

# Estudo Prospectivo sobre a Agricultura de Precisão com Sensores de Umidade e Salinidade à Base de Fibra Óptica

## *Prospective Study on Precision Agriculture with Fiber Optic-Based Humidity and Salinity Sensors*

Atanaildo de Melo Campos<sup>1</sup>, Isnaldo José de Souza Coêlho<sup>1</sup>, Miriam Cleide Cavalcante de Amorim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil

### Resumo

A Agricultura de Precisão (AP) tem se destacado no desenvolvimento sustentável do setor agrícola, promovendo maior eficiência produtiva e uso racional dos recursos naturais. Entre suas tecnologias, os sensores ópticos, especialmente os baseados em fibras, mostram-se promissores no monitoramento de variáveis como umidade e salinidade do solo, com potencial de aplicação em regiões como o Semiárido e o Vale do São Francisco (VaSF). Este estudo exploratório analisou artigos científicos e documentos de patentes publicados entre 2013 e 2023, utilizando palavras-chave específicas e realizando buscas nos portais da Capes e no *software* Questel Orbit®. Os resultados apontam crescimento no interesse por sensores e dados, embora tecnologias como fotônica de micro-ondas ainda sejam pouco exploradas. A baixa incidência de patentes nessa área indica oportunidades de inovação. A colaboração entre academia, indústria e Estado é essencial para ampliar a adoção dessas tecnologias e garantir a sustentabilidade agrícola no Brasil.

Palavras-chave: Telemetria; Fotônica em Micro-Ondas; Instrumentação Eletrônica.

Área Tecnológica: Fotônica, Sensoriamento Óptico e Ciência de Dados Aplicada à Agricultura.

### Abstract

Precision Agriculture (PA) has emerged as a key approach to promoting sustainability in the agricultural sector by enhancing productivity and enabling the efficient use of natural resources. Among the technologies employed, optical sensors particularly fiber-based systems have shown significant potential for monitoring soil parameters such as moisture and salinity, especially in regions like the Brazilian Semiarid and the São Francisco Valley. This exploratory study analyzes scientific articles and patent documents published between 2013 and 2023, using specific keywords and searches conducted in the CAPES Portal and Questel Orbit® software. The results indicate a growing interest in sensor technologies and data-driven approaches, although emerging technologies such as microwave photonics remain underexplored. The low number of patent filings in this field highlights important opportunities for technological innovation. Strengthening collaboration among academia, industry, and government is essential to foster the adoption of these technologies and to support sustainable agricultural development in Brazil.

Keywords: Telemetry; Microwave Photonics; Electronic Instrumentation.



## 1 Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) foi introduzida no Brasil no início da década de 1990, com o objetivo de otimizar a produção agrícola e expandir a rentabilidade das propriedades rurais, tendo como resultado maiores investimentos no setor (Vidal *et al.*, 2016). A AP não se resume a uma simples aplicação de tratamentos em diferentes áreas, sendo um conjunto de tecnologias voltadas para o gerenciamento preciso de cultivos, considerando as particularidades locais de cada região agrícola (Mantovani; Queiroz; Dias, 1998; Leite *et al.*, 2021).

Entre as tecnologias que compõem a AP, os sensores são essenciais. Eles fornecem dados importantes sobre o clima, o solo e as plantas, permitindo o monitoramento de fatores como umidade, salinidade e composição do solo. A umidade do solo, por exemplo, é um dos principais fatores que impactam diretamente a saúde das plantas. Controlá-la adequadamente é fundamental para garantir a distribuição eficiente da água, evitando tanto a escassez quanto o excesso, que podem prejudicar o desenvolvimento das culturas (Li *et al.*, 2021).

A diversidade de sensores utilizados na AP é notável. Esses dispositivos convertem grandezas físicas em sinais elétricos que são enviados para um microcontrolador, permitindo uma análise detalhada do solo e das culturas (Dias *et al.*, 2010). Essa transformação de dados físicos em informações processáveis possibilita uma gestão agrícola mais eficiente, o que se reflete em operações mais assertivas e rentáveis, sem desperdícios nem danos ao solo (Silveira, 2011).

Outro desafio crescente no campo é a salinização do solo, especialmente em regiões mais áridas. Esse processo afeta a fertilidade do solo, sua capacidade de reter água e, conseqüentemente, a produtividade agrícola. Além disso, tem um impacto direto na economia e no bem-estar das comunidades rurais. A detecção precoce da salinidade é de suma importância, uma vez que permite que práticas corretivas, como a calagem, sejam aplicadas antes que os danos se tornem irreversíveis ou muito difíceis de serem contornados ou corrigidos (Zhao *et al.*, 2017; Azevedo *et al.*, 2018; Rengasamy, 2006).

Nos últimos anos, a utilização de sensores na AP tem se expandido, incluindo os de fibras ópticas, que têm ganhado destaque no monitoramento da umidade e da salinidade. Essas tecnologias inovadoras transformam variáveis físicas, como a umidade e a salinidade, em sinais elétricos, que são interpretados por microcontroladores para uma análise mais detalhada do solo e das culturas (Dias *et al.*, 2010). Esse avanço facilita a gestão agrícola, tornando as decisões mais precisas, evitando desperdícios e otimizando os recursos, como a água (Silveira, 2011).

Investir em inovações tecnológicas, como essas, não apenas melhora a produção agrícola, mas também promove a sustentabilidade do setor. O uso mais eficiente dos recursos ajuda a garantir que a agricultura continue a ser viável no longo prazo, ao mesmo tempo em que protege o meio ambiente. Além disso, ao fortalecer as parcerias entre o setor público, a indústria e as universidades, o Brasil tem a oportunidade de se destacar no cenário global, ampliando suas exportações e contribuindo para a segurança alimentar mundial.

Este estudo exploratório, que se baseia na análise de artigos e patentes, busca destacar o crescente interesse pelas tecnologias de AP e a importância da colaboração entre academia, indústria e governo para promover inovações no setor. O objetivo é compreender como esses esforços conjuntos podem impulsionar avanços significativos na Agricultura de Precisão, garantindo um futuro mais sustentável e competitivo para a agricultura no Brasil.

## 2 Metodologia

Para a elaboração desta prospecção tecnológica, foi realizado um estudo preliminar exploratório com o objetivo de levantar informações sobre propriedade intelectual, patentes, agricultura de precisão, sensores de umidade e salinidade, e sensores à base de fibras ópticas. A análise de artigos permitiu uma compreensão abrangente dos aspectos gerais do tema, além da identificação das palavras-chave para a busca de anterioridade e análise dos dados de prospecção. O levantamento bibliográfico foi conduzido entre maio e junho de 2023, no portal de periódicos da Capes, utilizando palavras-chave como “precision agriculture”, “telemetry”, “microwave photonics”, “electronic instrumentation” e “optics”, conforme detalhado no Quadro 1.

Foram selecionados artigos gratuitos, em português e inglês, publicados entre 2013 e 2023, focados em agricultura de precisão com sensores de umidade e salinidade à base de fibra óptica. Excluíram-se artigos em espanhol e aqueles que não abordavam o problema de pesquisa ou estavam incompletos. A prospecção patentária foi realizada de forma exploratória utilizando o *software* Questel Orbit (Orbit Intelligence, 2023), com a mesma combinação de palavras-chave, focando nos registros de propriedade intelectual publicados nos últimos 10 anos (2013-2023) e buscando alinhamento temático nos títulos ou resumos das patentes. Todas as buscas foram realizadas em 29 de junho de 2023.

**Quadro 1** – Combinações utilizadas para identificação de artigos no portal Periódicos Capes

COMBINAÇÕES	PALAVRAS-CHAVE	RESULTADO
Combinação 1	<i>precision agriculture</i>	18437 documentos
Combinação 2	<i>precision agriculture NOT vehicle robot</i>	17640 documentos
Combinação 3	<i>precision agriculture AND telemetry NOT vehicle robot</i>	76 documentos
Combinação 4	<i>precision agriculture AND telemetry AND microwave photonics NOT vehicle robot</i>	0 documentos
Combinação 5	<i>precision agriculture AND telemetry AND electronic instrumentation NOT vehicle robot</i>	4 documentos
Combinação 6	<i>precision agriculture AND telemetry AND optics NOT vehicle robot</i>	2 documentos
Combinação 7	<i>precision agriculture AND optics NOT vehicle robot</i>	189 documentos

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2023)

### 3 Resultados e Discussão

A análise das combinações de palavras-chave mostra que a busca por “precision agriculture” gerou um grande volume de documentos (18.437), com a exclusão de “vehicle robot” reduzindo ligeiramente o número (17.640). Quando a pesquisa foi afinada para incluir “telemetry”, o número de resultados caiu para 76, indicando um campo mais nichado. As combinações que introduziram “microwave photonics” e “electronic instrumentation” apresentaram resultados ainda menores, com 0 e 4 documentos, respectivamente, sugerindo uma exploração limitada dessas tecnologias na agricultura de precisão. Por fim, “precision agriculture AND optics” resultou em dois documentos, refletindo uma área também emergente, mas com base reduzida de pesquisa.

Quando a busca foi ajustada para excluir o termo “vehicle robot”, observou-se uma leve redução no número de resultados (17.640), em comparação com os 18.437 documentos encontrados inicialmente com o termo “precision agriculture”. Esse dado indica que, embora os veículos autônomos representem uma parte importante da agricultura de precisão, eles não são o foco principal da maioria dos estudos. Isso reforça a ideia de que o campo vai muito além dos robôs veiculares, abrangendo uma ampla variedade de tecnologias, como drones, sensores remotos, sistemas de monitoramento e análise de dados em tempo real.

Além disso, ao refinar ainda mais a pesquisa com termos mais específicos, como “telemetry”, o número de documentos caiu drasticamente para apenas 76, revelando um segmento mais restrito e ainda em desenvolvimento. Outros termos, como “microwave photonics” e “electronic instrumentation”, retornaram zero e apenas quatro documentos, respectivamente – o que sugere uma inserção ainda muito tímida dessas tecnologias no contexto da agricultura de precisão. Já a combinação “precision agriculture AND optics” apresentou

apenas dois resultados, o que também aponta para uma área emergente, com grande potencial, mas ainda com uma base científica bastante limitada.

Esses dados, de modo geral, revelam não só a diversidade de abordagens dentro da agricultura de precisão, mas também evidenciam lacunas importantes que podem ser exploradas por novas pesquisas, especialmente no que diz respeito ao uso de tecnologias avançadas ainda pouco aplicadas no setor.

A adição do termo “telemetry” gerou apenas 76 documentos, sugerindo que, embora a telemetria seja promissora, ela ainda é menos explorada em comparação com outras tecnologias, como sensores de solo. A baixa quantidade de publicações pode indicar desafios na adaptação ou no custo de implementação em larga escala, limitando sua adoção mais ampla na agricultura de precisão.

A busca por “microwave photonics” não retornou resultados, sinalizando que essa tecnologia, com grande potencial para sensores de alta precisão, ainda não foi explorada de forma significativa na agricultura de precisão. Sua ausência nas publicações sugere uma lacuna no campo, o que pode indicar limitações relacionadas ao desenvolvimento tecnológico da área.

Ao substituir “microwave photonics” por “electronic instrumentation”, a busca resultou em apenas 4 documentos, o que indica uma escassez de pesquisa sobre instrumentação eletrônica avançada na agricultura de precisão. Isso sugere que, embora essencial, o desenvolvimento e a implementação de tecnologias eletrônicas mais sofisticadas estão ainda em estágios iniciais.

A busca final, que substituiu “electronic instrumentation” por “optic”, resultou em apenas dois documentos, indicando que a ótica, embora importante para medir variáveis ambientais, ainda é um campo específico dentro da

agricultura de precisão. O baixo número de publicações sugere que, apesar de seu potencial, a ótica está em fase emergente e enfrenta desafios técnicos e de implementação.

Porém, a combinação “precision agriculture AND optic NOT vehicle robot” gerou 189 documentos, evidenciando um crescimento na pesquisa sobre a aplicação de tecnologias ópticas. Embora ainda limitada, a ótica, com tecnologias como câmeras hiperespectrais e LIDAR, tem um grande potencial para transformar a agricultura de precisão ao melhorar a gestão de culturas e detectar problemas como doenças e estresse hídrico.

Em resumo, as buscas realizadas destacam o avanço da agricultura de precisão, com foco em sensores e dados, mas também revelam lacunas significativas em tecnologias avançadas, como fotônica de micro-ondas e instrumentação eletrônica. A ótica, embora promissora, ainda está em estágios iniciais de desenvolvimento. Isso indica que, apesar do progresso, ainda há muito a ser feito para integrar essas inovações de forma eficaz e acessível na agricultura, com um esforço conjunto de pesquisa, desenvolvimento e adaptação ao contexto agrícola global.

Em relação à prospecção patentária com a busca na base de patentes Questel Orbit® (Orbit Intelligence, 2023) a mesma foi realizada usando os filtros da busca avançada, agrupando pelas famílias de patentes, em qualquer idioma, buscando nos títulos e nos resumos e documentos publicados entre 2013 a 2023 (últimos 10 anos), na forma demonstrada no Quadro 2.

A análise das buscas na base de patentes Questel Orbit® revela um panorama sobre a inovação tecnológica na agricultura de precisão, com foco na telemetria e outras tecnologias emergentes. A pesquisa inicial, utilizando

“precision agriculture”, resultou em 514 patentes, indicando o desenvolvimento consolidado dessa área. No entanto, ao incluir “telemetry”, o número caiu para apenas 3 patentes, sugerindo que, apesar de sua importância no monitoramento agrícola, a telemetria é um campo ainda pouco explorado ou protegido por patentes. A exclusão de “vehicle robot” na busca seguinte não alterou esse número, indicando que as inovações patenteadas não estão diretamente relacionadas a veículos autônomos, possivelmente evidenciando uma lacuna no desenvolvimento de robôs agrícolas avançados.

A ausência de resultados nas buscas com termos como “microwave photonic”, “electronic instrumentation” e “optic” sugere que essas tecnologias ainda não possuem registros significativos de patentes na agricultura de precisão. Isso aponta para um campo promissor para inovação, pois a integração dessas áreas com a telemetria pode trazer avanços no monitoramento remoto e na automação agrícola. Já a busca por “precision agriculture AND optic” resultou em um único documento de patente, sugerindo um interesse incipiente em tecnologias ópticas no setor, relacionadas ao sensoriamento remoto e sistemas de visão computacional.

Esses resultados destacam uma discrepância no volume de inovações patenteadas entre conceitos amplos e mais específicos. A baixa maturidade de tecnologias como fotônica de micro-ondas e instrumentação eletrônica pode indicar que essas inovações estão em estágios iniciais de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, dificuldades de implementação, como infraestrutura e conectividade em áreas rurais, podem limitar a adoção dessas tecnologias. A falta de incentivos comerciais e a proteção de inovações por grandes corporações, através de segredos industriais, também podem explicar a escassez de patentes.

**Quadro 2** – Buscas na base de patentes Questel Orbit®

COMBINAÇÕES	PALAVRAS-CHAVE	RESULTADO	DATA DA BUSCA
Combinação 1	<i>precision agriculture</i>	514 documentos de patentes	29/06/2023
Combinação 2	<i>precision agriculture AND telemetry</i>	3 documentos de patentes	29/06/2023
Combinação 3	<i>precision agriculture AND telemetry NOT vehicle robot</i>	3 documentos de patentes	29/06/2023
Combinação 4	<i>precision agriculture AND telemetry AND microwave photonic</i>	0 documentos de patentes	29/06/2023
Combinação 5	<i>precision agriculture AND telemetry AND electronic instrumentation</i>	0 documentos de patentes	29/06/2023
Combinação 6	<i>precision agriculture AND telemetry AND optic</i>	0 documentos de patentes	29/06/2023
Combinação 7	<i>precision agriculture AND optic</i>	1 documento de patente	29/06/2023

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2023)

Essa escassez de patentes na interseção entre agricultura de precisão, telemetria e tecnologias avançadas aponta para oportunidades significativas para startups, pesquisadores e empresas que buscam explorar novas aplicações. A convergência dessas áreas pode ser crucial para o futuro da automação agrícola, promovendo ganhos de eficiência, sustentabilidade e produtividade no setor.

O Gráfico 1 apresenta a pesquisa sobre patentes na agricultura de precisão, organizadas por país depositante, destacando os 10 países com o maior número de registros. A análise revela as nações líderes em inovação tecnológica no setor, oferecendo uma visão global sobre a distribuição do conhecimento e as tendências emergentes, fundamentais para identificar centros de excelência e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Ao analisar o top 5 do Gráfico 1, observa-se a liderança da China com 141 patentes, sendo 90 concedidas e 51 pendentes. Em segundo lugar, a Índia possui 115 patentes, com nove concedidas e 106 pendentes. Os Estados Unidos ficam em terceiro com 66 patentes, das quais 52 são concedidas e 14 pendentes. A Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO) ocupa o quarto lugar com 26 patentes, sendo 16 concedidas e 10 pendentes. O Brasil aparece em quinto, com 18 patentes ativas, das quais 8 foram concedidas e 10 estão pendentes (OMPI, 2023).

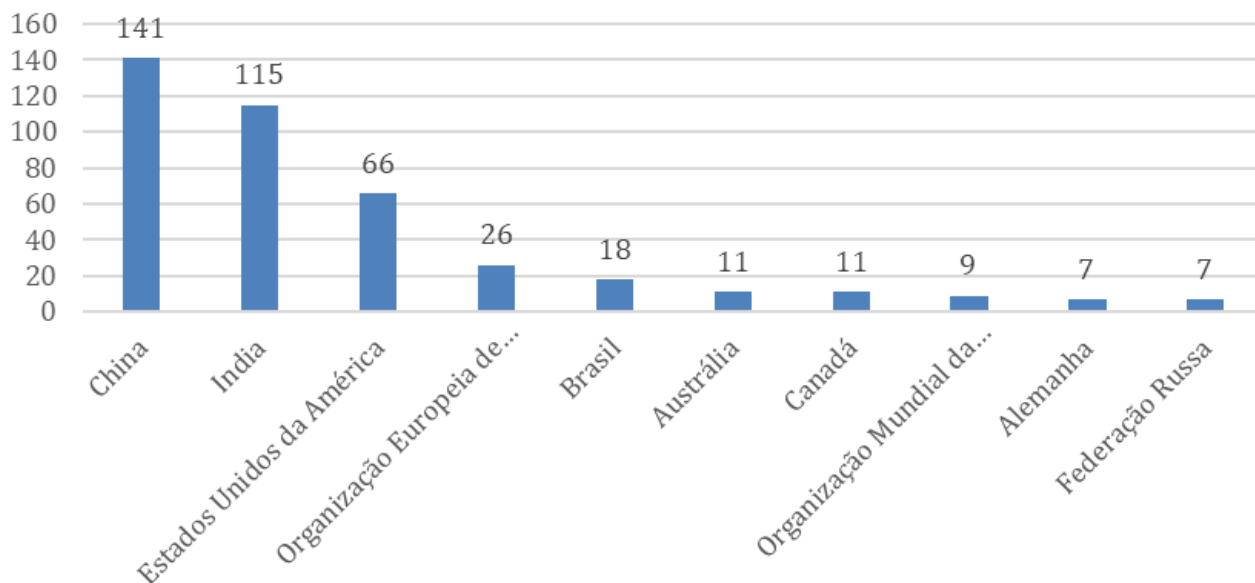
A análise das patentes relacionadas à agricultura de precisão revela a posição significativa da China nesse campo. De acordo com um relatório da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), a China lidera os depósitos de patentes internacionais na área de dispositivos autônomos para agricultura de precisão, com 1.379 famílias de patentes internacionais. Esse número é inferior apenas aos depósitos realizados nos Estados Unidos (1.923), OMPI (1.789) e Europa (1.768) (WIPO, 2023).

Além disso, um estudo publicado na revista *Cadernos de Prospecção* indica que a China é o país com a maior quantidade de proteções patentárias no tema “Máquinas conectadas a Máquinas (M2M)”, um componente essencial da Agricultura 4.0 (Santos *et al.*, 2021).

Esses dados destacam o papel proeminente da China no desenvolvimento e proteção de inovações voltadas para a agricultura de precisão, refletindo seu compromisso com a modernização e a sustentabilidade no setor agrícola.

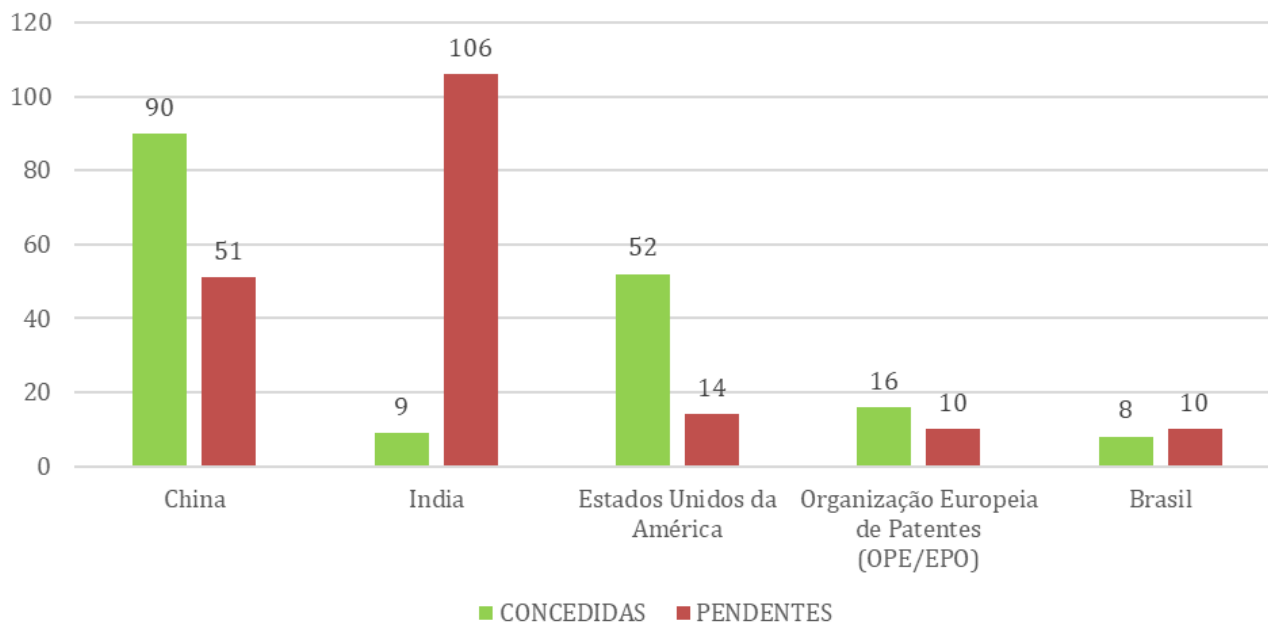
O Gráfico 2 apresenta uma análise comparativa entre o número de patentes concedidas e pendentes nos cinco países líderes em patentes. A visualização revela a dinâmica de inovação em cada nação, destacando os países com maior volume de patentes aprovadas e os que ainda aguardam aprovação, refletindo o ritmo de inovação, competitividade e o impacto dos sistemas de patentes no fomento à pesquisa e ao desenvolvimento.

**Gráfico 1** – Quantidade de patentes por país quando consideradas as palavras-chave “precision agriculture”



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2023)

**Gráfico 2** – Comparativo em relação ao número de patentes concedidas e pendentes de cada país



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2023)

A Índia ocupa a segunda posição no ranking de patentes de agricultura de precisão, mas com um número baixo de patentes concedidas (apenas 9). Em contrapartida, possui 106 patentes pendentes, indicando desafios no processo de concessão, como burocracia, morosidade e regulamentações complexas. Esse cenário reflete um sistema de patentes com acúmulo de pedidos, possivelmente devido à falta de recursos e às dificuldades nas análises técnicas especializadas.

Apesar das dificuldades, o elevado número de patentes pendentes pode sinalizar um ambiente inovador, com pesquisadores e empresas buscando proteger suas inovações. Porém, a ineficiência no sistema pode desmotivar investimentos e prejudicar a competitividade do país, especialmente em um mercado globalizado.

A alta quantidade de patentes pendentes também sugere que a Índia está em processo de adaptação e modernização de seu sistema de patentes, a fim de lidar com a crescente demanda. Para que o país se torne competitivo no cenário global de inovação agrícola, é essencial melhorar a agilidade no processo de concessão e capacitar os examinadores para lidar com as tecnologias emergentes. Assim, a Índia poderá acelerar sua inovação na agricultura de precisão e fortalecer sua posição no mercado global.

Em relação ao Brasil, o agronegócio tem uma grande importância para a sua economia, já que contribui bastante para o PIB, as exportações e a geração de empregos. No entanto, o número de patentes no setor agrícola ainda é muito baixo. Esse cenário é paradoxal, considerando que o Brasil figura entre os maiores produtores mundiais de alimentos, fibras e biocombustíveis, mas ainda não tem uma cultura forte de proteção de ideias no campo (Revista Cultivar, 2016).

Essa situação acontece por vários motivos. O processo de patenteamento é visto como burocrático, caro e demorado, o que desmotiva muitos produtores, especialmente os pequenos, a protegerem suas inovações. Além disso, eles enfrentam dificuldades financeiras, falta de conhecimento técnico e pouca informação sobre o sistema de propriedade intelectual. Isso torna o processo de registro de patentes ainda mais complicado (Revista Cultivar, 2016).

Outro problema é a falta de integração entre universidades, centros de pesquisa, empresas e o setor produtivo. Isso dificulta a criação de um ambiente de inovação e a transferência de novas tecnologias do meio acadêmico para o campo. A falta de apoio do governo e o baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento por parte das empresas também contribuem para essa situação (Castro e Silva *et al.*, 2005).

Por causa disso, o número de patentes registradas por instituições brasileiras é baixo, enquanto empresas de outros países dominam esse mercado. Isso aumenta a dependência do Brasil em relação a tecnologias externas, o que prejudica a competitividade e a autonomia do setor. Pesquisas do INPI e do Grupo de Estudos em Tecnologia e Biotecnologia (GTEB) indicam que é urgente adotar políticas públicas que incentivem a inovação no meio rural e melhorem o acesso ao sistema de proteção intelectual (INPI; GTEB, 2007).

Por fim, muitos produtores rurais conseguem transformar suas ideias em soluções práticas para o campo. No entanto, para que uma invenção seja patenteada, ela precisa ser nova, ter aplicabilidade industrial e apresentar atividade inventiva, segundo a Lei de Propriedade Industrial (Lei n. 9.279/1996). Ideias ou métodos que não podem ser industrializados não são passíveis de patenteamento. Algumas criações podem ser protegidas por direitos autorais, mas o INPI não cuida disso. Por isso, é importante que os produtores entendam como proteger suas inovações para evitar que sejam copiadas ou patenteadas por outras pessoas (Revista Cultivar, 2016).

O Gráfico 3 mostra a distribuição de patentes por ano de primeira prioridade, destacando a evolução temporal das inovações tecnológicas. Ele permite analisar as tendências e o ritmo das inovações, identificando picos de atividade patenteadora e refletindo os avanços em áreas específicas de tecnologia ao longo do tempo.

O gráfico evidencia picos de atividade patenteadora, que podem corresponder a avanços significativos em áreas tecnológicas, como inovações disruptivas ou melhorias em tecnologias existentes. Aumento abrupto em um ano pode sinalizar uma revolução tecnológica ou novas demandas do mercado, enquanto uma queda pode indicar maturação tecnológica ou desaceleração devido a fatores externos, como crises econômicas ou mudanças regulatórias.

A distribuição temporal das patentes também reflete a evolução das áreas tecnológicas ao longo do tempo. Crescimentos em campos como biotecnologia ou inteligência artificial podem ser indicadores de tendências globais e influências econômicas e sociais. A diminuição de patentes em uma área específica pode sugerir saturação ou inovações mais incrementais.

Mudanças no sistema de patentes, como processos mais rápidos ou alterações nas leis de propriedade intelectual, também podem afetar diretamente o número de patentes registradas, influenciando o ritmo de inovação. Fatores econômicos ou geopolíticos, como crises ou políticas de incentivo à inovação, podem impulsionar ou limitar a atividade patenteadora.

O gráfico ainda pode identificar tendências emergentes, como o aumento de patentes em áreas como inteligência

artificial e automação, que têm potencial para remodelar setores inteiros da economia. Contudo, é importante considerar que o número de patentes pode não refletir a inovação real, pois estratégias de patentes de empresas e universidades podem influenciar os números, além de concentrar-se em grandes empresas ou países dominantes.

Em resumo, o gráfico oferece uma visão detalhada das flutuações nas inovações tecnológicas ao longo do tempo, mas deve ser analisado com cautela, considerando o impacto real das inovações e a qualidade das patentes.

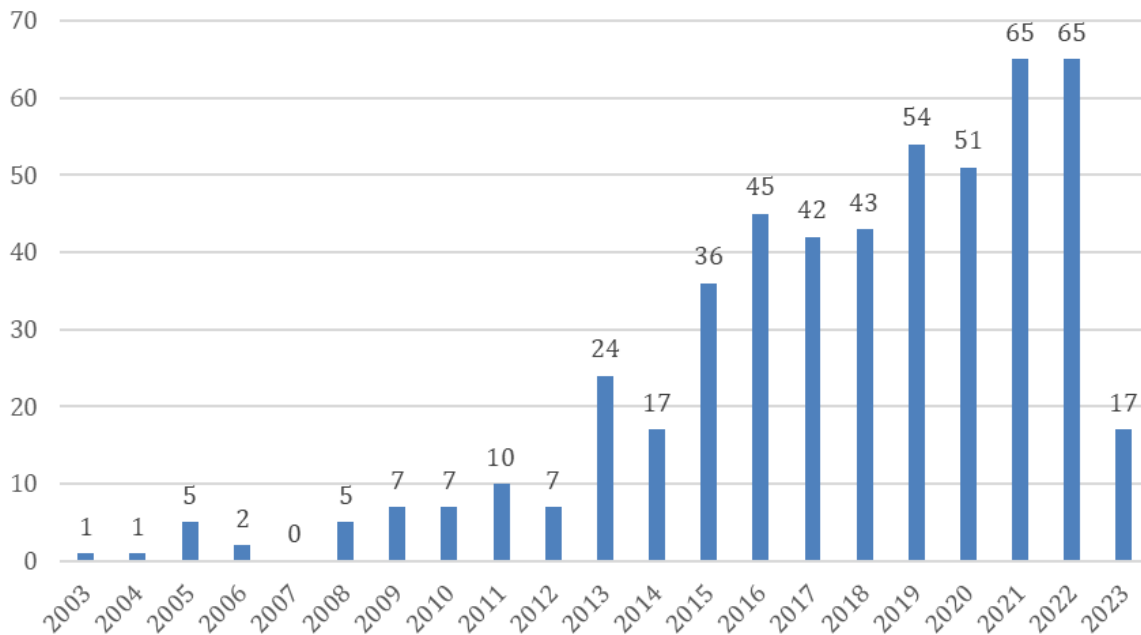
O Gráfico 4 apresenta os dados quantitativos das tecnologias aplicadas nas patentes, utilizando uma escala de cores para indicar o volume de registros por área tecnológica. Áreas com cores mais vermelhas representam maior número de patentes, refletindo maior atividade inovadora. Já as áreas em tons de cinza indicam menor quantidade de patentes, sugerindo menor exploração ou participação tecnológica. Esse gráfico facilita a análise das tendências e concentrações de inovações nas diferentes áreas.

As áreas com maior concentração de patentes, representadas pelas cores mais intensas, indicam um ambiente inovador e competitivo, com tecnologias emergentes de alto potencial, como inteligência artificial e biotecnologia. O volume de patentes nessas áreas também sugere um alto grau de proteção intelectual, crucial para garantir exclusividade e competitividade no mercado global. No entanto, um número elevado de patentes pode não representar inovação disruptiva, podendo refletir uma saturação tecnológica ou uma estratégia de “patentear para proteger”, mais do que avanços revolucionários.

Já as áreas com menor volume de patentes, indicadas pelos tons de cinza, podem sugerir campos com pouca exploração ou em estágios iniciais de pesquisa e desenvolvimento, representando uma oportunidade para novas soluções. No entanto, a falta de patentes também pode ser causada por barreiras regulatórias ou pela natureza das tecnologias, que podem não ser patenteáveis, como *softwares* ou modelos de negócios inovadores. Portanto, a ausência de patentes não deve ser vista como falta de inovação, mas como uma característica específica do setor.

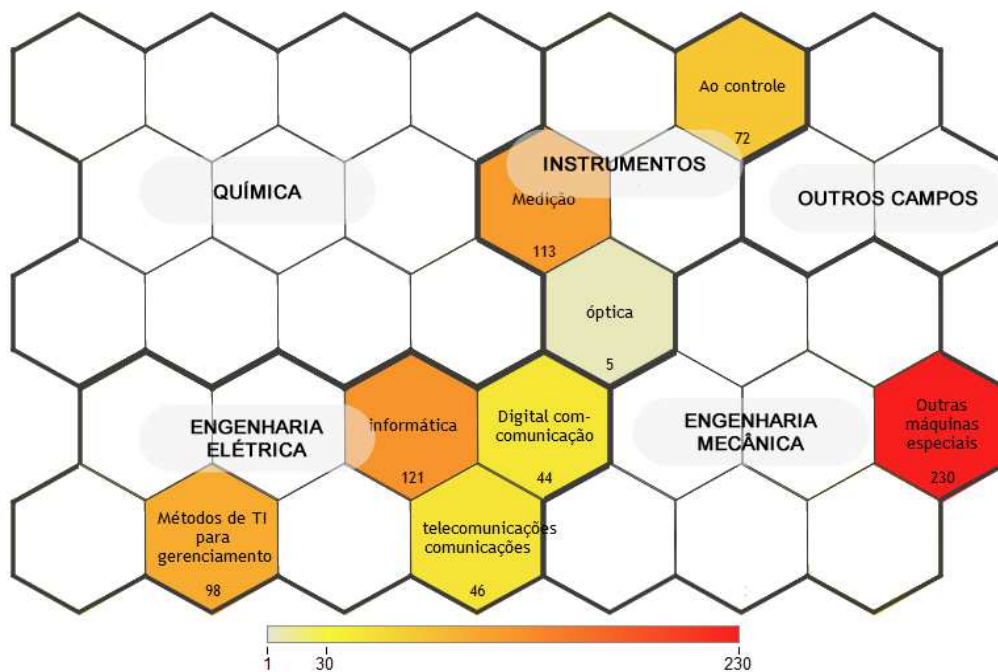
Além disso, o gráfico pode revelar padrões geopolíticos e econômicos, refletindo os investimentos prioritários ou as áreas de maior expertise e infraestrutura em determinadas regiões. Isso pode ajudar na formulação de políticas públicas para incentivar ou redirecionar esforços de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). A análise também pode destacar tendências emergentes, como a crescente demanda por tecnologias que otimizam recursos naturais, como na agricultura de precisão, e pode orientar decisões estratégicas para empresas e governos.

**Gráfico 3** – Distribuição de Patentes por ano de primeira prioridade



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2023)

**Gráfico 4** – Distribuição das tecnologias entre patentes encontradas por área



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2023)

No entanto, o gráfico deve ser analisado dentro de um contexto mais amplo, considerando variáveis como o mercado, a presença de grandes atores industriais e os ciclos econômicos, que podem influenciar o número de patentes. Em suma, o Gráfico 4 fornece dados relevantes sobre as concentrações de inovações, mas deve ser interpretado criticamente, levando em conta fatores econômicos, políticos e sociais que moldam a dinâmica da inovação tecnológica.

Agora, em relação a **Patentes de Óptica na AP**, vamos analisar como as tecnologias ópticas, ainda pouco exploradas, podem oferecer soluções inovadoras para o setor agrícola. Abordaremos o potencial dessas tecnologias para aprimorar o monitoramento e a gestão de recursos, impulsionando a eficiência e a sustentabilidade na agricultura de precisão.

Um exemplo é a patente IN201811043318, registrada na Índia em 2018, que descreve uma plataforma de sensores sem fio para aplicações agrícolas baseadas em *IoT*. Outra patente relevante é a US10567678, concedida nos EUA em 2020, que se refere a uma câmera multiespectral com uma matriz de filtros substituíveis.

A integração da Internet das Coisas (*IoT*), Big Data (grandes bases de dados agrícolas) e aprendizado de máquina está impulsionando a transformação digital no setor agrícola, permitindo a coleta em tempo real de dados, o armazenamento e análise de grandes volumes de informações, e a aplicação de modelos preditivos para otimizar a gestão agrícola (Khanna; Kaur, 2019). Essa convergência tecnológica contribui para uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos, reduzindo desperdícios (Wolfert *et al.*, 2017).

Além disso, há patentes internacionais, como a WO2017/099570, que descreve um sistema e método para agricultura de precisão utilizando análise de imagens multiespectrais e hiperespectrais por meio de drones, publicada em 2017. Também foi registrada a WO2017/099568, um método para planejamento de sobrevoos de polígonos irregulares com dois ou mais drones para análise de imagens multiespectrais e hiperespectrais, também publicada em 2017.

Outra patente, IN201721005046, registrada na Índia em 2017, descreve o uso de um dirigível para agricultura de precisão e monitoramento de áreas específicas. Essas patentes refletem o avanço das tecnologias aplicadas à agricultura de precisão, com foco em sensores e imagens aéreas para otimizar a produção agrícola. Estudos indicam que a combinação de *IoT* e aprendizado de máquina pode reduzir os custos operacionais em até 25% e aumentar a eficiência produtiva em 15% (Jha *et al.*, 2019).

A análise das patentes indica uma lacuna significativa no uso de agricultura de precisão e sensores de fibra óptica,

com nenhuma patente registrada nessas áreas. Isso sugere uma subexploração de tecnologias que poderiam otimizar a produção e reduzir impactos ambientais. A ausência de patentes reflete os desafios para implementação em larga escala, destacando a necessidade de incentivar pesquisas sobre essas inovações no setor agrícola brasileiro. Esforços colaborativos entre pesquisadores, empresas e governos são essenciais para avançar essas tecnologias e promover sustentabilidade no campo.

## 4 Considerações Finais

A pesquisa revela uma grande quantidade de publicações acadêmicas e patentes, embora a produção patenteada, especialmente em áreas como telemetria e sensores avançados, ainda seja limitada. A Agricultura de Precisão (AP), que utiliza tecnologias como sensores e georreferenciamento, mostra grande potencial para otimizar recursos e aumentar a sustentabilidade agrícola. Tecnologias como telemetria e sensores de fibra óptica têm melhorado a eficiência do manejo agrícola e reduzido impactos ambientais.

A análise de patentes mostra que, embora a produção acadêmica sobre AP seja ampla, a inovação tecnológica está em desenvolvimento, com poucas contribuições em patentes. A China lidera na proteção de inovações tecnológicas, seguida pelos Estados Unidos, Índia e Brasil, que, embora em posição inferior, tem potencial de crescimento na inovação em AP. A pesquisa destaca a necessidade de mais esforços para explorar as possibilidades tecnológicas na área, visando maximizar a sustentabilidade e a produtividade agrícola.

## 5 Perspectivas Futuras

A pesquisa sobre inovações na Agricultura de Precisão (AP) revela um campo em crescimento, focado na otimização da produção e sustentabilidade agrícola. A pesquisa inicial gerou 18.437 documentos e foi refinada pela exclusão de termos como “veículos autônomos” e a inclusão de “telemetria” e “instrumentação óptica”, mostrando que, apesar de amplamente explorada, a AP tem poucas inovações em tecnologias avançadas de monitoramento. A AP combina técnicas tradicionais e inovações, como sensores e georreferenciamento, para otimizar a produção e reduzir impactos ambientais, com a telemetria desempenhando papel crucial no monitoramento em tempo real.

Em relação às patentes, a China lidera os registros, seguida por Índia e Estados Unidos, refletindo o forte investimento em inovação. Embora a pesquisa acadêmica seja vasta, as patentes ainda se concentram em áreas gerais,

com lacunas em tecnologias especializadas, como sensores avançados e instrumentação óptica.

De acordo com os autores, a AP tende a se expandir nos próximos anos, com ênfase na integração de tecnologias de monitoramento em tempo real e na inovação em sensores para melhorar a eficiência e sustentabilidade agrícola. Eles destacam que o avanço de sensores mais precisos, combinados com sistemas de telemetria e instrumentação óptica, será crucial para enfrentar os desafios da produção agrícola, oferecendo uma visão de futuro em que a AP pode ser uma solução robusta para promover práticas agrícolas mais eficientes e menos impactantes ao meio ambiente.

## Referências

- AGRISHOW DIGITAL. **Sensores na agricultura de precisão**: maior eficiência e elevando a conexão no campo. [2025]. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/agriculturapecuaria-de-precisao/sensores-na-agricultura-de-precisao-maior-eficiencia-e-elevando>. Acesso em: 23 mar. 2025.
- AZEVEDO, P. R. L. *et al.* Efeito dos sais e da qualidade da água no solo e na planta. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.35512/ras.v1i1.1640>.
- BONILLA, O. H. *et al.* Comunidade Halofítica Herbáceo-arbustiva em Perímetro Irrigado do Município de Pentecoste–CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 5, p. 1934-1951, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbfgf.v12i5.p1934-1951>
- BREVIK, E. C. *et al.* The interdisciplinary nature of soil. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 117-129, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-1-117-2015>.
- CASTRO E SILVA, A. M. G. *et al.* **O futuro do melhoramento genético vegetal no Brasil**: impactos da biotecnologia e das leis de proteção do conhecimento. Brasília, DF: Embrapa, 2005. (Documento versão preliminar).
- CORWIN, D. L.; Lesch, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 455-471, 2003.
- DALIAKOPOULOS, I. N. *et al.* The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 727-739, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>.
- DIAS, N. S. *et al.* Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 755-761, 2010.
- INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL; GTEB – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA E BIOTECNOLOGIA. **Estudo comparativo dos critérios de patenteabilidade para invenções biotecnológicas em diferentes países**. Rio de Janeiro: INPI/GTEB, 2007. Disponível em: [www.inpi.gov.br/.../Estudo%20Comparativo%20dos%20Criteriosde%20Patenteabilidade](http://www.inpi.gov.br/.../Estudo%20Comparativo%20dos%20Criteriosde%20Patenteabilidade). Acesso em: 22 abr. 2025.
- JHA, K. *et al.* A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 2, p. 1-12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>.
- KHANNA, A.; KAUR, S. Evolution of internet of things (IoT) and its significant impact in the field of precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 157, 2019.
- LEITE, João Lucas *et al.* **Uso de técnicas geoestatísticas na avaliação do arranjo espacial de plantas em lavouras de milho**. [S.l.: s.n.], 2021.
- LI, H. *et al.* Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and technologies based on internet of things. **Elsevier**, p. 1-14, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169921005755>. Acesso em: 23 mar. 2025.
- LITALIEN, A.; ZEEB, B. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation. **Science of the Total Environment**, v. 698, p. 1-15, January, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134235>.
- MANTOVANI, E. C.; QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da. (coord.). **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 109-157.
- MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. D. F. e. Eficiência do uso de água e de fertilizantes no manejo de fertirrigação no cultivo do tomateiro sob condições de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 344-351, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i2a1563>.
- OMPI – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA PROPRIEDADE INTELECTUAL. **Indicadores Mundiais de Propriedade Intelectual 2023**. Genebra: OMPI, 2023. Disponível em: [https://www.wipo.int/pressroom/pt/articles/2023/article\\_0013.html](https://www.wipo.int/pressroom/pt/articles/2023/article_0013.html). Acesso em: 24 mar. 2025.
- ORBIT INTELLIGENCE. [Ferramenta de busca de bases de dados-Internet]. ©Questel, 2023. Disponível em: [www.orbit.com](http://www.orbit.com). Acesso em: 25 jun. 2023.
- RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 5, p. 1017-1023, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erj108>.

REVISTA CULTIVAR. **Patentes e sua relação com o agronegócio familiar**. 2016. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/index.php/artigos/patentes-e-sua-relacao-com-o-agronegocio-familiar>. Acesso em: 22 abr. 2025.

RIBEIRO, M. R. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (ed.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p. 11-19.

SANTOS, C. A. S. A. dos *et al.* Mapeamento Patentário do Tema Máquinas Conectadas a Máquinas (M2M) e os Desafios Brasileiros da Agricultura 4.0. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 14, n. 1, p. 153-168, 2021.

SILVEIRA, A. de O. **Avaliação de metodologias para o monitoramento da qualidade do solo**. 2011. 87f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/61140#:~:text=Resumo%20O%20uso%20de%20indicadores%20bio%C3%B3gicos%20para%20avaliar,da%20qualidade%20do%20solo%20atrav%C3%A9s%20de%20indicadores%20bio%C3%B3gicos>. Acesso em: 23 mar. 2025.

VIDAL, Leonice Raquel *et al.* **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em áreas do cultivo do fumo na agricultura familiar**. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4839>. Acesso em 11 de janeiro de 2024.

WIPO – WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. **World intellectual property indicators 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4654>. Acesso em: 25 mar. 2025.

WOLFERT, S. *et al.* **Big data in smart farming – a review**. *Agricultural Systems*, v. 153, p. 69-80, 2017.

ZHAO, Z. *et al.* Genome-wide expression analysis of salt-stressed diploid and autotetraploid *Paulownia tomentosa*. **PLoS ONE**, v. 12, n. 10, p. 1-23, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185455>. Acesso em: 25 mar. 2025.

## Sobre os Autores

---

### Atanaildo de Melo Campos

*E-mail:* [atanaildocampos@gmail.com](mailto:atanaildocampos@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2209-7304>

Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação pela Universidade Federal do Vale do São Francisco em 2025.

Endereço profissional: Rua Zinzim Amorim, n. 71, São Gonçalo, Petrolina, PE. CEP: 56312-230.

---

### Isnaldo José de Souza Coêlho

*E-mail:* [isnaldo.coelho@univasf.edu.br](mailto:isnaldo.coelho@univasf.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0384-7210>

Doutor em Engenharia Elétrica/Eletrônica pela Universidade Federal de Pernambuco em 2005.

Endereço profissional: Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado Acadêmico de Engenharia Elétrica, Av. Antônio Carlos Magalhães, n. 510, Lacame, IPCM, Country Club, Juazeiro, BA. CEP: 48902-300.

---

### Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

*E-mail:* [miriam.cleide@univasf.edu.br](mailto:miriam.cleide@univasf.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0887-7790>

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco em 2015.

Endereço profissional: Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental, Av. Antônio Carlos Magalhães, n. 510, Laboratório de Engenharia Ambiental, 1º andar do bloco de sala de aulas, Santo Antônio, Juazeiro, BA. CEP: 48902-300.