescente pressão sobre a terra, às exigências do uso múltiplo do terreno e à restauração de terrenos degradados (VISSER *et al.*, 2019).

A Gestão Sustentável da Terra (sigla SLM em inglês) é a principal técnica para prevenir, mitigar e reverter a degradação da terra para aumentar o fornecimento sustentável de bens ecossistêmicos e serviços que a população humana mundial precisará (GONZALEZ-ROGLICH *et al.*, 2019).

De acordo com Emadodin, Reinsch e Taube (2019), é improvável que a pobreza e os impactos ambientais sejam reduzidos nas áreas de terra firme, a menos que haja uma gestão sustentável dos recursos naturais e um considerável investimento em plantas, solo e água, bem como conservação, treinamento e educação. Segundo Ferreira *et al.* (2021), o futuro sustentável busca mecanismos de sustentabilidade dos sistemas produtivos perante os recursos naturais, e, para isso, são necessárias ações públicas-privadas, financiamentos e investidores.

A adoção de práticas de gestão do solo tem um papel crucial para alcançar a segurança alimentar, doméstica, diminuir a pobreza, através da diminuição da erosão do solo e da melhoria da fertilidade do solo (TESHOME *et al.*, 2016). As práticas sustentáveis de gestão da terra têm o objetivo de equilibrar a produção agrícola competitiva e a proteção ambiental (CAMAROTTO *et al.*, 2018), evitando ou reduzindo a degradação, e até revertendo a degradação das terras por

meio de restauração ou reabilitação (COWE *et al.*, 2018). São essenciais práticas de economia de água e de redução do consumo do solo, como irrigação eficiente, agricultura inteligente do clima e vedação zero (SMIRAGLIA *et al.*, 2016).

Adicionalmente, Sean *et al.* (2019) destacam que os gases que retêm calor na atmosfera são chamados de “gases de efeito estufa”, ou “GHG”, e incluem dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e gases fluorados e a redução desses gases atmosféricos nocivos é obtida pelo aumento da utilização e armazenamento vegetativo do carbono, bem como do aumento do sequestro de carbono no solo.

A gestão sustentável da Terra (SLM) deve buscar alternativas efetivas e viáveis, em forma de serviços ecossistêmicos, como o controle dos gases de efeito estufa, que é apenas um dos numerosos serviços ecossistêmicos prestados pela agricultura de conservação e das culturas de cobertura. No entanto, Camarotto *et al.* (2018) salientam que essas tecnologias não regulam as emissões atmosféricas de gases de efeito estufa de uma maneira simples. No que se refere a isso, os autores chamam a atenção para que as variáveis pedoclimáticas e sua interação com o manejo do solo revelam altos níveis de incerteza.

O gestor de políticas de decisão pode usar ferramentas multicritérios para avaliar as diferentes formas de gestão e encontrar um compromisso adequado para as necessidades e exigências das partes interessadas (CAMAROTTO *et al.*, 2018). Há uma grande lacuna entre o reconhecimento da necessidade do SLM e a implementação de suas práticas (KUST; ANDREEVA; COWIE, 2017) e barreiras que impedem ganhos potenciais de produtividade das culturas (QADIR *et al.*, 2014).

É importante salientar que as metas para a agricultura sustentável no ODS2, estabelecidas na agenda 2030 são (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023):

- Dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores (2.3)
- Garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (2.4);
- manter a diversidade genética de sementes, plantas cultivadas, animais de criação e domesticados e suas respectivas espécies selvagens (2.5)
- As metas que são relacionadas ao fortalecimento da agricultura como setor econômico estratégico, tais como as metas (2.a, 2.b e 2.c).

A fim de implementar uma gestão sustentável da terra, as Nações Unidas têm como prioridade atingir a Neutralidade da Degradação da Terra (LDN), apesar de o processo de degradação ter aumentado continuamente, impedindo a possibilidade de se alcançar um “estado estável” (AKHTAR-SCHUSTER *et al.*, 2017).

A LDN deve ser aplicada em comunidades locais e nações ao redor do mundo, pois está relacionada à segurança alimentar, à proteção ambiental e ao uso sustentável de produtos

naturais. Além disso, embora a neutralidade da degradação da terra seja aplicável a todos os tipos de terra, usos da terra e serviços ecossistêmicos, o foco principal da ONU é voltado para ações corretivas e preventivas da degradação de terras secas (COWIE *et al.*, 2018).

Os desafios críticos sobre terras secas degradadas são: escassez de água, risco de seca, baixa produção de biomassa, concorrência aguda entre usos conflitantes, incluindo a cobertura do solo, forragem para animais, combustível para cozinhar/aquecer, matéria-prima para o *habitat*, etc. que acarretam pobreza e vulnerabilidade dos pequenos proprietários de terra (KASSAN *et al.*, 2012).

De acordo com Qadir *et al.*, (2014), para lidar com a degradação das terras secas, é preciso uma melhor gestão da salinidade das terras, uma vez que os custos econômicos da degradação das terras causada pelo sal têm afetado diversos países, que tiveram maior necessidade de usar as águas subterrâneas de forma eficiente e de desenvolver novas tecnologias para essa finalidade.

Este trabalho identifica, por meio de mapeamento de publicações científicas e patentárias, o estágio de desenvolvimento do ODS2 no que tange à agricultura sustentável.

2 Metodologia

O mapeamento de ciência foi realizado com o levantamento de artigos científicos e revisões de literatura. O desenvolvimento tecnológico foi analisado por meio do levantamento e análise de patentes das classificações internacionais (IPC) previamente selecionadas com base no “Inventário Verde do IPC” da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI).

2.1 Levantamento de Documentos de Artigos e Revisões de Literatura

Os documentos para Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e o mapeamento científico foram coletados a partir de artigos e revisões de literatura publicados nos últimos 10 anos na base Scopus. O procedimento de obtenção, limpeza e tratamento de dados seguiu a seguinte ordem:

1. Busca avançada na base Scopus com a frase de busca (1) embutida para Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS)/Fome Zero, o que resultou em 362.546 documentos.
2. Criação da frase de busca (2) na base Scopus com os seguintes termos: “agricultural sustainable” OU “agriculture sustainable” OU “sustainable land management”.
3. Criação da frase de busca (3) na base Scopus pela combinação das buscas anteriores (1 AND 2), que resultaram em 780 documentos.
4. Redução da lista de documentos para o período de 2012 a 2021 totalizando 437 documentos.
5. Apresentação dos dados bibliográficos da base Scopus no formato CSV para análise bibliométrica.
6. Aplicação dos programas R e RStudio e uso do *bibliometrix/biblioshiny* para o tratamento de metadados dos documentos bibliográficos, como citações, colaboração científica e análise de artigos por ano (CALAZANS *et al.*, 2021).

2.2 Levantamento de Patentes Verdes para Melhoria do Solo

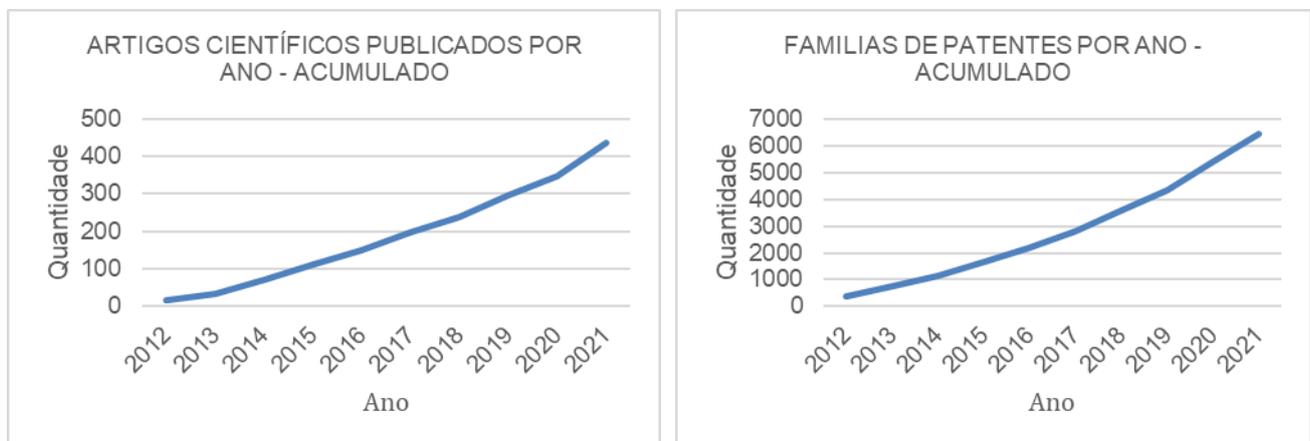
O levantamento de patentes verdes e o mapeamento tecnológico foram feitos seguindo as seguintes etapas:

1. Busca e uso de duas classificações para melhoria do solo por meio de referências do “Inventário Verde do IPC” da Wipo, do Comitê de Especialistas do sistema de classificação internacional (IPC) e listadas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) – IPCs (C09K 17/00 e E02D 3/00).
2. Pesquisa da Classificação Internacional de Patentes da Espacenet sobre melhoria do solo (IPC C09K 17/00), que inclui os materiais de condicionamento do solo ou estabilização do solo e o (IPC E02D 3/00), que trata das tecnologias para melhorar ou preservar o solo ou rocha, pelo represamento ou interrupção da passagem de água subterrânea; para fins agrícolas; estabilização do solo para construção de estradas ou fins semelhantes e fixação de ancoragem em rochas parafusos.
3. Busca de patentes e tratamento de dados pelo Sistema Orbit Intelligence da Questel, que acessa a base de dados internacional (Worldwide), administrada pelo Instituto Europeu de Patentes (EPO/EPA/IEP).
4. Mapeamento de 6.464 famílias de patentes de produtos e processos, entre 2012 e 2021, com o objetivo de acompanhar as tendências tecnológicas para a melhoria dos solos.
5. Busca de *sites* de empresas e instituições de pesquisa para conhecer a missão e a atuação no mercado competitivo das patentes de alto impacto selecionadas pelo Orbit.

3 Resultados e Discussão

A comparação dos resultados do mapeamento científico e tecnológico foi feita com o Gráfico 1, que mostra que ambos cresceram significativamente de 2012 a 2021.

Gráfico 1 – Mapeamento científico e tecnológico no período de 2012 a 2021



Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2022)

Em 2021, o maior número de publicações de artigos e de famílias de patentes relacionadas ao tema ODS2 foi alcançado, com 90 artigos publicados, o que supera a média de 44 artigos por ano. Em paralelo, 1.068 famílias de patentes superaram a média de 646 famílias ao ano.

A produção científica e tecnológica é demonstrada pela comparação de dados quantitativos entre dois ciclos de cinco anos, ou seja, o primeiro ciclo de 2012 a 2016 e o segundo ciclo de 2017 a 2021.

Dessa forma, a produção científica cresceu 93%, devido a 149 publicações no primeiro ciclo e 288 no segundo ciclo.

A produção tecnológica teve aumento de 93,28%, devido a 2.204 famílias de patentes no primeiro ciclo e 4.260 famílias de patentes no segundo ciclo. Mesmo que individualmente, o aumento não foi percebido nas duas classificações (IPC) para melhoria do solo.

De 2017 a 2021, as tecnologias de melhoria do solo (IPC C09K 17/00) foram apenas 9% das patentes citadas em 256 famílias. Em comparação com o período de 2012 a 2016, foi notada uma redução significativa de 65% de famílias de patentes em relação à perspectiva de aumento.

Durante o período de 2017 a 2018, as tecnologias de melhoria do solo (IPC E02D 3/00) foram citadas com 55% de citações em 1.642 famílias de patentes. Comparado ao período anterior apresentou um acréscimo de 159% de famílias de patentes.

3.1 Mapeamento Científico

O artigo com maior citação global foi dos autores Qadir *et al.* (2014), com 496 citações; Cowie *et al.* (2018), com 209 citações; Serra *et al.* (2014), com 195 citações; Kassam *et al.* (2012), com 169 citações; e De Vente *et al.* (2016), com 143 citações.

As palavras-chave mais usadas pelos autores são: segurança alimentar, seca, gestão sustentável da terra, agricultura, erosão do solo, sequestro de carbono, desenvolvimento sustentável, mudança climática e fertilidade do solo.

A produção científica teve destaque para a Gestão Sustentável da Terra (em inglês, *sustainable land management*) e a Degradação da Terra (em inglês, *land degradation*).

De 2012 a 2016, os autores dos artigos e revisões desse *corpus* apresentam prioridades em termos de: segurança alimentar, seca, gestão sustentável da terra, agricultura, erosão do solo, sequestro de carbono, desenvolvimento sustentável, mudança climática e fertilidade do solo (em inglês, *food security, drought, sustainable land management, agriculture, soil erosion, carbon sequestration, sustainable development, climate change and soil fertility*).

A produção científica apresenta, nos anos de 2017 a 2021, as palavras-chave: Gestão Sustentável da Terra que ganha força com a agricultura, sequestro de carbono e segurança alimentar; Mudança Climática também se expande com sinergias com a agricultura, sequestro de carbono, desenvolvimento sustentável e erosão do solo; a Sustentabilidade passa a abranger a Seca; a Erosão do Solo inclui a fertilidade do solo; a *Resilience* surge como uma nova nesse contexto e abrange a segurança alimentar; a Agricultura Sustentável passa a relacionar a erosão do solo; o Solo está ligado à segurança alimentar; o sensoriamento remoto está ligado à agricultura; a agrofloresta está ligada ao sequestro de carbono; e, por fim, as Terras Secas são mais destacadas isoladamente, pois no período anterior estavam vinculadas à Gestão Sustentável da Terra.

3.2 Mapeamento Tecnológico

As tecnologias verdes relacionadas ao estado da técnica sobre Agricultura Sustentável com base no melhoramento do solo (IPC C09K 17/00 e IPC E02D 3/00), em grande parte, estão voltadas para o estudo dos terrenos; maciez do solo aplicado ao enchimento, camada de terra, reforço, solo arenoso e águas subterrâneas; melhoramento do solo, que envolve a modificação, tratamento, condicionamento e partícula do solo; tratamento do solo macio; fundações compostas; consolidação do solo, sala de controle para aplicação para acompanhamento de erosão do solo, geotécnica, geocélulas; barreiras de areia; e geotêxtil composto.

Em 2021, o destaque foram os avanços técnicos da engenharia civil, impulsionados pelo mercado chinês, que totalizou 1.025 famílias de patentes. De acordo com Santos *et al.* (2018), a melhoria do comportamento hidráulico e mecânico dos solos para construções civis são mecanismos de biorremediação de solos.

A tendência tecnológica para melhoria do solo foi identificada pelo grande impacto causado pelo índice, se concentrando em cinco tópicos principais nos últimos 10 anos.

O tópico mais presente foi biochar para uso de animais (WILSON *et al.*, 2017) com 28 citações, alto nível de originalidade 0,97 e generalidade 0,95 e tem a cobertura de mercado protegida no Canadá e nos Estados Unidos.

A patente mais antiga da mesma empresa teve no Biochar melhorado (RANKO *et al.*, 2015) 36 citações, grau de originalidade 0,97 e generalidade 0,95, com cobertura de proteção patentária de mercado nos Estados Unidos, Canadá e Austrália.

A tecnologia sobre composições e métodos para controle de poeira e fabricação de materiais de construção (DOSIER *et al.*, 2016) teve 29 citações, grau de generalidade de 0,94 e grau de originalidade 0,93.

Os Sistemas distribuídos baseados em micróbios (SEAN *et al.*, 2017) tiveram 18 citações, grau de originalidade 0,95 e generalidade 0,93, das que têm uma cobertura de proteção de mercado com uma família de patente nos países Estados Unidos, Canadá, México, Colômbia, Peru, Brasil, Chile e Zâmbia.

O terceiro Biochar do *ranking* utilizado para terras salino-alcálicas costeiras (2015) teve 39 citações, grau de originalidade 0,89 e generalidade 0,69. As tecnologias mais usadas são: química de materiais básicos, biotecnologia e materiais de metalurgia.

Do estudo dos “*players*”, entende-se a dinâmica do mercado competitivo em relação à agricultura sustentável, sendo destacados a Carbon Technology Holdings, Cool Planet Energy Systems, Biomason, Locus Oil IP, Locus Solutions, Institutos de pesquisa Dong Tai de Pesquisa Plana e Ciência do Solo da Academia Chinesa.

A Carbon Technology Holdings tem uma forte atuação em grandes mercados agroindustriais, como Brasil, Índia, Austrália, França, Canadá, Finlândia, Noruega e Reino Unido. O campo de conhecimento é amplo, a saber: Química de Materiais Básicos, biotecnologia, materiais metalúrgicos, engenharia química, química de alimentos, farmacêutica e tecnologia médica (CARBONO TECNOLOGIA, 2022).

A Cool Planet Energy Systems atua no mercado para comercializar tecnologias inovadoras por meio da produção de biocarbono projetado e combustível renovável e carbono negativo, a partir da biomassa, além disso, também tem uma plataforma proprietária de biocarbonetos projetadas pela Cool Terra®, que tem como objetivo melhorar significativamente a saúde do solo ao mesmo tempo em que ocorre o sequestro de carbono. A sua missão é contribuir para um planeta mais saudável que alimenta mais pessoas e proporciona maior rentabilidade aos produtores (COOLPLANET, 2022).

A Biomason, que detém a segunda patente de maior impacto, tem uma boa cobertura de mercado com a oferta de tecnologias ambientais de construção civil com o uso de materiais do tipo biocimento que tem o potencial de remover 25% das emissões de carbono da indústria de concreto até 2030, segundo seu *site* comercial. E cabe destacar que é informado pela empresa que o cimento tradicional é responsável por 8% das emissões globais de dióxido de carbono no mundo (BIOMASON, 2022).

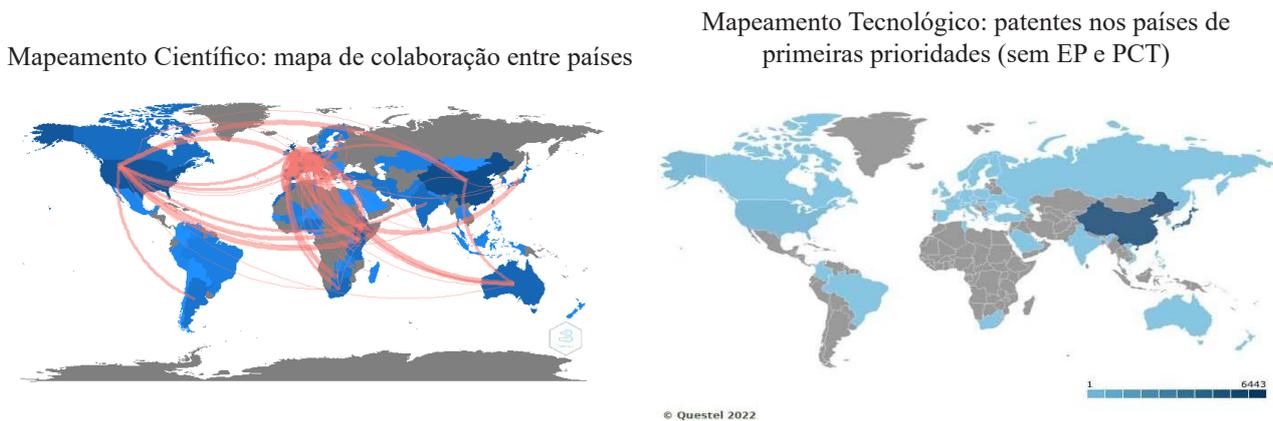
A Locus Oil IP Company LLC, atua em tecnologias verdes com domínio tecnológico em química básica de materiais, biotecnologia, engenharia civil, tecnologia ambiental, química de alimentos, química orgânica fina, outras máquinas especiais e farmacêutica. É detentora da marca Locus Bioenergy, voltada para a indústria de petróleo e gás, que produz biosurfactantes neutros em carbono derivados da natureza que são produzidos, a partir de matérias-primas renováveis para substituir os surfactantes químicos tradicionais com menos impacto ao ambiente (LOCUS BIO-ENERGY, 2022).

A Locus Solutions (antiga Locus Traxx) tem domínio tecnológico em biotecnologia, controle e comunicação digital e foi uma *startup* de sete anos que virou subsidiária da Companhia EMERSON ELECTRIC, líder mundial no atendimento às indústrias globais de transporte de contêineres e varejo de alimentos e monitoramento de alimentos frescos (ABOUT EMERSON, 2022).

O Instituto Dong Tai de Pesquisa Plana, Ramo de Nanjing (FILIAL DE NANJING DA ACADEMIA CHINESA DE CIÊNCIAS, 2022), e o Instituto de Ciência do Solo de Nanjing da Academia Chinesa (INSTITUTE OF SOIL SCIENCE, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES, 2022), que é referência em produção científica e tecnológica voltada para a sustentabilidade ambiental, dominam tecnologias que envolvem: química de materiais básicos, biotecnologia e materiais de metalurgia.

A Figura 1 mostra as redes colaborativas da comparação entre a produção científica e o desenvolvimento tecnológico. No comparativo de publicações científicas e produção tecnológica por país, a China é líder. A respeito dos estudos científicos sobre o tema, existem 73 países que estudam o tema em todo o mundo, de acordo com a frequência, conforme mostra a imagem à esquerda. Esse fluxo de colaborações dos trabalhos publicados indica que os Estados Unidos é o país com maior rede de interação com outros países.

Figura 1 – Produção Científica e Tecnológica dos países e redes de colaboração



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2022)

São, respectivamente, da China, Itália e Estados Unidos a maior produção científica sobre o tema. O primeiro país tem o maior número de autores correspondentes por artigo com 80 artigos; o segundo país é a Itália com 32 artigos de autores correspondentes.

A China é a principal referência em estudos sobre desenvolvimento sustentável, agricultura e solos; a Itália e o Reino Unido no que diz respeito à degradação da terra; e a Itália nos estudos sobre mudanças climáticas, de acordo com a análise das frequências das palavras-chave.

3.3 Mapeamento Tecnológico sobre o ODS2

A imagem da direita, com um tom de azul mais escuro, indica que o país (prioritário) com maior número de famílias de patentes dotou grandes mercados, em todos os continentes e países do globo terrestre.

A patente de invenção original tem o primeiro pedido associado a cada invenção registrada em outros países quando arquivado.

Em termos de estudos sobre a agricultura sustentável, no período pesquisado, a China é o primeiro país do *ranking* de famílias de patentes com 6.443, seguida pelo Japão (4.677), seguido, respectivamente, pelos Estados Unidos (753) e Coreia (743).

A Tabela 1 apresenta três tecnologias ambientais de destaque, com maior número de famílias de patentes, entre 2017 e 2021. Em 2017, os desafios de tecnologia ambiental voltados para a agricultura sustentável requerem investimentos de ponta na capacitância de nutrientes do solo e na fermentação de lodos animais para servir de base orgânica de muitos produtos, à medida que aumentam a disponibilidade de nutrientes no solo, plantas, ou mesmo na restauração de solos degradados. O diâmetro dos grãos de pedras finas para a montagem da camada de substrato serve para a restauração ecológica de superfícies, como anéis de substrato e outros artefatos.

Em 2018, as famílias de patentes indicaram a busca de recalcitrantes, que são produtos e processos capazes de decompor contaminantes orgânicos, químicos, radioativos, entre outros poluentes no solo e na água. Em seguida, destacam-se as brocas de agitação que podem misturar o agente e o corpo do solo circundante para reagir com o poluente para remover o poluente e purificar o corpo do solo (KEWEN *et al.*, 2018), assim como inibir ou retardar a erosão no tratamento de falhas de diques.

Em 2019, há um aumento nos condicionadores de solo, como as composições de base microbiana com ativos efetivos, adaptados ao clima e tipo de plantas e ao solo nativo (PIOTR, 2019); a remediação de impactos causados por minas de resíduos minerais; e as águas subterrâneas para que sejam impedidas de subir para entrar na camada de plantio e causar salinização do solo devido à evaporação da água (QINGFENG, 2019).

Tabela 1 – Top 3 das Tecnologias Ambientais aplicado à Agricultura Sustentável

ANO	TOP1	TOP2	TOP3
2017	Capacidade nutritiva do solo	Fermentação de iodo de animais	Tamanho do grão (diâmetro) das partículas de pedras finas
2018	Decomposição de contaminantes ou recalcitrantes	Broca de agitação	Falhas de diques
2019	Condicionadores de solo	Remediação de resíduos de minas	Águas subterrâneas
2020	Camada antipoluição	Reforço de drenagem por geotêxtil	Drenagem reforçada por eletroosmose
2021	Tubos de resíduos	Vegetação verde plantada	Água enriquecida com Selênio

Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2022)

Em 2020, o maior número de famílias de patentes em tecnologia ambiental é para a camada antipoluição; drenagem reforçada por eletro-osmose, que, aplicado ao lodo do esgoto, pode transformar em energia e composições de materiais para o solo como geotêxtil para reforço na drenagem, entre outras possibilidades.

No ano de 2021, as tecnologias ambientais mais relevantes são a utilização do selênio na água, conduzida por máquinas especiais que contribuiriam para o melhoramento do solo.

O selênio tem antifúngicos, resistência à toxicidade ambiental, antioxidante, regulação da síntese de clorofila, promoção do crescimento das plantas e efeitos de melhoria da qualidade das colheitas (JUNXIANG *et al.*, 2021).

Esses autores explicam que a água rica em selênio é usada para irrigação do solo, de forma que a melhoria do solo possa ser promovida e o objetivo de enriquecer as culturas com selênio seja atingido.

Existem no mercado novos produtos do tipo tubo de resíduos para drenagem aplicado à melhoria do solo e às diversas tecnologias de vegetações verdes.

Em seguida, é apresentado um conjunto de palavras-chave mais usadas pelos autores dos artigos e revisões, bem como as palavras que indicam os domínios técnicos mais relevantes da produção tecnológica, nos últimos dez anos, que compreendem os anos de 2012 a 2021, sobre o tema ODS2, conforme mostra a Figura 2.

3.4 Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas estão relacionadas às metas 2.4 e 2.5 da ODS2, da Agenda 2030, no sentido de obter maior capacidade de adaptação às condições meteorológicas extremas, que resultam nas secas, inundações e outros desastres.

A agricultura inteligente contribui para o monitoramento com parâmetros do clima, logo é um mecanismo importante para o melhoramento progressivo da qualidade da terra e do solo e manutenção da diversidade genética das plantas e sementes cultivadas.

No campo de domínios tecnológicos, os destaques são: tecnologia da computação e métodos de gestão da tecnologia da informação; máquinas elétricas, aparelhos, energia; química de materiais básicos, engenharia química, química alimentar; engenharia civil; biotecnologia; térmicas/processos e farmacêuticas.

Figura 2 – Nuvem de Palavras



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2022)

As classificações (IPC) mais citadas que estão associados ao tema são: gestão de tecnologia da informação (G06Q-010/06), análises de sementes (A01H-005-10), análise de microrganismos e enzimas (C12N), mudanças de estado de estado físico e diversas apresentações no C09K.

3.5 Solo

O solo está diretamente relacionado às metas 2.3, 2.4 e 2.5 da ODS2, sobre a qualidade do solo, erosão do solo, fertilidade do solo, degradação do solo, carbono orgânico do solo, conservação do solo e da água.

As patentes relacionadas à melhoria do solo avançaram com os domínios técnicos da Engenharia Civil, Química de Materiais Básicos, Outras Máquinas Especiais e Tecnologia Ambiental, principalmente.

A engenharia civil aumentou 157% de famílias de patentes e outras Máquinas Especiais aumentaram 102% nos anos de 2017 a 2021, se comparado ao período de 2012 e 2016.

3.6 Uso da Terra

O uso da terra está relacionado às metas 2.3, 2.4 e 2.5 do ODS2, e seus indicadores medem o volume de produção por unidade de trabalho por dimensão da empresa agrícola/pastoril/florestal (2.3.1); renda média dos pequenos produtores de alimentos, por sexo e condição de indígena (2.3.2) e a proporção da área agrícola sob agricultura produtiva e sustentável (2.4.1).

São questões estratégicas as políticas e as técnicas voltadas para a mudança no uso do solo, a gestão de terras, a fragmentação da terra, produtividade da terra, a posse da terra e o uso sustentável da terra.

3.7 Agricultura

A agricultura no contexto dos desafios para alcançar a sustentabilidade está relacionada ao maior número de metas e indicadores do ODS2, quais sejam as metas 2.3, 2.4, 2.5, 2.a, 2.b e 2.c.

A agricultura, associada às políticas e às ações para promover o desenvolvimento sustentável agrícola, aborda as questões sobre resiliência, produção agrícola e máquinas agrícolas.

A produção tecnológica relacionada à agricultura cresceu ano a ano e, em 2020, obteve o maior número de famílias de patentes com a primeira prioridade.

3.8 Sustentabilidade

A sustentabilidade (*sustainability*) é a base de todos os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e tem sinergia com todas as metas do ODS 2.

Os autores aprofundaram o estudo sobre os desafios do desenvolvimento sustentável e intensificação sustentável na agricultura.

Os domínios tecnológicos de destaque são: química de materiais básicos, engenharia química, máquinas elétricas, aparelhos, energia, química macromolecular, polímeros, química fina orgânica e outras máquinas especiais.

3.9 Segurança Alimentar

A segurança alimentar está relacionada diretamente às metas 2.4 e 2.5 do ODS2, quando se trata da produção de alimentos sustentáveis.

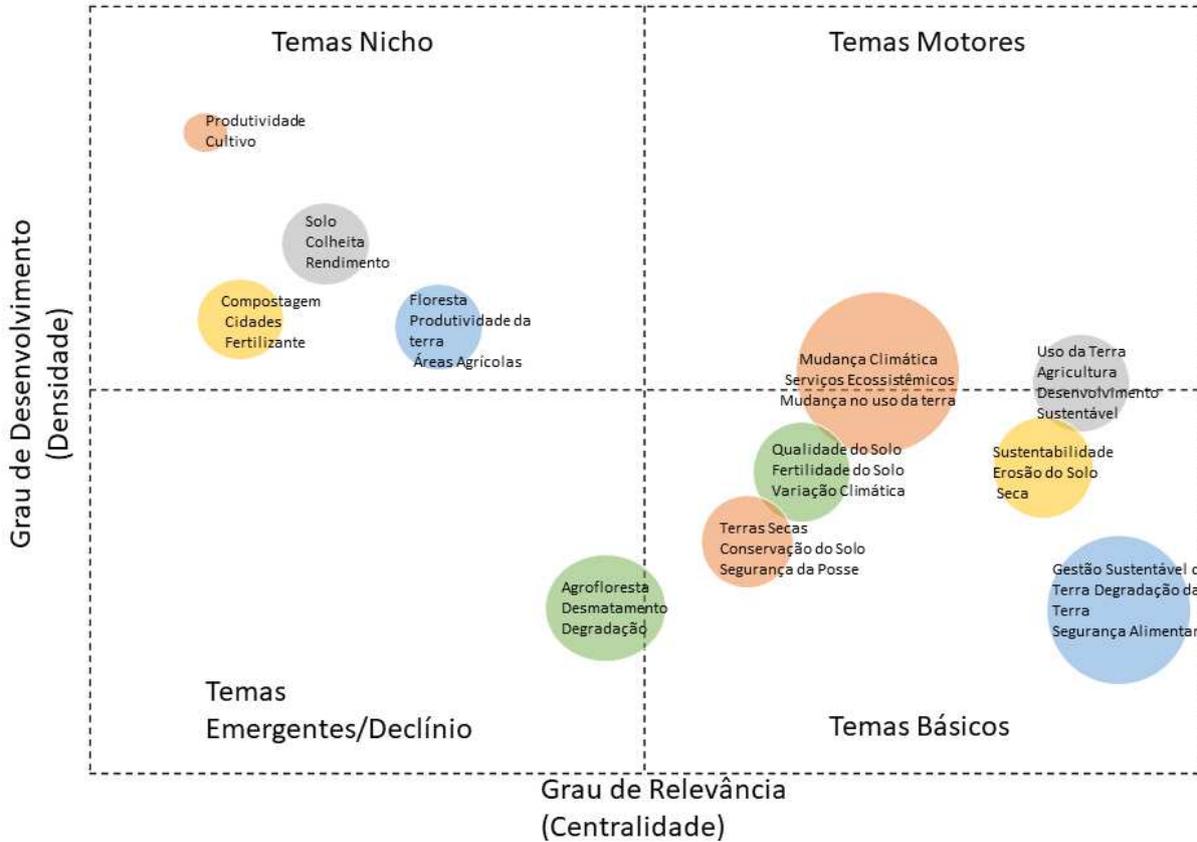
O domínio técnico dessa temática está centrado principalmente em química alimentar e química de materiais básicos, biotecnologia, análises de materiais biológicos, máquinas especiais, manuseio e métodos de gestão.

Os IPCs mais citados estão relacionados à análise de microrganismos e enzimas (C12N), os produtos alimentares em geral (A23L) e o que envolve a agricultura (A01N), voltado para a plantas, reguladores de crescimento de plantas, partes das plantas, para a preservação e produção de alimentos, os biocidas e repelentes de pragas.

Quanto à dinâmica e à sinergia das palavras-chave, segundo os interesses dos autores dos artigos e revisões deste *corpus*, foi possível identificar e mapear os temas, de acordo com o grau de relevância, dispostos em quadrantes na Figura 3, no período de 2012 a 2021. Cada *cluster* temático apresenta temas articulados que são resultados da análise bibliométrica da aproximação

de copalavras, conforme a densidade e centralidade que possibilita a classificação de temas e mapeamento em um diagrama bidimensional.

Figura 3 – Mapeamento Temático da Produção Científica



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2022)

No quadrante inferior à esquerda, tem-se baixa densidade e baixa centralidade que mostra o declínio do *cluster* dos temas relacionados, a saber: agrofloresta, desflorestamento e degradação. Observa-se, também, um processo de migração para o quadrante inferior à direita, em que são dispostos os temas básicos, o que indica a falta de interesse dos pesquisadores sobre esses assuntos com pouca sinergia com ODS2.

No primeiro quadrante à esquerda, com características de alta densidade, mas baixa centralidade, aponta para a concepção de temas nichos relacionados em ODS2, que são considerados emergentes, como: cultivo e a produtividade da agricultura; solo e a capacidade de rendimento para safras; floresta como fator importante para a produtividade das terras agrícolas; e importância da compostagem e fertilizantes para o desenvolvimento dos países.

Da análise do quadrante superior à direita, nota-se alta densidade e alta centralidade, considerados os temas motores, a saber: importância dos serviços ecossistêmicos, acompanhamento das mudanças climáticas e melhor uso da terra.

O quadrante inferior direito representa a maior concentração de *clusters* e indica os temas básicos e transversais sobre o ODS2.

O maior *cluster* indica a importância da gestão sustentável da terra para evitar a degradação da terra e a segurança alimentar no mundo; o segundo *cluster* trata da sustentabilidade como solução para evitar a seca e a erosão do solo; no terceiro, a necessidade de medição e acompanhamento da qualidade do solo, fertilidade do solo e a variação do clima; o quarto *cluster* correlaciona o tema segurança da terra no contexto das terras secas e a necessidade da conservação do solo.

Por último, há dois *clusters* situados entre quadrante inferior direito e o quadrante superior direito, que indicam os temas agricultura e o desenvolvimento sustentável da agricultura como temas básicos.

4 Considerações Finais

Os avanços científicos e tecnológicos da agricultura sustentável com o foco na fome zero no mundo, de 2012 a 2021, atenderam parcialmente aos desafios do ODS2 na Agenda 2030 da ONU.

O mapeamento científico indicou que o foco dos especialistas para alcançar melhores resultados na ODS2 é a Gestão Sustentável da Terra. Novos métodos foram propostos para responder à lacuna de como melhorar o uso da terra para diminuir os efeitos das mudanças climáticas que causam a degradação do solo, a seca e outras consequências prejudiciais ao cultivo de alimentos.

As publicações de maior impacto propõem avanços na agricultura inteligente pelo uso das tecnologias 4.0 (*big data*, IOT, entre outras), microrganismos, substâncias biológicas e serviços ecossistêmicos que favorecem o planejamento de ações preventivas e corretivas para melhorar o solo, articuladas com as informações das mudanças climáticas.

No entanto, a Gestão Sustentável da Terra como uma estratégia para a melhoria do solo não é aplicada em muitos países, o que mostra uma lacuna que dificulta a eficácia do cumprimento das metas estabelecidas pelo ODS2.

O problema da pobreza não foi abordado nas metas 2.1 e 2.2 da ODS2. As tecnologias sustentáveis para Agricultura e seus desdobramentos atendem às metas (2.3, 2.4 e 2.5), principalmente.

O mapeamento tecnológico das tecnologias de melhoramento do solo (IPC C09K 17/00) mostra uma tendência de estabilização do estado da técnica para essa finalidade nos últimos cinco anos, e não foi possível identificar as causas desse comportamento. Já as tecnologias de melhoramento do solo (IPCs C09K 17/00) evidenciam uma expansão expressiva do estado da técnica no período pesquisado. Houve também grande aumento no conhecimento técnico em Máquinas Especiais e Química de Materiais Básicos.

Apesar de terem uma tendência de crescimento ao longo dos últimos dez anos, as Tecnologias Ambientais não têm um domínio técnico relevante para a melhoria do solo, o que requer envolvimento necessário, maior interesse das empresas e instituições de tecnologia e governo, além de um maior volume de investimentos para tornar o ODS2 efetivo.

5 Perspectivas Futuras

Diante das perspectivas de progresso e limitações para a Agricultura Sustentável na maioria dos países, sobretudo os em desenvolvimento, é importante investir em pesquisas que acompanhem a dinâmica de todas as metas estabelecidas do ODS2, uma vez que há poucos artigos sobre o tema.

As novas pesquisas sobre a Gestão Sustentável da Terra e a conexão com os Sistemas de Inovação da Agricultura (agronegócio e economia familiar) podem auxiliar no planejamento estratégico de países para o cumprimento do ODS2.

Na literatura, não há estudos sobre *startups* para a Gestão Sustentável da Terra e para o desenvolvimento local e regional dos países no contexto da ODS2.

Outro ponto relevante para novas ideias são as estratégias para a minimizar os problemas e desafios dos pequenos proprietários de terra para viabilizar a produção sustentável em pequena e média escala.

Para finalizar, são necessários mais estudos sobre a dinâmica do mercado de carbono e outras substâncias nocivas ao meio ambiente associadas ao ODS2.

Referências

- ABOUT EMERSON. **Impulsionamos a inovação que torna o mundo mais saudável, seguro, inteligente e sustentável.** 2022. Disponível em: <https://www.emerson.com/en-us/about-us>. Acesso em: 5 maio 2023.
- AKHTAR-SCHUSTER, M. *et al.* Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio Conventions. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 195, n. Pt 1, p. 4-15, 2017.
- ANÍBAL, G. G. J. **Soil builder. European Patent**, 4 jul. 2017. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 13 fev. 2022.
- BIOMASON. **Revolucionando o Cimento com Biotecnologia.** 2021. Disponível em: <https://biomason.com/>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- CALAZANS, C. C. *et al.* Sementes Florestais e seu Potencial Tecnológico: uma análise metadados. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 794-809, 2021.
- CAMAROTTO, C. *et al.* Conservation agriculture and cover crop practices to regulate water, carbon and nitrogen cycles in the low-lying Venetian plain. **Catena**, [s.l.], v. 167, p. 236-249, 2018.
- CARBONO TECNOLOGIA. **Sobre Nós.** 2022. Disponível em: <https://www.carbon-technology.com/>. Acesso em: 5 maio 2023.
- COOLPLANET. **Net zero no prazo e no orçamento.** 2022. Disponível em: <https://www.coolplanet.io/>. Acesso em: 5 maio 2023.
- COWIE, A. L. *et al.* Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 79, p. 25-35, 2018.

DE VENTE, J. *et al.* How does the context and design of participatory decision making processes affect their outcomes? Evidence from sustainable land management in global drylands. **Ecology and Society: a Journal of Integrative Science for Resilience and Sustainability**, [s.l.], v. 21, n. 2, 2016.

DEJOHN, T. Locus bio energy solutions Dr. Amir and lab technician. **Locus Bio-Energy Solutions**, [s.l.], dezembro 13, 2021.

DOSIER, G. K. *et al.* Compositions and methods for dust control and the manufacture of construction materials. **European Patent**, [s.l.], 3 out. 2016. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 20 fev. 2022.

EMADODIN, I.; REINSCH, T.; TAUBE, F. Drought and desertification in Iran. **Hydrology**, [s.l.], v. 6, n. 3, p. 66, 2019.

FERREIRA, A. G. *et al.* Potencial da Aplicação de Blockchain para a Rastreabilidade de Cadeias de Alimentos Sustentáveis: um estudo prospectivo. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 981-998, 2021.

FILIAL DE NANJING DA ACADEMIA CHINESA DE CIÊNCIAS. **Sobre nós**. 2023. Disponível em: <http://english.njb.cas.cn/>. Acesso em: 30 maio 2023.

GARCIA-FRANCO, N. *et al.* Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. **Soil & Tillage Research**, [s.l.], v. 153, p. 66-75, 2015.

GONZALEZ-ROGLICH, M. *et al.* Synergizing global tools to monitor progress towards land degradation neutrality: Trends.Earth and the World Overview of Conservation Approaches and Technologies sustainable land management database. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 93, p. 34-42, 2019.

INSTITUTE OF SOIL SCIENCE, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES. **Impulsionadores econômicos e políticos do acúmulo de carbono orgânico no solo na China...** 2022. Disponível em: <http://english.issas.cas.cn/>. Acesso em: 5 maio 2023.

JUNXIANG, Z. *et al.* **Selenium-rich water reactor for improving soil**. Patent, 9 nov. 2021.

KASSAM, A. *et al.* Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 132, p. 7-17, 2012.

KEWEN, W. *et al.* Wear-resistant stirring drill bit easy to drill. **Patent Utility Model**, 10 de outubro de 2018. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 10 fev. 2022.

KUST, G.; ANDREEVA, O.; COWIE, A. Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 195, n. Pt 1, p. 16-24, 2017.

LOCUS BIO-ENERGY. **Biossurfactantes**: produzido por natureza. 2022. Disponível em: <https://locusbioenergy.com/>. Acesso em: 5 maio 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivo 2**: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 30 maio 2023.

PE'ER, G. *et al.* Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges. **People and Nature**, Hoboken, N.J., v. 2, n. 2, p. 305-316, 2020.

PETRESCU-MAGUM, R. M.; PETRESCU, D. C.; RETIUM, K. O. My land is my food: Exploring social function of large land deals using food security-land deals relation in five Eastern European countries. **Land Use Policy**, [s.l.], v. 82, p. 729-741, 2019.

PIOTR, M. A method for utilization and/or reclamation of degraded, desert and semi-arid areas as well as a multi-component composition for use in the method and a process for obtaining the composition using wastes. **World Patent**, 7 set. 2019. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 10 mar. 2022.

QADIR, M. *et al.* Economics of salt-induced land degradation and restoration. **Natural Resources Forum**, [s.l.], v. 38, n. 4, p. 282-295, 2014.

QINGFENG, Z. **Ecological greening project for preventing soil salinization**. Patent, 7 2019. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 10 mar. 2022.

RANKO, B. *et al.* Enhanced biochar. **European Patent**, 1º out. 2015. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 10 mar. 2022.

REED, M. S. *et al.* Reorienting land degradation towards sustainable land management: linking sustainable livelihoods with ecosystem services in rangeland systems. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 151, p. 472-485, 2015.

RONGJIANG, Y. *et al.* **Biochar-based coast saline-alkali land improvement conditioner and preparation method and application thereof**. Patent, 19 nov. 2015. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SANTOS, L. C. X. *et al.* Análise Prospectiva da Patente “Processo para a Aplicação da Biomineralização na Melhoria de Solos” – PI 1001279-6: estudo de viabilidade de patente brasileira por meio de informetria. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 11, n. 4, p. 1.182-1.198, 2018.

SEAN, F. *et al.* Distributed systems for the efficient production and use of microbe-based compositions. **European Patent**, 9 ago. 2017. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SEAN, Farmer. **Materials and methods for enhanced carbon utilization and/or sequestration as well as reducing deleterious atmospheric gases**. Titular: LOCUS IP. US20210267214. Depósito: 8 out. 2019. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SERRA, P. *et al.* Beyond urban-rural dichotomy: Exploring socioeconomic and land-use processes of change in Spain (1991–2011). **Applied geography**, Sevenoaks, England, v. 55, p. 71-81, 2014.

SMIRAGLIA, D. *et al.* Linking trajectories of land change, land degradation processes and ecosystem services. **Environmental Research**, [s.l.], v. 147, p. 590-600, 2016.

SUSTAINABLE. **Development Goal 2: Fome zero e agricultura sustentável**. [2022]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 2 maio 2023.

TESHOME, A. *et al.* Farmers' perceptions about the influence of land quality, land fragmentation and tenure systems on sustainable land management in the North Western Ethiopian highlands: Sustainable land management in the North Western Ethiopian highlands. **Land Degradation and Development**, [s.l.], v. 27, n. 4, p. 884-898, 2016.

VISSER *et al.* Soil as a basis to create enabling conditions for transitions towards sustainable land management as a key to achieve the SDGs by 2030. **Sustainability**, [s.l.], v. 11, n. 23, p. 6.792, 2019. Acesso em: 2 maio 2023.

WILSON, B. R. *et al.* Biochars for use with animals. **European Patent**, 2017. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentListPage>. Acesso em: 10 mar. 2022.

ZHANG, X. *et al.* Agricultural sustainable intensification improved nitrogen use efficiency and maintained high crop yield during 1980-2014 in Northern China. **The Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 596-597, p. 61-68, 2017.

Sobre as Autoras

Jaqueline Vieira

E-mail: jaquelinevieira@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1604-8645>

Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação.

Endereço profissional: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Pró-Reitora de Pesquisa e Inovação, Núcleo de Inovação Tecnológica, Rua do Rouxinol, n. 115, Bairro Imbuí, Salvador, BA. CEP: 41720-052.

Cristina M. Quintella

E-mail: cris5000tina@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3827-7625>

Pós-Doutora pelo Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade de Lisboa, ISEG, Portugal. Ciências Sociais Aplicadas em 2020.

Endereço profissional: Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Departamento de Química Geral e Inorgânica, Campus de Ondina, Ondina, Salvador, BA. CEP: 40170-290.