



RELATÓRIO SOBRE O  
ESTADO DA  
APLICAÇÃO  
DAS NOVAS  
TECNOLOGIAS  
À VIDA HUMANA

APLICAÇÃO DE  
NOVAS TECNOLOGIAS  
À AGRICULTURA

**Conselho Nacional de Ética  
para as Ciências da Vida**

Dezembro de 2023



Conselho  
Nacional de  
Ética para as  
Ciências da Vida

© **Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida, 2024**

Relatório sobre o Estado da Aplicação das Novas Tecnologias à Vida Humana 2023

Aplicação de novas tecnologias à agricultura

Coordenação: Maria do Céu Patrão Neves

Relatores: Pedro Fevereiro, Inês Fronteira e Maria do Céu Patrão Neves

Apoio aos trabalhos: Joana Araújo

Imagem de capa: José Osswald | Figuras: Pedro Daniel

Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida

Avenida D. Carlos I, n.º 134 - 5º

1200-651 LISBOA PORTUGAL

Tel. +351 213 910 884

email: [geral@cneqv.pt](mailto:geral@cneqv.pt)

[www.cneqv.pt](http://www.cneqv.pt)



Conselho  
Nacional de  
Ética para as  
Ciências da Vida

O Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida (CNECV), no cumprimento do estabelecido pela alínea c) do n.º 1 do Artigo 3.º da Lei n.º 24/2009, de 29 de maio, que o institui, e sobretudo na prossecução da sua missão de contribuir para a qualificação das políticas públicas e para a formação da sociedade em geral em matéria de implicações éticas dos progressos científico-tecnológicos, apresenta anualmente à Assembleia da República um Relatório sobre o Estado da Aplicação das Novas Tecnologias à Vida Humana e respetivas implicações de natureza ética e social. O Relatório termina com a apresentação de Recomendações dirigidas a legisladores, profissionais e cidadãos acerca de vias de desenvolvimento das tecnologias visadas, com vista a potencializar os seus benefícios e mitigar ou eliminar os seus potenciais prejuízos.



**RELATÓRIO SOBRE O  
ESTADO DA APLICAÇÃO DAS NOVAS TECNOLOGIAS À VIDA HUMANA 2023  
- Aplicação de novas tecnologias à agricultura -**

---

**CONTEÚDOS**

Preâmbulo.....	5
1. Aplicação de novas tecnologias à Agricultura: um imperativo ético .....	6
1.1. Urgência do aumento da eficiência agrícola .....	7
1.2. Premência da inovação tecnológica na Agricultura.....	10
2. Algumas tecnologias em implementação na Agricultura .....	12
3. Implicações e desafios éticos colocados pela inovação tecnológica na agricultura.....	14
Glossário de termos .....	17
Recomendações.....	19



## Preâmbulo

O Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida (CNECV), fiel à designação com que foi instituído, tem por missão apreciar e dar parecer sobre as questões éticas suscitadas pelo progresso científico e inovação tecnológica em todos os domínios das ciências da vida. A sua análise abarca o plano humano, mas também o animal e o vegetal, ou seja, a vida em todas as suas dimensões, no equilíbrio dos ecossistemas.

O CNECV teve a oportunidade de refletir e de sensibilizar a sociedade sobre problemáticas relacionadas com seres vivos não-humanos e com o ambiente, e tão diversas como as abordadas pelo [Parecer n.º 61/CNECV/2011](#) sobre biologia sintética, realizado em conjunto com o Comité de Bioética de Espanha (CBE), o [Parecer n.º 62/CNECV/2011](#) sobre os aspetos éticos da experimentação animal, as [Atas do 11º Seminário do CNECV](#), dedicado ao tema “Nanotecnologias e O.G.M. Ciência, ética e sociedade” (2011), o primeiro volume da coleção “Questões contemporâneas em Bioética”, intitulado “[Acesso a Água: implicações éticas de um direito fundamental](#)” (2016). No presente mandato, a criação de um Grupo de Trabalho especializado dedicado à Uma Só Saúde deu azo, de março de 2022 a novembro de 2023, a um calendário de audições de especialistas e debates públicos, culminando com a publicação da obra coletiva “[ONE HEALTH: Um Planeta, uma Saúde, uma Ética](#)” (2023) e, já em 2024, da [Recomendação n.º 4 do CNECV](#) sobre “Uma Só saúde, Uma Ética”.

Neste contexto alargado da reflexão sobre as ciências da vida que o CNECV adota, a agricultura constitui uma problemática a privilegiar, atendendo à sua importância vital, providenciando o alimento necessário à subsistência saudável da humanidade, e à complexidade que esta atividade presentemente envolve, solicitando-se-lhe relevantes contributos sociais e ambientais para além da função originária de produção alimentar. Sendo uma das mais remotas e ancestrais atividades humanas, mantém-se, desde a sua origem e até ao presente, como essencial e indispensável. E, todavia, as suas práticas foram também evoluindo ao longo dos tempos, beneficiando do progresso técnico das sociedades, tal como se verificou com a sua acentuada industrialização sobretudo a partir da Segunda Guerra Mundial. Hoje, a agricultura constitui cada vez mais um domínio de inovação tecnológica, ao longo de toda a cadeia alimentar, desde os meios de produção, à distribuição ao consumidor, com impactos significativos sobretudo no plano social e ambiental.

Reconhecendo a importância da agricultura como sustentáculo das civilizações modernas e da saúde e bem-estar nutricional das populações, ciente também do impacto da atividade agrícola sobre a biodiversidade e a saúde dos ecossistemas, o CNECV entendeu refletir, por sua iniciativa, sobre os aspetos éticos decorrentes da integração da inovação tecnológica na produção agrícola.

O CNECV, cumprindo o seu compromisso de abertura à sociedade, tem deliberado ouvir as pessoas e as entidades que considera necessárias para a emissão dos seus pareceres, de que o presente pronunciamento não foi exceção. Assim, procedeu à audição de Ana Paula Garcia, subdiretora geral da Direção Geral de Alimentação e Veterinária, Gabriela



Cruz, presidente da APOSOLO – Associação Portuguesa de Mobilização de Conservação do Solo, e Francisco Pavão, vice-presidente da Confederação dos Agricultores de Portugal. O CNECV agradece aos especialistas a generosa partilha de conhecimentos e perspetivas, que muito enriqueceram os trabalhos do presente parecer.

O presente Relatório do CNECV, alicerçado na reflexão anterior e no contributo dos especialistas, pretende contribuir, com recomendações éticas concretas e urgentes, para o aperfeiçoamento de políticas públicas que incentivem e apoiem a inovação agrícola, na justa perceção dos seus impactos a todos os níveis e como via necessária e urgente para,

- em termos globais, alimentar a população mundial e contribuir para a sustentabilidade do planeta
- e, especificamente no plano nacional, (i) promover a produção de bens alimentares, contribuindo para a autossuficiência de algumas fileiras e seu potencial exportador, (ii) rentabilizar a produção primária e proporcionar a justa remuneração do agricultor, contribuindo para a fixação da população rural e desenvolvimento das comunidades rurais, (iii) assegurar a gestão sustentável dos recursos naturais e a preservação da biodiversidade, contribuindo para a conservação da natureza e proteção do ambiente.

Assim se valoriza também uma atividade que é vital desde sempre e como tal permanece.

## **1. Aplicação de novas tecnologias à Agricultura: um imperativo ético**

A agricultura desempenha um papel fundamental na disponibilização de alimentos nutritivos e seguros à humanidade, assim contribuindo para a concretização do “direito à alimentação”, estabelecido na *Declaração Universal dos Direitos Humanos* (1948)<sup>1</sup>, reforçado e especificado pelo *Pacto Internacional sobre os Direitos Económicos, Sociais e Culturais* (1966)<sup>2</sup>. A agricultura constitui também uma estrutura produtiva, sendo essencial para a realização do direito humano à “segurança alimentar”, ou seja, à garantia de disponibilidade e estabilidade do abastecimento e do acesso físico, social e económico permanente a alimentos com qualidade e em quantidade suficientes para satisfazer necessidades nutricionais das pessoas, de acordo com as suas preferências alimentares e indispensáveis para a sua sobrevivência e vida ativa e saudável<sup>3</sup>. A “segurança alimentar”

---

<sup>1</sup> É o número 1 do artigo 25.º da *Declaração Universal dos Direitos Humanos* que estabelece a alimentação como um direito humano: “Toda a pessoa tem direito a um nível de vida suficiente para lhe assegurar e à sua família a saúde e o bem-estar, principalmente quanto à alimentação [...]”.

<sup>2</sup> O número 2 do artigo 11º do *Pacto Internacional sobre os Direitos Económicos, Sociais e Culturais* afirma “[...]o direito fundamental de toda a pessoa a estar protegida contra a fome”, exigindo aos Estados que adotem “individualmente e através da cooperação internacional, as medidas, incluindo programas concretos, que sejam necessários para: a) melhorar os métodos de produção, conservação e distribuição de alimentos através da plena utilização dos conhecimentos técnicos e científicos, da divulgação de princípios sobre nutrição e do aperfeiçoamento ou da reforma dos regimes agrários de modo a que se atinja uma exploração e utilização mais eficazes das riquezas naturais; b) assegurar uma distribuição equitativa dos recursos alimentares mundiais em relação às necessidades, tendo em conta os problemas que se colocam, tanto para os países que importam produtos alimentares, como para os que os exportam.”

<sup>3</sup> *Declaração de Roma sobre Segurança Alimentar Mundial e Plano de Acção da Cimeira Mundial da Alimentação*, de 1996. <https://www.fao.org/3/w3613p/w3613p00.htm>

específica e amplia o “direito à alimentação”, tendo-se, por isso, tornado o conceito prevaiente.

O propósito de alcançar a segurança alimentar a nível mundial é hoje reafirmado pelas Nações Unidas, na sua Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável<sup>4</sup> que, em 2015, enunciou 17 objetivos como as prioridades e aspirações globais, no âmbito económico, social e ambiental, a realizar até 2030 em áreas que afetam a qualidade de vida de todos os cidadãos do mundo, não só os atuais, mas também os futuros. O objetivo 2 é “erradicar a fome”, indicando explicitamente a urgência de alcançar a segurança alimentar, e definindo duas prioridades específicas:

i) garantir sistemas de produção de alimentos sustentáveis, com capacidade de adaptação às alterações climáticas (fenómenos meteorológicos extremos, secas, inundações e pragas resultantes destes fenómenos), que permitam o aumento da produtividade, recorrendo a práticas agrícolas flexíveis que melhorem a qualidade do solo e mantenham as condições bióticas e abióticas dos ecossistemas;

ii) aumentar o investimento e adaptação da tecnologia, a cooperação internacional e as sinergias entre os diferentes intervenientes da produção alimentar, nomeadamente entre agricultores, indústria, academia, associações, laboratórios e entidades governamentais com poder de decisão e definição de políticas agrícolas comuns.

Não obstante, três quartos de século após a primeira enunciação da “alimentação” como direito humano, a “segurança alimentar” mundial continua por cumprir. O investimento na agricultura impõe-se como essencial e prioritário no presente, tanto do ponto de vista ético, como requisito para a subsistência, saúde e bem-estar da humanidade, como do ponto de vista político, como responsabilidade dos Estados e da comunidade internacional de garantirem um volume de produção suficiente, a ampla distribuição necessária para o acesso universal da humanidade à alimentação. Em suma, a segurança alimentar mundial é um imperativo ético que se traduz numa obrigação política global.

### **1.1. Urgência do aumento da eficiência agrícola**

O direito à alimentação e à segurança alimentar de todos os seres humanos não só permanece como desiderato - tal como dito -, mas enfrenta atualmente dois graves desafios, ambos inéditos nas características que apresentam, um social e outro ambiental. Referimo-nos, respetivamente, ao aumento da população mundial e aos impactos das alterações climáticas na produção alimentar, ambos convergindo na exigência de uma maior eficiência da agricultura.

O primeiro desafio, de ordem demográfica, é relativo ao crescimento (e distribuição) da população mundial (bem como ao aumento do consumo de alimentos proteicos) o qual

---

<sup>4</sup> United Nations (2016). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, A/RES/70/1. Acedido em 20 de dezembro de 2023.

<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>



impõe naturalmente uma pressão ímpar ao volume da produção agrícola. Com efeito, a população mundial atual regista já o recorde de aproximadamente 8,1 mil milhões de pessoas, sendo que a Organização das Nações Unidas (ONU) refere que cerca de 10% passam fome e 2 mil milhões sofrem de deficiências de micronutrientes<sup>5</sup>. Entretanto, a população mundial continua a aumentar devendo atingir cerca de 9,7 mil milhões até 2050, o que resultará num aumento de 70% na procura de alimentos e de calorias em relação ao presente<sup>6</sup>.

A previsão de ter de alimentar quase 10 mil milhões de pessoas constitui um desafio extraordinariamente exigente, sendo que, segundo a FAO, acabar com a fome e acomodar a pressão demográfica apenas até 2030 representa investimentos anuais na ordem de 265 mil milhões de dólares.

O maior desafio para o aumento da produção alimentar, porém, não é apenas ou principalmente financeiro, mas antes e sobretudo ambiental. Num passado ainda recente, como o da súbita explosão demográfica que se seguiu ao termo da Segunda Guerra Mundial (*baby boom*), o então necessário e urgente aumento da produção agrícola resultou, por exemplo, na sobre-exploração dos solos e sua conseqüente degradação (deflorestação, erosão, perda de qualidade), no uso excessivo de fertilizantes, pesticidas e herbicidas, originando a contaminação química de terrenos e de recursos aquíferos (sedimentação em cursos de água), na utilização desregrada de água, seu desperdício e escassez em algumas regiões (depleção de aquíferos e diminuição dos níveis de água em rios e lagos), na redução da biodiversidade (perda de *habitat* natural), e também no aumento de emissões de gases de efeito estufa. Nesta época, algumas práticas agrícolas contribuíram para a degradação do ambiente e para o aceleração das alterações climáticas.

Hoje, porém, a questão ambiental interpela duplamente a agricultura. Por um lado, e como reação ao seu negativo impacto ambiental recente, exige-se-lhe que se desenvolva, que aumente a produção alimentar não só sem os impactos ambientais do passado, mas contribuindo positiva e efetivamente para a sustentabilidade ambiental. Por outro lado, e em sentido inverso, a agricultura sofre os impactos das alterações climáticas em curso, exigindo-se-lhe que se adapte às novas condições de produção alimentar, sem diminuir, mas antes aumentando o seu volume.

É neste contexto que importa introduzir o identificado segundo desafio prioritário a considerar, o ambiental, neste caso relativo aos impactos que as alterações climáticas têm provocado na atividade agrícola como a deterioração dos solos (aridez, salinização), a distribuição e intensidade das pragas (condições favoráveis à propagação de patogénicos), a escassez da água (aumento da temperatura, alterações nos padrões de chuva, aumento da evaporação), o agravamento das flutuações na produção e na qualidade dos alimentos, entre outros prejuízos convergentes na perda de produtividade

---

<sup>5</sup> FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2022.

<sup>6</sup> United Nations. (2019). World Population Prospects 2019: Highlights. UN. <https://doi.org/10.18356/13bf5476-en>





agrícola e no aumento do preço dos bens alimentares, em síntese, na insegurança alimentar global.

Atualmente, com 1,2°C de aquecimento médio da superfície global terrestre, com uma maior frequência e intensidade de acontecimentos climáticos extremos, os impactos negativos na agricultura são já dramáticos, muito em particular ao nível da produção de cereais e grãos alimentares, uma fonte importante de nutrientes na dieta humana e desempenham um papel significativo na alimentação global. Trabalhos recentes de modelização mostram que um mundo mais quente reduzirá os rendimentos globais de trigo, arroz, milho e soja<sup>7</sup>, culturas que fornecem dois terços da ingestão calórica humana. Acresce o facto de, hoje, os fatores de produção agrícola estarem também sob pressão, a qual tende a agudizar-se com o aumento da procura e a necessidade de se produzir mais alimentos. O abastecimento global de água ficará, previsivelmente, 40% abaixo das necessidades globais até 2030. O custo dos fertilizantes está em constante crescimento, também devido à sua escassez, e o aumento dos custos de energia e de mão-de-obra estão já a afetar as margens de lucro em todo o sistema alimentar. Por outro lado, os sistemas de produção, embalagem e distribuição de alimentos são responsáveis por 20 a 30% das emissões globais de gases com efeito de estufa, 70% dos usos de água doce e 70% da perda de biodiversidade.

Em síntese, a agricultura é atualmente chamada a adaptar-se às novas condições de produção influenciadas pelas alterações climáticas e a aumentar a produção alimentar, reforçando a qualidade e segurança dos alimentos, numa expansão ímpar da sua função identitária. Simultaneamente, exige-se-lhe que, não só que reduza os seus potenciais impactos ambientais negativos, mas que produza também uma ampla diversidade de bens públicos. Referimo-nos a contributos ambientais, sociais e económicos paralelos à produção de alimentos (externalidades) e que não são remunerados pelo mercado, na assunção de uma multifuncionalidade da agricultura, como sejam a biodiversidade do solo agrícola (bens ambientais), a ocupação e manutenção do espaço rural (bens sociais) e o desenvolvimento de comunidades rurais prósperas (bens económicos).

Nesta complexa situação que caracteriza hoje a atividade agrícola, o direito à segurança alimentar enfrenta dois desafios vitais, o social e o ambiental, ambos de forte dimensão ética enquanto garantes da subsistência humana e da sustentabilidade do planeta. O imperativo, também de ordem ética, é o de, com uma premência crescente, aumentar a produção e a segurança alimentar e de diminuir o impacto da agricultura no meio ambiente e na diversidade biológica. Ou seja, a urgência de aumentar a eficiência agrícola é cada vez maior, exigida quer pelo crescimento demográfico mundial, quer pela intensificação dos impactos deletérios das alterações climáticas na agricultura e pelas obrigações de responsabilidade ambiental colocadas à agricultura. A introdução de diferentes tecnologias inovadoras na prática agrícola constitui a melhor resposta a estes desafios e é sob esta perspetiva que a analisaremos (para além de outros benefícios que possa protagonizar, como os económicos).

---

<sup>7</sup> Chao et al., 2017. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 114(35): 9326-9331

## 1.2. Premência da inovação tecnológica na Agricultura

A tecnologia agrícola define-se como um amplo e cada vez mais diverso conjunto de instrumentos (ferramentas, equipamentos) e processos tecnológicos (software, sistemas), para produzir bens agrícolas de forma mais eficiente (desde a preparação dos solos à disponibilização do produto final ao consumidor), isto é, aumentando a quantidade e a qualidade da produção, ao mesmo tempo reforçando a sustentabilidade da agricultura<sup>8</sup> e contribuindo para a segurança alimentar.

Podemos, muito brevemente e apenas do ponto de vista metodológico, sistematizar as tecnologias agrícolas em biológicas e digitais, não obstante se assistir hoje a uma cada vez maior convergência de tecnologias potencializadora das mais-valias de cada uma.

A aplicação das biotecnologias à agricultura têm já uma longa história, recorrendo hoje a conhecimentos da biologia molecular, e contemplando nomeadamente uma panóplia de métodos de apoio ao melhoramento de variedades vegetais e animais (por exemplo, respetivamente, produção de plantas geneticamente modificadas resistentes a pragas, ou de plantas e animais com maior valor nutricional), como seja o melhoramento assistido por marcadores moleculares, a hibridação somática ou a engenharia genética, permitindo acelerar a adaptação das culturas a condições edafoclimáticas e melhorando também as características organolépticas e nutracêuticas dos produtos alimentares. Outras realizações, a título ilustrativo, serão o desenvolvimento de variedades vegetais mais bem adaptadas às pragas e doenças específicas das regiões onde se semeiam ou instalam as culturas, de forma a minimizar a mobilização de solos, a utilização de nutrientes, de fitofármacos e de água.

As tecnologias digitais, apesar de serem mais recentes, começaram a ser utilizadas na agricultura desde as décadas de 80 e 90 do século passado, com o uso de sistemas de informações geográficas (GIS) e também da automação assistida por sistemas de orientação por GPS. Entretanto, foram sendo introduzidos sensores em equipamentos e culturas (de temperatura e humidade, ou a qualidade do solo e do ar), desenvolvida capacidade de monitorização remota e concebidos sistemas robóticos adaptados às necessidades, desenhando-se uma estratégia de gestão agrícola baseada na observação, medição e resposta à variabilidade temporal. Estas tecnologias vieram a ser assistidas pela Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) e pela Inteligência Artificial (IA), permitindo obter informações em tempo real para tomadas de decisão mais rápidas e informadas, visando uma intervenção precisa, e proporcionando a melhor utilização e gestão de recursos (água, fertilizantes, pesticidas).

Desenvolve-se assim uma designada “agricultura de precisão” caracterizada pela capacidade de intervenção diferenciada e adaptada a objetivos específicos, através da implementação das tecnologias disponíveis (sobretudo tecnologias da informação e comunicação/TIC), assim permitindo a otimização de todos os recursos e uma eficiência

---

<sup>8</sup> Sustentabilidade: viver em harmonia com o nosso ambiente social e natural, com base num sentido de justiça e equidade, num ambiente intergeracional complexo onde os ecossistemas globais e o bem-estar humano prosperam juntos, garantindo a equidade social para as gerações presentes e futuras.



ímpar da ação. Atualmente começa a impor-se a expressão “agricultura digital”, destacando a preponderância crescente das tecnologias digitais na atividade agrícola as quais, aliás, permitem alargar a intervenção tecnológica para além da gestão por zona ou parcela agrícola, característica da agricultura de precisão, para uma gestão coextensiva aos processos agrícolas, desde o planeamento das culturas até a comercialização, vantagem da agricultura digital.

A implementação de diferentes tecnologias na agricultura promove decisivamente os dois desideratos fundamentais: aumento da produção alimentar e diminuição dos impactos ambientais. Esta evolução da inovação tecnológica na agricultura é marcada pela otimização dos recursos e dos processos (do plantio à colheita), do trabalho e dos investimentos, pelo maior controlo dos produtores sobre a produção, processamento, distribuição e armazenamento, melhorando a qualidade e a segurança dos produtos alimentares, o retorno dos agricultores e o controlo dos preços dos bens alimentares aos consumidores, a eficiência e a sustentabilidade da agricultura. Contribui igualmente de modo significativo para a revalorização do papel social, ambiental e económico da agricultura.

A título ilustrativo, a aplicação de novas tecnologias à agricultura poderá:

- reduzir a utilização da água, fertilizantes, pesticidas e outros fatores de produção, o que permite aos produtores agrícolas reduzir custos e manter uma maior parte dos seus lucros;
- prevenir ou reduzir drasticamente a quantidade de escoamento de produtos químicos para os cursos de água, diminuindo o impacto da agricultura no ambiente e aumentando a sustentabilidade;
- aumentar o rendimento das colheitas e, ao mesmo tempo, diminuir a utilização de mão-de-obra;
- facilitar a comunicação e coordenação de atividades entre agricultores, agrónomos ou outros técnicos agrícolas;
- minimizar as barreiras de acesso aos seguros agrícolas e aos serviços financeiros, bem como aos dados tecnológicos e de mercado;
- mitigar os danos que poderiam ser causados por pragas, calamidades naturais e intempéries na agricultura, com a ajuda de sistemas de monitorização agrícola acessíveis e sempre ativos;
- aumentar o rendimento agrícola através do uso de variedades resistentes a pragas e doenças, menos exigentes no uso da água, mais tolerantes ao estresse salino, produzindo grão e frutos de melhor qualidade;
- identificar atempadamente a deficiência de nutrientes nas plantas e notificar os produtores agrícolas sobre o tipo e quantidade de fertilizantes e outras alterações necessárias;
- prever potenciais problemas na exploração agrícola através da visualização de padrões e tendências de produção obtidos a partir de uma análise de dados agrícolas atuais e históricos.



- estimar o rendimento global das suas colheitas, podendo assim os produtores orçamentar com precisão a próxima estação de cultivo e preparar-se melhor para emergências.

## **2. Algumas tecnologias em implementação na Agricultura**

Das modernas tecnologias atualmente aplicadas ou aplicáveis à atividade agrícola fazem parte novos equipamentos, como sejam os *drones* agrícolas com sensores específicos para a monitorização das condições das culturas e para aplicação de agroquímicos; robôs agrícolas para colheita automatizada de frutos ou para a deteção de pragas e doenças e aplicação de produtos vários; equipamento agrícola automatizado dirigido por GPS; e espantalhos a laser. Também existem novos métodos sensoriais, como sejam aqueles que permitem determinar o fluxo de seiva ou a capacidade fotossintética das culturas e sistemas digitalizados para análise e gestão geográfica. É também já possível utilizar métodos de *sensorização* remota utilizando imagens fornecidas por satélite, realizar posicionamento cinemático em tempo-real (RTK-GPS) e tecnologias de conectividade que permitem, por exemplo, a monitorização à distância do desenvolvimento das culturas e o posicionamento das cabeças de gado (IoT); e de gestão de água.

Existem também uma série de aplicações digitais e de gestão de dados utilizadas para a análise de dados em larga escala obtidos pelos diferentes sensores utilizados na monitorização das culturas e softwares de gestão da atividade agrícola bem como a aplicação de *blockchain* para rastreabilidade e otimização da gestão e venda de stocks, e métodos de Inteligência Artificial para análise eficiente de dados e tomada de decisão.

A biotecnologia e nanotecnologia oferecem métodos modernos de melhoramento assistido por marcadores moleculares, tecnologia de construção e introdução de minicromossomas que transportam características desejadas para determinadas variedades vegetais, métodos de edição de genoma que permitem, por exemplo, silenciar a expressão de genes que facilitam a instalação de organismos patogénicos nas culturas ou que são responsáveis pela síntese de compostos antinutricionais. Oferece ainda a tecnologia de sementes como o *priming* ou o revestimento de sementes com diferentes camadas que fornecem microorganismos simbiotes e/ou nutrientes específicos ou fitofármacos, bem como biopesticidas e bioestimulantes à base de microorganismos ou de extratos de plantas ou de algas, os bioestimulantes com base em subprodutos das indústrias biológicas, como a produção de microalgas ou a produção de insetos e as formulações para aplicações agrícolas baseadas em nanopartículas de polímeros naturais.

Finalmente, a tecnologia oferece novos modos de produção agrícola, quer sejam os que se desenvolvem no sentido de ser mais ajustados aos ecossistemas, com a agricultura regenerativa, a agricultura sintrópica ou a permacultura, que se preocupam com a saúde do solo e do seu microbioma, da minimização da erosão e da maximização

da biodiversidade, ou mais ajustadas a uma agricultura sem terra, como a hidroponia, onde o solo é substituído por uma solução nutritiva, sendo já utilizada em estufas em todo o mundo; a aeroponia, onde as plantas são suspensas no ar, são apoiadas pelo colo e recebendo, por aspersão, pequenas quantidades de água ou solução nutritiva nas raízes; ou a agricultura vertical, que recorre à combinação da hidroponia e da aeroponia, em ambiente fechado e altamente controlado.

Nem todas estas tecnologias se encontram no mesmo estado de maturidade, tal como se pode observar na figura 1. No entanto, todas elas encontram-se já validadas cientificamente, o que permite reconhecer uma revolução na forma de fazer agricultura em todo o mundo.

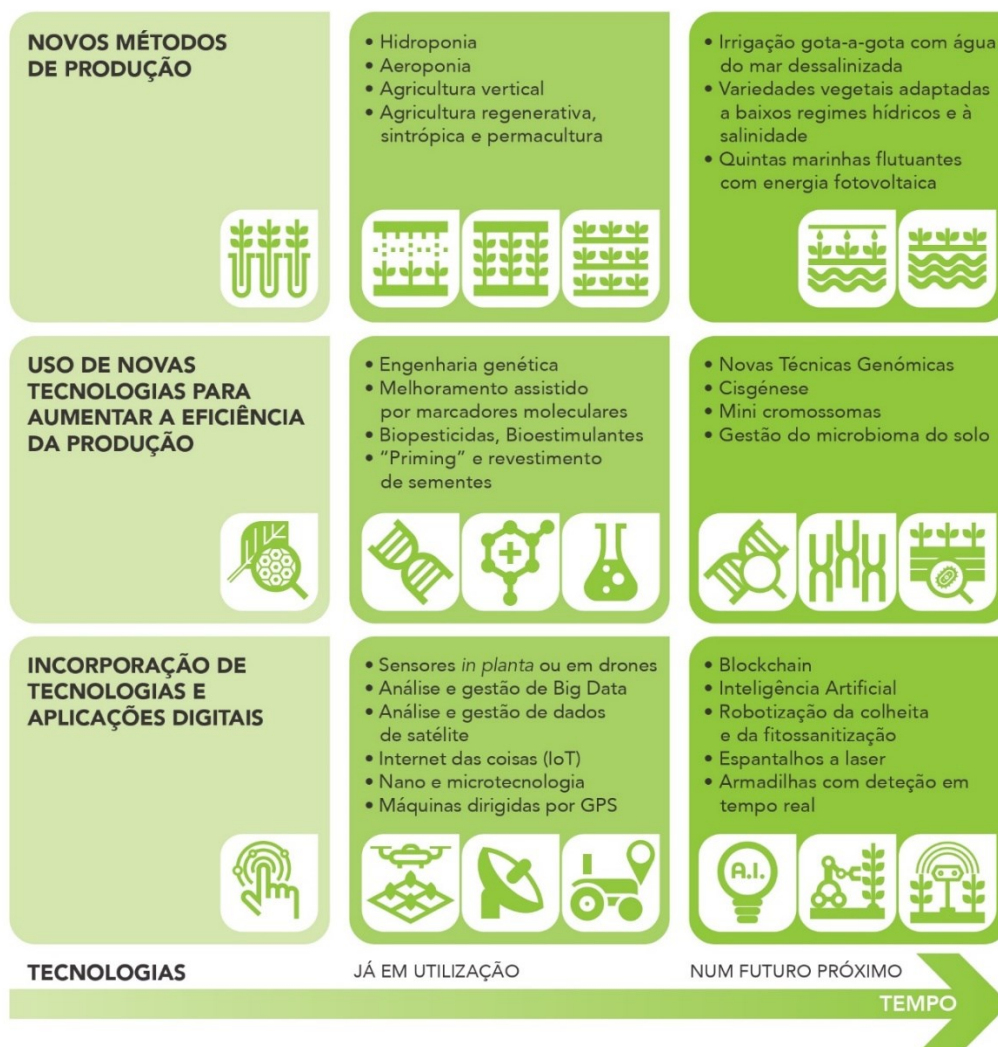


Figura 1 - Algumas tecnologias aplicáveis à agricultura, de acordo com o seu grau de maturidade<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Quadro elaborado por Pedro Fevereiro, seguindo um modelo adotado por em documentos internacionais neste domínio, de que é exemplo o relatório *Agriculture 4.0 - The Future of Farming Technology* elaborado no âmbito da edição de 2018 da *World Governments Summit*. Grafismo de Pedro Daniel.



### **3. Implicações e desafios éticos colocados pela inovação tecnológica na agricultura**

Uma atividade tão complexa e exigente como é hoje a ancestral produção agrícola envolve necessariamente inúmeros temas e problemas com uma forte dimensão ética, isto é, cuja prática carece de fundamentação em valores e princípios éticos, devendo observar e promover os direitos humanos. Podíamos apontar, a título ilustrativo, questões como: a exploração agrícola para a produção de bens não alimentares, nomeadamente bioetanol, biodiesel ou bioplásticos; o monopólio de sementes por parte de poucas grandes agroempresas que assim condicionam a produção mundial de alguns bens e os seus preços; a iniquidade da distribuição de bens alimentares evidenciada pela imoral percentagem de população mundial sub- ou desnutrida e com fome; a pressão social para a mudança de hábitos alimentares, frequentemente associada a uma crítica desinformada e por vezes demagógica à atividade agrícola; a rentabilidade justa do produtor e a redistribuição da riqueza ao longo da fileira agrícola.

Não obstante a relevância ética destas e outras matérias muito diversas associadas à prática agrícola, não as contemplamos no presente Relatório sobre o Estado da Aplicação das Novas Tecnologias à Vida Humana, restringindo-nos aos temas de dimensão ética que decorrem especificamente da aplicação das novas tecnologias à agricultura, hoje necessária e urgente por uma panóplia de razões que vêm a ser apontadas.

Sublinhamos que, no presente, a realidade demográfica mundial e ambiental global requerem a aplicação das novas tecnologias à agricultura como a melhor via para responder à dupla premência: de alimentar a população mundial em crescimento (o que por sua vez também exige a adaptação às alterações climáticas) e de proteger o meio ambiente e a biodiversidade em degradação. A inovação agrícola responde assim a um designado *princípio da necessidade*, invocável quando estão em causa direitos humanos, podendo ser aqui chamado enquanto obrigatoriedade de ação visando a realização de um fim consensualmente reconhecido como um bem, sem alternativa equivalente, e de disponibilização urgente para muitos, para a humanidade.

Não obstante, a aplicação de novas tecnologias à agricultura, à semelhança do que se verifica em outros domínios de atividade humana, tem, regra geral, implicações sociais relevantes que exigem uma ponderação ética prévia acerca dos previsíveis benefícios e potenciais prejuízos. Referimo-nos, por exemplo, à crescente automação agrícola e paralela substituição do fator humano na sua proximidade à terra, a par da descaracterização da paisagem e transformação do modo de vida e na conversão do agricultor num empresário.

No caso particular da atividade agrícola existem inevitavelmente impactos no ambiente que devem ser também objeto de apreciação ética. A destruição de *habitat* prístinos (como florestas naturais ou naturalizadas) para a prática agrícola, o uso indiscriminado de agroquímicos ou a agricultura intensiva de monoculturas, o descuido da preservação da biodiversidade local e regional ou ainda a não preservação de



variedades tradicionais e a destruição de regiões que constituem centros de domesticação e que retêm espécies selvagens afins das espécies cultivadas exigem uma ponderação ética.

Em ambos os contextos – social e ambiental –, importa ter em atenção, entre outros aspetos: o desenho da tecnologia a produzir, projetar em função das evidências e não em função de percepções ou ideologias, e atendendo a considerações tão diversas como a intencionalidade estrutural da ferramenta em causa ou os materiais para a sua construção; a natureza dos recursos tecnológicos disponíveis e a finalidade da sua aplicação, construindo para a sustentabilidade, utilizando fontes e recursos renováveis; a validação da sua adequação aos objetivos visados e a identificação de eventuais impactos diretos e indiretos, a par de medidas mitigadoras de potenciais prejuízos (sociais e ambientais); a utilização de padrões abertos, dados abertos e código aberto; e reavaliar, numa perspetiva de reconhecer e analisar dados fidedignos acumulados os requisitos de segurança da sua utilização, podendo ser necessária formação especializada e certificação para o seu uso; a avaliação dos custos-benefícios; a transformação que geram no mundo rural.

A consideração destes aspetos evidencia a ponderação de dois princípios éticos fundamentais: o da precaução e o da responsabilidade. A *precaução* intervém na necessidade avaliação da eficiências e impactos dos diferentes novos recursos tecnológicos que vão surgindo, o que exige a validação das tecnologias e a formação especializada dos utilizadores. Neste âmbito poder-se-ia incluir a ponderação de fatores tão diversos quanto a descaracterização da paisagem ou a poluição sonora.

Consequentemente, gera-se também uma *responsabilidade* acrescida por parte de todos os intervenientes na inovação agrícola e proporcional ao poder e influência que cada uma das partes interessadas tem neste âmbito: desde os governantes, na formulação de políticas agrícolas, de desenvolvimento regional e de investigação científica; aos produtores, no conhecimento e experiência que possuem para uma correta avaliação de benefícios e riscos dos diferentes modos de produção; e ao consumidor, nas preferências que expressam em função dos impactos conhecidos (e.g. impacto social quando se recorre a trabalhadores ilegais, frequentemente vítimas de exploração; impacto ambiental, em produções em regime intensivo) e coerentemente valoriza na compra dos produtos.

Os aspetos apontados podem ser mais facilmente alcançados se se enveredar por um modelo de cocriação tecnológica agrícola alargado e inclusivo desde o nível do seu desenho, envolvendo as diversas partes interessadas e necessariamente os utilizadores finais; e se projetar um mesmo modelo integrador na fase da implementação das tecnologias nos terrenos, envolvendo os trabalhadores e as comunidades rurais na avaliação dos impactos durante a utilização. Para além da vantagem de a inovação agrícola poder vir assim mais fácil e positivamente responder às necessidades e expectativas do agricultor e da sociedade, refletirá uma mais ampla e rigorosa percepção dos eventuais riscos associados e potenciará as probabilidades de sucesso da inovação. Por exemplo, ao abrigo de um modelo integrador será mais fácil compreender o

ecossistema existente, de forma a evitar ou mitigar os impactos negativos da aplicação da inovação, em particular em locais sensíveis onde a biodiversidade se encontra em risco, ou projetar a produção para a escala necessária, de forma a reduzir o desperdício de recursos, em particular aqueles que não são renováveis, e reutilizar e melhorar os processos de obtenção de produtos para reduzir o impacto da atividade agrícola no solo e nos ecossistemas. Uma designada agricultura circular, que reutiliza os seus resíduos convertendo em recursos para outras ações produtivas, nada desperdiçando, carece desta visão alargada da atividade agrícola e da assistência tecnológica.

As comunidades rurais devem, pois, ser mobilizadas para que se sintam incluídas e participantes ativas, informadas e responsáveis, na gestão da inovação tecnológica agrícola em função dos seus impactos no ambiente e na sociedade, dimensões indissociáveis na ruralidade, sobretudo atendendo à complexidade das interações ser humano-ambiente nos sistemas de produção agrícola. A dinamização das comunidades rurais constituirá igualmente um fator de atração para visitantes, turistas e também para a população urbana, combatendo a desertificação e abandono do campo, e promovendo, por exemplo, mercados e serviços locais, a par da gestão do território e do cuidar da paisagem.

As opções tecnológicas, para além da legítima expectativa da justa rentabilidade da atividade do agricultor, devem ser também fundamentadas em valores sociais e ambientais, que extravasam os interesses particulares e se constituem como contributos relevantes para o bem comum que uma agricultura tecnologicamente assistida poderá mais plenamente cumprir.





## **Glossário de termos**

**Agricultura regenerativa** - conjunto de métodos agrícolas que permite a conservação e restauro dos recursos naturais como o solo, a água e a biodiversidade, numa perspectiva de circularidade dos recursos.

**Agricultura sintrópica** - conjunto de métodos agrícolas que fazem com que a agricultura permita a evolução e a transformação do terreno agrícola ao longo do tempo e do espaço, no sentido do aumento da quantidade e qualidade da vida.

**Biotecnologia** - qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para uma utilização específica

**Blockchain** - mecanismo de armazenamento de dados em blocos interligados em cadeia que permite o compartilhamento transparente e seguro de informações por meio de equações usadas para verificar a validade dos dados.

**Características nutracêuticas** - características de um alimento ou parte de um alimento que proporciona benefícios médicos e/ou de saúde, incluindo a prevenção e/ou tratamento de uma doença.

**Características organolépticas** - características que impressionam os sentidos.

**Cisgénese** - transferência de variantes alélicas que codificam características desejáveis entre organismos da mesma espécie, utilizando técnicas de engenharia genética.

**Edafoclimático** - relativo aos solos e ao clima.

**Edição do genoma** - alteração pontual de uma sequência genética precisa através de ferramentas moleculares.

**Hibridação somática** - produção de organismos híbridos através da fusão de células de dois organismos de espécies distintas.

**Inteligência Artificial** - sistemas digitais capazes de tomar decisões e apresentar soluções de forma autónoma, baseados em padrões e pesquisa de enormes bases de dados.

**IoT (Internet das coisas)** - interconexão digital de objetos quotidianos com a Internet.

**Microrganismos simbiotes** - microrganismos que vivem numa associação a longo prazo, em geral benéfica, com outros seres vivos.

**Nanotecnologia** - construção de estruturas e novos materiais úteis, entre 1 (10<sup>-9</sup> do metro) e 100 nanómetros, a partir de átomos ou moléculas.

**Permacultura** - método para planejar sistemas agrícolas à escala humana, baseado em princípios ecológicos, sendo uma forma sistémica de se visualizar o mundo e as relações entre todos os seus componentes.



**Priming de sementes** - processo pelo qual as sementes são induzidas a um estado de metabolismo pré-germinativo por hidratação, tratamento controlado e posterior desidratação para aumento da taxa e vigor da sua germinação.

**RTK-GPS** - técnica de posicionamento relativo por GPS com recurso a um Sistema Global de Navegação por Satélite.

**Sensorização remota** - conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas, fenómenos), através do registro da interação da radiação eletromagnética com a superfície, realizado por sensores mais ou menos distantes.

**Sustentabilidade** - vivência em equilíbrio com o ambiente social e natural, com base num sentido de justiça e equidade, prosperando juntos os ecossistemas globais e o bem-estar humano, e garantindo a equidade social para as gerações presentes e futuras.

## Recomendações

No termo da presente reflexão em torno da inovação agrícola, o Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida destaca:

- o valor inestimável da agricultura na produção de alimentos de qualidade nutricional e seguros, no cumprimento do seu desiderato identitário, num mundo marcado por forte crescimento demográfico e contribuindo para a concretização do direito à alimentação e à segurança alimentar;

- o impacto negativo das alterações climáticas na agricultura e a necessidade contínua de esta se adaptar às novas condições de produção sem diminuir, mas antes aumentando o volume de produção;

- o contributo da agricultura para a produção de bens públicos na assunção da sua multifuncionalidade, nomeadamente para o equilíbrio dos ecossistemas, na preservação da biodiversidade e proteção ambiental, e na manutenção das comunidades rurais;

- o imperativo ético de eficiência agrícola, no aumento da produção alimentar, na adaptação às alterações climáticas e na diminuição de impactos ambientais;

E, assim, recomenda o investimento efetivo na inovação agrícola como exigência para a eficiência da agricultura, através:

- da intervenção ativa e influente junto das autoridades europeias e nas sucessivas reformas da Política Agrícola Comum (PAC) e suas revisões regimentais para que esta se adeque maximamente ao perfil da agricultura portuguesa, em toda a extensão do país, e em particular no que se refere à introdução e desenvolvimento da inovação agrícola adaptada às condições edafoclimáticas (relativas ao solo e ao clima) das várias regiões;

- da aplicação nacional competente da PAC, e de outros programas financeiros europeus, como o Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), de forma transparente e célere, e em particular nos seus apoios à inovação agrícola;

- da formulação de políticas nacionais estimulantes do desenvolvimento de tecnologias agrícolas, favoráveis ao nível legislativo (e.g. regulamentação desburocratizada para a utilização das novas tecnologias), administrativo (e.g. licenciamento célere), financeiro (e.g. benefícios fiscais) e de infraestruturas (e.g. cobertura de rede de Internet do espaço rural);

- da criação de sinergias e mecanismos de diálogo permanente entre responsáveis políticos nacionais e regionais (e.g. sintonia, articulação e complementaridade entre iniciativas político-legislativas aplicadas à agricultura), associações e empresas agrícolas (e.g. implementação de modelos empresariais inovadores), academia e centros de investigação (e.g. desenvolvimento a investigação agrícola), para uma otimização de competências e recursos e de partilha de boas práticas agroambientais;



- da utilização responsável das tecnologias agrícolas para promover a rentabilidade da atividade no produtor e ao longo da fileira e a estabilidade de preços ao consumidor, a sua adaptação às alterações climáticas e aumento da produtividade, a sustentabilidade ambiental e a proteção da biodiversidade, e a dinamização e desenvolvimento das comunidades rurais;

- da valorização da atividade agrícola na sua função identitária de produção de bens alimentares nutritivos e seguros, e na sua multifuncionalidade de produção de uma diversidade de bens públicos;

- da motivação das gerações mais jovens, potencialmente com maior apetência, formação e proficiência para a inovação tecnológica, em prol de uma prática agrícola sustentável nos seus três pilares, ambiental, económico e social;

- do estabelecimento de serviços de avaliação da eficácia das novas tecnologias agrícolas, previamente à sua aplicação, envolvendo não apenas técnicos, mas também os utilizadores finais e as comunidades rurais, tornando a sua implementação dependente de uma análise da sustentabilidade dos resultados.

Aprovado por unanimidade na 285ª Reunião Plenária em 16 de fevereiro de 2023.

*Maria do Céu Patrão Neves,*

Presidente do Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida