

## **Exploração da adoção de Agricultura de Precisão no contexto da Agricultura 4.0: proposta de um modelo conceitual**

**SERGIO MONTELEONE**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI-SP

**EDMILSON ALVES DE MORAES**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI-SP

**ROBERTO MAX PROTEL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV)

**RODRIGO FILEV MAIA**

DEAKIN UNIVERSITY

Agradecimento à órgão de fomento:

Esta pesquisa foi financiada conjuntamente pela Comissão Europeia na Europa e pelo MCTIC / RNP no Brasil, sob a chamada EUB-02-2017 IoT Pilots.

# EXPLORAÇÃO DA ADOÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO CONTEXTO DA AGRICULTURA 4.0: PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura está mudando nos últimos anos e, como a indústria, é forçada a modernizar suas metodologias de trabalho, aproveitando os benefícios oferecidos pela Internet das Coisas (IoT) (GUILLÉN-NAVARRO; PEREÑÍGUEZ-GARCÍA; MARTÍNEZ-ESPAÑA, 2017). Apesar desse progresso, não se pode afirmar que a Agricultura de Precisão (AP) esteja consolidada (WELTZIEN, 2016). Há uma percepção de que a adoção da AP esteja ocorrendo a um ritmo menor do que o esperado (LOWENBERG-DEBOER; ERICKSON, 2019). Uma confirmação dessa percepção pode ser encontrada na abundante literatura que aborda a questão dos fatores que afetam a adoção da AP, como os recentes estudos de Barnes et al. (2019); Lowenberg-Deboer e Erickson (2019); Pathak; Brown, Best (2019); Groher et al. (2020).

O conceito de agricultura 4.0 surgiu no início do século XXI como uma evolução do conceito de AP e através da difusão da IoT (PIVOTO, 2018). Poucas pesquisas foram realizadas sobre a agricultura 4.0, sendo em sua maioria de cunho teórico e limitadas a algumas empresas pioneiras (ZAMBON et al., 2019). Isso significa que é necessária uma análise mais aprofundada para entender o que é a Agricultura 4.0 (SPONCHIONI et al., 2019). Vários estudos destacam o seu potencial, como melhorias no planejamento e controle (BRAUN; COLANGELO; STECKEL, 2018), uso inteligente de dados coletados por meio de tecnologias embarcadas em tratores, robôs terrestres móveis, veículos aéreos não tripulados e satélite (MANCINI; FRONTONI; ZINGARETTI, 2019). Outros destacam os desafios a serem resolvidos, sendo a manipulação e processamento de dados um dos pontos principais, dado sua natureza complexa tanto para gerenciar em tamanho quanto na análise a ser realizada (MANCINI; FRONTONI; ZINGARETTI, 2019). Embora poucos mencionem, há ainda os fatores relacionados ao gerenciamento de operações, como a mobilidade das instalações de produção e a cobertura do campo agrícola (GUILLÉN-NAVARRO et al., 2017; BRAUN; COLANGELO; STECKEL, 2018). Dentre estas pesquisas, algumas sugerem áreas potenciais de investigação para o estudo da AP na era 4.0. Pivoto (2018), para ampliar o entendimento dos fatores determinantes na adoção, recomenda estudar o comportamento do agricultor, campo que tem como referência a Teoria do Comportamento Planejado (TPB) (AJZEN, 1991). A TPB foi aplicado na agricultura por alguns pesquisadores como Burton (2004), mas ainda não no contexto da agricultura 4.0. Destaca-se, também, o trabalho de Jørgensen (2018) que procura verificar se a inspiração para o conceito da indústria 4.0 pode facilitar o estabelecimento de soluções operacionais, a fim de explicar o potencial ainda inexplorado da AP para as operações agrícolas. Verifica-se, entretanto, que ainda é dada pouca atenção a fatores relacionados à agricultura 4.0, ao comportamento do agricultor e à gestão de operações, bem como à aplicação de métodos de pesquisa qualitativos.

Diante desse cenário, esta pesquisa busca contribuir para preencher algumas lacunas da literatura respondendo à seguinte pergunta de pesquisa: “o que direciona a adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0, com foco no comportamento do agricultor e na gestão de operações?”. Para se obter tal resposta define-se os seguintes objetivos de pesquisa: i) explorar os fatores que afetam a adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0; ii) propor um modelo conceitual para apoiar o desenvolvimento de teoria sobre a adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

Considerando a incipiente base teórica sobre a agricultura 4.0, esta pesquisa adota uma abordagem exploratória multi-métodos. Entrevistas semi-estruturadas com especialistas (FLICK, 2009) e estudos de caso (EISENHARDT, 1989) foram realizadas para desenvolver um modelo conceitual baseado na TPB.

Esta pesquisa está sendo conduzida no âmbito do Projeto Água (termo usado para não fornecer indicação de autoria), que tem por objetivo implantar o conceito de IoT na irrigação de precisão. Este projeto está sendo realizado em algumas empresas agrícolas piloto no Brasil e no exterior, com diferentes modelos de negócios, tipos de cultivos e técnicas de irrigação. Neste trabalho em específico será abordada a cultura de açaí, cujo cultivo vem se expandindo em áreas agricultáveis em substituição à indústria extrativista (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2019).

Esse artigo é organizado da seguinte forma. Na seção 2, a fundamentação teórica é apresentada. A seção 3 descreve a metodologia. A seção 4 apresenta os resultados da pesquisa empírica. Na seção 5 os resultados são discutidos e o modelo conceitual proposto é ilustrado. A última seção ilustra a conclusão e contribuição do trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO E FATORES QUE AFETAM A SUA ADOÇÃO

Na literatura é possível encontrar mais que vinte definições de agricultura de precisão. Essa falta de uma definição clara e compartilhada dificulta o estudo da sua adoção (LOWENBERG-DEBOER; ERICKSON, 2019). Além disso, os fatores que influenciam as taxas de adoção dependem do tipo de tecnologias (GROHER et al., 2020), que são inúmeras, como monitoramento e mapeamento de rendimento da produção, tecnologia à taxa variável, amostragem e monitoração do solo, sensoriamento remoto, dentre outras (LOWENBERG-DEBOER; ERICKSON, 2019). Contudo, a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (International Society for Precision Agriculture - ISPA) recentemente reconheceu a seguinte definição como a oficial: “*A agricultura de precisão é uma estratégia de gerenciamento que reúne, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gerenciamento de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agrícola*” (ISPA, 2020).

A abundante literatura que aborda o estudo dos fatores que afetam a adoção da AP concentra-se na análise das características do agricultor e da empresa agrícola, dos fatores econômicos e características das tecnologias de AP (TEY; BRINDAL, 2012; PIERPAOLI et al., 2013; PATHAK; BROWN; BEST, 2019). Ainda há pouco estudo sobre os fatores relativos à gestão de operações agrícolas e praticamente ausentes os fatores relacionados com a agricultura 4.0, bem como a aplicação da TPB. A maioria dos trabalhos aplica o método de pesquisa survey, como Barnes et al. (2019); Pathak; Brown, Best (2019). Os métodos de pesquisa qualitativos são aplicados por poucos pesquisadores para estudar a adoção de AP, como destacado por Barnes et al. (2019).

### 2.2 AGRICULTURA 4.0 E FATORES RELACIONADOS COM A INDÚSTRIA 4.0 E A GESTÃO DE OPERAÇÕES

Atualmente, a agricultura 4.0 é um termo vago e sem definição única. Recentemente, Sponchioni et al. (2019) propõem uma definição holística, com base em uma revisão sistemática da literatura, adotando uma abordagem de múltiplas perspectivas e cobrindo toda a cadeia de valor agrícola e alimentar. De acordo com o escopo do Projeto Água, focado em levar o conceito de IoT para irrigação de precisão em pilotos de empresas agrícolas, e com a definição de AP da ISPA (2020), neste trabalho a definição de Sponchioni et al. (2019) é usada, mas limitada a uma empresa agrícola: “*A agricultura 4.0 é a evolução da agricultura de precisão, realizada através da coleta, integração e análise automatizadas de silos de dados previamente separados*”

*provenientes do campo, sensores de equipamentos e outras fontes de terceiros, proporcionada pelo uso de tecnologias inteligentes e digitais da Indústria 4.0, possibilitando a geração de conhecimento, para apoiar o agricultor no processo de tomada de decisão na empresa agrícola”.*

A pesquisa sobre a agricultura 4.0 concentra-se principalmente em automação e robótica (CLASEN, 2016), alimentos e sustentabilidade (ROSE; CHILVERS, 2018; KLERKX; ROSE, 2020). No entanto, nessa literatura pouca atenção tem sido dada aos estudos inspirados no conceito da indústria 4.0 e sobre a gestão de operações.

### 2.2.1 Fatores relacionados com a indústria 4.0

A indústria 4.0 identifica alguns conceitos que podem ser introduzidos na agricultura, como melhorias no planejamento e controle (BRAUN; COLANGELO; STECKEL, 2018). Porém, a onda da indústria 4.0 também oferece novos desafios que a agricultura tradicional precisa superar (SPANAKI et al., 2019). Quando comparadas à produção industrial, as operações agrícolas interagem com um sistema biologicamente ativo. A produção industrial ocorre em ambientes bem definidos, nos quais os dados de desempenho podem ser medidos por quantidades determinísticas. Nas operações agrícolas existem muitos ajustes possíveis (JØRGENSEN, 2018). O processo de produção na agricultura é diferente do industrial em vários aspectos: papel preponderante do meio ambiente e incerteza e risco inerentes (por exemplo, crescimento de culturas, condições climáticas); variáveis de domínio com grandes variações; complexidade na avaliação de decisões de risco (BOCHTIS; SORENSEN; KATERIS, 2018). O planejamento e o controle são mais difíceis do que nos ambientes industriais pelo alto grau de mobilidade das instalações de produção. Até a disponibilidade e a largura de banda das conexões sem fio estão sujeitas a influências meteorológicas, dificultando a comunicação constante (BRAUN; COLANGELO; STECKEL, 2018). Além disso, a tecnologia de comunicação sem fio deve fornecer coberturas que variam de dezenas de metros a quilômetros, uma vez que os sensores podem ser implantados em locais remotos (GUILLÉN-NAVARRO et al., 2017).

Os desafios analisados nesta seção são considerados na investigação empírica como fatores que podem afetar a adoção de AP no contexto da agricultura 4.0.

### 2.2.2 Fatores relacionados com a gestão de operações

O gerenciamento de operações na agricultura lida com o desenho, planejamento, programação e execução de operações humanas e de máquinas. Uma operação na agricultura é geralmente vista como o elo entre recursos, materiais processados e materiais produzidos. As operações agrícolas que podem ser consideradas são: plantio, semeadura, fertilização, tratamento de plantas, irrigação e colheita (BOCHTIS; SORENSEN; KATERIS, 2018; JØRGENSEN, 2018).

A visão sobre a gestão de operações na agricultura evolui a partir dos anos 1950 através de quatro fases: mecanização; organização do trabalho; tecnologias da informação e comunicação e automação; robótica. Nessa evolução, as noções de planejamento e programação tiveram um papel central, gerando a necessidade de ferramentas avançadas de gestão, de aquisição e análise de dados, para suportar a tomada de decisão (BOCHTIS; SORENSEN; KATERIS, 2018). A tomada de decisão depende de fatores não controláveis (como condições climáticas e características do solo) e de fatores modificáveis (como infra-estrutura de irrigação). Os fatores modificáveis abrangem uma ampla variedade de decisões, como: escolha de quais operações de campo executar, como e quando concluir as operações, quais máquinas usar (RECIO; RUBIO; CRIADO, 2003). Em relação à irrigação, duas decisões são prioritárias: definição da

quantidade de água a aplicar e tempo de irrigação. Essas definições têm um efeito direto na eficiência no uso da água e são afetadas por fatores como clima e estágio de crescimento da planta (KOECH; LANGAT, 2018).

Os fatores mencionados nesta seção são levados em consideração na investigação empírica como fatores que podem afetar a adoção pelo agricultor.

## 2.3 COMPORTAMENTO DO AGRICULTOR E FATORES QUE AFETAM A ADOÇÃO

Apesar de várias teorias terem sido desenvolvidas ao longo dos anos, três delas podem ser consideradas referência para o estudo da adoção de inovações: Teoria do Comportamento Planejado (*Theory of Planned Behavior* - TPB), Modelo de Aceitação de Tecnologia (*Technology Acceptance Model* - TAM) e Teoria Unificada da Aceitação e Uso da Tecnologia (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* - UTAUT) (BETTIGA; LAMBERTI, 2017). De acordo com a sugestão de Pivoto (2018) de estudar o comportamento do agricultor e pela atenção da TPB ao comportamento humano quando a pessoa tem controle parcial sobre o processo de tomada de decisão (BIANCHI; DE FIGUEIREDO, 2017), nesse trabalho é aplicada a Teoria do Comportamento Planejado. A TPB tem sido amplamente utilizada para estudar o comportamento em diferentes contextos, como a adoção de tecnologia na agricultura (LYNNE et al., 1995; PAPPÀ et al., 2018) e a adoção de medidas de economia de água para irrigação (PINO et al., 2017).

Na TPB as intenções para realizar comportamentos podem ser previstas com precisão de atitude (grau em que uma pessoa tem uma avaliação favorável ou desfavorável do comportamento), norma subjetiva (pressão social percebida para executar ou não executar o comportamento) e controle comportamental percebido (facilidade ou dificuldade de realizar o comportamento, que reflete a experiência passada, bem como impedimentos e obstáculos). Quanto mais favoráveis a atitude e a norma subjetiva, e quanto maior o controle comportamental percebido, mais forte deve ser a intenção de realizar o comportamento estudado (AJZEN, 1991). Para executar um determinado comportamento, a pessoa acredita que as vantagens (benefícios, resultados positivos esperados) superam as desvantagens (custos, resultados negativos previstos). Em outras palavras, a pessoa tem uma atitude positiva em relação ao desempenho do comportamento (FISHBEIN; AJZEN, 2011). Além disso, os recursos e oportunidades disponíveis para uma pessoa devem, até certo ponto, ditar a probabilidade de realização do comportamento. Quanto mais recursos e oportunidades os indivíduos acreditam possuir, e quanto menos obstáculos ou impedimentos anteciparem, maior será o controle percebido sobre o comportamento (AJZEN, 1991).

Nos estudos rurais, a atitude é um fator central em relação à compreensão dos processos de tomada de decisão dos agricultores (WILLOCK et al., 1999). Nesses estudos a adoção de inovações pode ser estabelecida com sucesso se os agricultores identificam benefícios claros (BUSSE et al., 2014). Outros fatores determinantes são variáveis demográficas, tamanho da empresa agrícola, conservatividade, acesso a dados e acesso ao mercado (FEDER; JUST; ZILBERMAN, 1985; BURTON, 2004; KOUNDOURI; NAUGES; TZOUVELEKAS, 2006; PINO et al., 2017; JØRGENSEN, 2018). Estudos que analisam os fatores relacionados à gestão de operações são raros, como o trabalho de Robertson et al. (2012), que consideram a incompatibilidade de equipamentos com as operações agrícolas existentes na investigação da adoção de aplicação de fertilizante à taxa variável.

Os fatores mencionados são levados em consideração na investigação empírica como fatores que podem afetar a adoção pesquisada.

## 3. METODOLOGIA

Considerando a incipiente base teórica sobre a agricultura 4.0, nesta pesquisa foi adotada uma abordagem exploratória multi-métodos. Foram aplicadas entrevistas semi-estruturadas com especialistas (FLICK, 2009) e estudos de caso em empresas agrícolas de açaí (EISENHARDT, 1989). As entrevistas e estudos de caso foram integrados à literatura relevante para desenvolver um modelo conceitual baseado na TPB (AJZEN, 1991). O objetivo deste trabalho consistiu em levantar dados e informações a partir de uma investigação empírica, que permitiu explorar e entender melhor o fenômeno emergente e contemporâneo da agricultura 4.0 em seus ambientes naturais bem como desenvolver teorias (EISENHARDT, 1989).

### 3.1 ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS

Devido à natureza interdisciplinar deste trabalho, especialistas foram selecionados para serem entrevistados, e o critério de escolha apresentou como base a especialidade do entrevistado em agronegócio, agricultura de precisão, irrigação e gestão de operações. A Tabela 1 resume o perfil dos nove especialistas entrevistados, cuja seleção foi baseada em amostragem intencional (FLICK 2009). Inicialmente, três especialistas foram selecionados e em seguida foi adotada a técnica de amostragem “bola de neve” para selecionar os outros especialistas (PATTON, 2020).

Tabela 1 - Perfil dos especialistas entrevistados

<b>Especialistas</b>	<b>Perfil</b>
Especialista A	Engenheiro agrônomo, pesquisador, mais de 20 anos de experiência em agronegócio.
Especialista B	Economista, pesquisador, mais de 20 anos de experiência em agronegócio.
Especialista C	Engenheiro agrônomo, pesquisador, mais de 20 anos de experiência em agronegócio.
Especialista D	Engenheiro de produção, pesquisador, 15 anos de experiência em gestão de operações.
Especialista E	Engenheiro mecânico, pesquisador, mais de 20 anos de experiência em gestão de operações.
Especialista F	Engenheiro agrônomo, pesquisador, 10 anos de experiência em agronegócio e gestão da cadeia de suprimentos.
Especialista G	Engenheiro agrônomo, pesquisador, 5 anos de experiência em agronegócio.
Especialista H	Engenheiro agrônomo, pesquisador, 10 anos de experiência em agricultura de precisão.
Especialista I	Engenheiro mecânico, pesquisador, mais de 20 anos de experiência em agricultura de precisão.

Fonte: Autores (2020)

Cinco entrevistas foram realizadas presencialmente, enquanto quatro foram realizadas remotamente. Uma entrevista piloto foi realizada para testar o questionário (FLYNN et al. 1990). Todas as entrevistas foram gravadas e transcritas. O questionário utilizado nas entrevistas semi-estruturadas, ilustrado na Tabela A1 no Apêndice A, foi baseado nos preceitos da TPB e focado na gestão de operações de irrigação (AJZEN, 1991; JUMMAN, 2016), incluindo perguntas sobre os desafios relacionados à indústria 4.0 (GUILLÉN-NAVARRO et al., 2017; BRAUN; COLANGELO; STECKEL, 2018; BOCHTIS; SORENSEN; KATERIS, 2018; JØRGENSEN, 2018). Para reduzir o viés de resposta, e considerando a natureza exploratória da pesquisa, a definição de agricultura 4.0 utilizada neste trabalho não foi fornecida aos entrevistados (PAULHUS, 1991; FLICK, 2009).

### 3.2 ESTUDOS DE CASO

Foram selecionadas duas empresas agrícolas de açaí localizadas no estado do Pará (Brasil), cujos proprietários tinham interesse em experimentar sistemas avançados de irrigação. Além de uma amostragem proposital, foi adotada uma amostragem por conveniência, devido a facilidade de acesso aos agricultores (FLICK 2009). O açaí foi escolhido por ser uma cultura

que necessita de muita água e cujo cultivo em áreas agricultáveis está se expandindo (HOMMA, 2009; CONAB, 2019). Além disso, o mercado do açaí encontra-se em franca expansão, com exportações para quase todos os continentes (CONAB, 2020).

O protocolo de pesquisa a ser utilizado no estudo de caso foi formulado com as perguntas a serem aplicadas nas entrevistas e os dados específicos a serem coletados (EISENHARDT, 1989; AJZEN, 1991; JUMMAN, 2016). As perguntas baseadas na TPB foram as mesmas do questionário usado para as entrevistas com especialistas. Em vez da palavra “agricultura 4.0”, foi feita referência a sensores e drones, por serem equipamentos que o agricultor pudesse identificar como representativos de tecnologias inovadoras para a irrigação, além de serem equipamentos incluídos no contexto da agricultura 4.0. A unidade de análise foi a empresa agrícola, de acordo com o objetivo do Projeto Água. A Tabela 2 ilustra os fatores considerados para realizar os estudos de caso.

Tabela 2 - Fatores considerados para realizar os estudos de caso

Fatores	Empresa agrícola A	Empresa agrícola B
Características da empresa agrícola	Tamanho de 225 hectares, 20 hectares para cultivo de açaí, galpão das máquinas agrícolas distante 700 metros dos campos de cultivo.	Tamanho de 100 hectares, 70 hectares para cultivo de açaí, galpão das máquinas localizado no meio da plantação.
Conexão internet	3G.	Não disponível, uso de rede de celular.
Acesso a água	Poço.	Nascentes.
Sistema de irrigação	Cultivo de açaí não irrigado, projeto em andamento.	Não uso de irrigação para açaí, região chuvosa, projeto em andamento.
Controle de irrigação	Visual.	Visual.
Planejamento de irrigação	120 litros por dia por planta, aplicada para todos os produtores, falta de estudo científico.	120 litros por dia por planta, aplicada para todos os produtores, falta de estudo científico.

Fonte: Autores (2020)

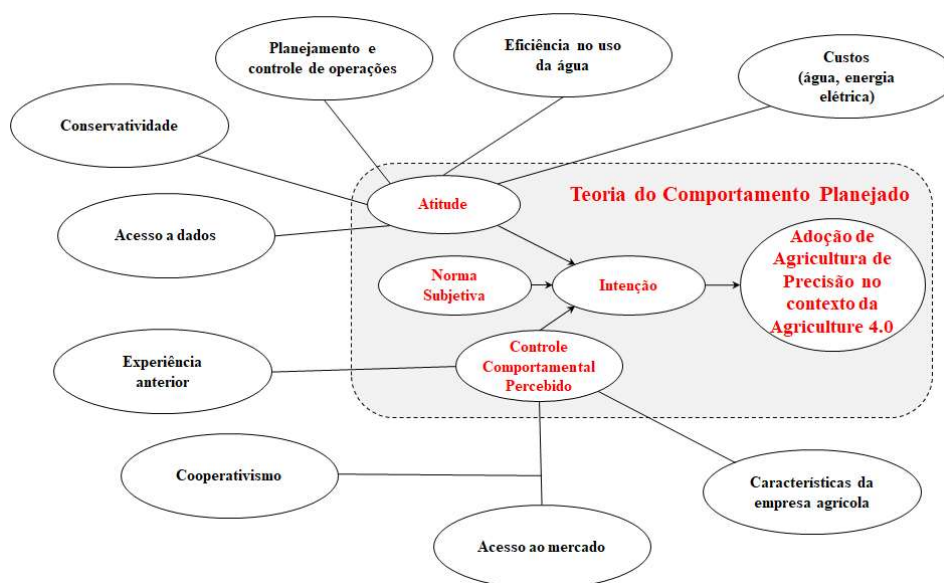
Cabe ressaltar que o proprietário da empresa agrícola A tinha conhecimento sobre o uso de sensores na irrigação e a possibilidade de controlar o consumo de água por meio destes, que, seriam portanto úteis para reduzir o consumo de energia, mas desconhecia a possibilidade de uso de drones. O agricultor da empresa agrícola B conhecia os sensores e drones para irrigação, mas não possui informações suficientes para avaliar o impacto da sua adoção.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS: PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL

Os resultados das entrevistas com especialistas e dos estudos de caso, combinados com os conceitos da teoria do comportamento planejado, agricultura 4.0, gestão de operações e irrigação, foram usados para identificar os fatores que podem afetar a adoção de AP no contexto da agricultura 4.0. Esses achados foram organizados para responder à pergunta de pesquisa e codificados com base nos construtos da TPB (atitude, norma subjetiva e controle comportamental percebido) e fatores resultantes da fundamentação teórica (EISENHARDT, 1989; AJZEN, 1991; MILES; HUBERMAN, 1994).

Como resultado, é proposto um modelo conceitual, ilustrado na Figura 1 com a descrição dos fatores analisados e suas interrelações. Os fatores antecedentes da atitude são: eficiência no uso da água, custos (água, energia elétrica), planejamento e controle de operações, acesso a dados e conservadorismo. Os fatores antecedentes do controle comportamental percebido são: acesso ao mercado, características da empresa agrícola e experiência anterior. O acesso ao mercado inclui mercado de tecnologias, de recursos financeiros e de educação. As características da empresa agrícola incluem conhecimento do agricultor e da força de trabalho, grau de mobilidades das máquinas e equipamentos, cobertura do campo agrícola.

Figura 1 - Modelo conceitual proposto



Fonte: Autores (2020)

As relações entre os fatores do modelo podem ser explicadas por meio de proposições teóricas. Vários estudos sobre a adoção de tecnologia, também para a gestão de água, indicam a atitude como tendo um efeito positivo direto sobre a intenção de adotar o comportamento pesquisado (PINO et al., 2017). Logo, espera-se a:

**Proposição 1:** a atitude tem um impacto positivo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

Com o avanço da tecnologia, há oportunidades para melhorar a eficiência no uso da água na agricultura irrigada, por meio de dados detectados remotamente de drones ou satélites (KOECH; LANGAT, 2018). A esse respeito, em relação as vantagens da adoção, o especialista A declara: “*Vai ser importante saber exatamente quanto de água, aonde, de que forma, em que horário, em que local*”. Logo, espera-se a:

**Proposição 1.1:** o eficiência no uso da água tem um impacto positivo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

A aplicação de tecnologias da informação nos métodos de AP reduz o uso de energia e água (FERRÁNDEZ-PASTOR et al., 2016). Esse benefício também é relatado pelo especialista C: “*No caso da AP para irrigação, o tema redução de custos é essencial, porque o agricultor vai trabalhar com minimização de recursos e otimização de insumos*”. O especialista I acrescenta: “*Para adotar uma tecnologia, o agricultor deve obter um benefício econômico e entender qual é o problema que essa tecnologia resolve*”. Logo, esperam-se as:

**Proposição 1.2:** o custo de água tem um impacto negativo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

**Proposição 1.3:** o custo de energia elétrica tem um impacto negativo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

A agricultura é um setor conhecido por sua natureza conservadora (BURTON, 2004). Esse fator é destacado também pelo especialista C: “*Acho que as demonstrações são fundamentais. O agricultor não acredita nas coisas, ele quer ver as coisas*”. Logo, espera-se a:

**Proposição 1.4:** o conservadorismo possui um impacto negativo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.



Os métodos da indústria 4.0 podem trazer grandes melhorias em termos de planejamento, controle e otimização agrícolas (BRAUN; COLANGELO; STECKEL, 2018). Essa vantagem decorrente da adoção também é relatada pelos especialistas D e G. Logo, espera-se a:

**Proposição 1.5:** o planejamento e controle de operações têm um impacto positivo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

Ao olhar para a produção agrícola a partir de uma perspectiva 4.0, o acesso aos dados apresenta potencial para diferentes decisões (JØRGENSEN, 2018). Nesse sentido, o especialista E cita que: *“O agricultor tem muito mais informações com esse tipo de tecnologia do que a convencional”*. Logo, espera-se a:

**Proposição 1.6:** o acesso a dados tem um impacto positivo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

Um agricultor pode ser influenciado por diferentes atores em relação à adoção de tecnologia de irrigação, como família, associação de cultivadores, ambientalistas e revendedores de equipamentos (LYNNE et al., 1995). O especialista A acrescenta que: *“A maior pressão virá dos consumidores. Vai ter pressão de custo, de produtividade. O consumidor vai querer saber como o produto foi produzido”*. Logo, espera-se a:

**Proposição 2:** a norma subjetiva tem um impacto positivo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

As percepções de controle comportamental são sustentadas por crenças sobre os fatores que facilitam ou agem como barreiras para realizar o comportamento: falta de dinheiro, falta de tempo, características da propriedade rural, mudanças das práticas de gestão, entre outras (FIELDING et al., 2005). Logo, espera-se a:

**Proposição 3:** o controle comportamental percebido tem um impacto positivo na intenção de adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0.

As tecnologias para agricultura de precisão já estão em grande parte disponíveis no mercado e são comercialmente acessíveis (JØRGENSEN, 2018). Contudo, existem obstáculos que podem afetar a percepção de um agricultor sobre o acesso ao mercado, como custos de transação e de transportes, distância, infra-estrutura rodoviária (RANDELA; ALEMU; GROENEWALD, 2008). O especialista A acrescenta a importância do custo de implantação, no caso dos pequenos agricultores. Logo, espera-se a:

**Proposição 3.1:** o acesso ao mercado de tecnologias tem um impacto positivo no controle comportamental percebido.

A adoção de tecnologia agrícola requer bem-estar financeiro (DUNG; HIEP, 2017). Recursos de capital insuficientes e pouco conhecimento sobre as fontes de financiamento são classificados como a barreira mais importante e crítica no processo de inovação de AP (BUSSE et al., 2014). Essa crítica também é destacada pelo especialista A: *“Se um agricultor chegar num banco para adquirir tecnologia e não tiver garantia, o banco não libera dinheiro”*. O agricultor da empresa agrícola B cita: *“Fiz um projeto de irrigação autofinanciado, para economizar o máximo possível porque a irrigação é muito cara. Depois três anos tive problemas com as mangueiras. Desisti e o meu investimento está parado”*. Logo, espera-se a:

**Proposição 3.2:** o acesso ao mercado de financiamentos tem um impacto positivo no controle comportamental percebido.

A educação, capacidade e habilidades dos agricultores são fatores limitantes para lidar com ferramentas de agricultura 4.0. Essa barreira pode ser superada por meio de políticas que melhoram o acesso à educação (PIVOTO, 2018). Essa barreira é confirmada pelo especialista D: *“A adoção de qualquer tecnologia depende da capacidade que o agricultor tem de receber, reter e aplicar”*. Um exemplo explicativo é citado pelo agricultor da empresa agrícola A: *“O projeto do sistema de irrigação, desenhado e implantado por consultores, não teve sucesso, enquanto erros foram cometidos tanto no desenho quanto na execução”*. Logo, espera-se a:

**Proposição 3.3:** o acesso ao mercado de educação tem um impacto positivo no controle comportamental percebido.

A agricultura 4.0 pode oferecer inúmeras vantagens para grandes empresas, enquanto pequenas e médias empresas frequentemente enfrentam dificuldades relacionadas às estratégias que não favorecem investimentos de longo prazo (ZAMBON et al., 2019). A adoção de tecnologia pelos agricultores é resultado de muitos fatores, incluindo o cooperativismo, que têm um papel importante, ajudando os agricultores a enfrentar desafios juntos (CIRUELA-LORENZO et al., 2020). O cooperativismo é reforçado pelo especialista C: “*Acredito que hoje a cooperativa tem um papel muito mais relevante que antes: vender as tecnologias agropecuárias para os pequenos produtores*”. Logo, espera-se a:

**Proposição 3.4:** o cooperativismo é um moderador do acesso ao mercado de tecnologias, recursos financeiros e educação.

Indivíduos que têm maior familiaridade e maiores experiências anteriores com a tecnologia terão crenças mais positivas sobre as novas tecnologias (AGARWAL; PRASAD, 1999). Logo, espera-se a:

**Proposição 3.5:** a experiência anterior tem um impacto positivo no controle comportamental percebido.

Os agricultores com melhor educação tendem a ser os primeiros a adotar tecnologias modernas e a aplicar insumos modernos com mais eficiência (FEDER; JUST.; ZILBERMAN, 1985). À medida que o nível de educação aumenta, os agricultores podem processar as informações com mais eficácia e decidir adotar tecnologias que atendam às suas metas (POKHREL; PAUDEL; SEGARRA, 2018). Logo, espera-se a:

**Proposição 3.6:** o conhecimento do agricultor e da força de trabalho têm um impacto positivo no controle comportamental percebido.

O alto grau de mobilidade das instalações de produção torna o planejamento e o controle mais difíceis do que nos ambientes industriais (BRAUN; COLANGELO; STECKEL, 2018). O especialista H destaca também que esse desafio depende do tamanho da empresa agrícola. Logo, espera-se a:

**Proposição 3.7:** o grau de mobilidade das máquinas e equipamentos têm um impacto negativo no controle comportamental percebido.

O tamanho do campo de cultivo afeta várias decisões relacionadas à adoção de tecnologias para gestão inteligente de água, dado que sensores podem ser implantados longe e em locais remotos (GUILLÉN-NAVARRO; PEREÑÍGUEZ-GARCÍA; MARTÍNEZ-ESPAÑA, 2017). O especialista H acrescenta que “*É diferente de uma estrutura industrial onde você tem muito mais controle, porque em uma empresa agrícola a infraestrutura deve ser muito maior em termos de conectividade*”. Logo, espera-se a:

**Proposição 3.8:** a cobertura do campo agrícola tem um impacto negativo no controle comportamental percebido.

Além do modelo conceitual proposto, a análise das entrevistas realizadas permite a identificação do ecossistema de uma empresa agrícola, ilustrado na Figura 2: conjunto de atores presentes em torno da empresa agrícola e que estão envolvidos na adoção, conforme relatado pelo especialista E: “*Tem todo um ambiente, que pode ser chamado ecossistema, ou conjunto de stakeholders, que estão sinalizando que este avanço tecnológico na indústria está migrando para outros setores, como a agricultura*”.

Os seguintes atores são ativos no ecossistema: família (especialista C); outras empresas agrícolas (especialista G); produtores de referência (especialistas B e G); cooperativa (especialistas A e C); consumidores (especialistas A, C, H e I); bancos (especialistas A, F e H); ambientalistas (especialistas C, F e I); governo (especialistas A, B, F, G, H e I); entidade de

extensão rural (especialistas B e F); instituições de ensino e pesquisa (especialistas E e F); fornecedores de tecnologias (especialistas F e G).

Figura 2 - Ecosistema de uma empresa agrícola



Fonte: Autores (2020)

Esses atores podem pressionar o agricultor, na adoção de novas tecnologias, conforme destacado pelo especialista F: “*O agricultor é muito assediado, tanto o pequeno quanto o grande. Tem assédio de organização governamental, vendedores de tecnologias, banco, pesquisa. É difícil enxergar quem, dentro da propriedade rural, consegue identificar todas as componentes desse assédio e determinar o que é bom e o que é ruim*”.

## 5. DISCUSSÃO

Este trabalho teve por objetivo explorar os fatores que afetam a adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0. Por meio de revisão da literatura, entrevistas com especialistas e estudos de caso, foi proposto um modelo conceitual, que ilustra os fatores que afetam a adoção deste conceito e tecnologias associadas. Os resultados enfatizam três fatores pouco explorados na literatura sobre a agricultura 4.0: gestão de operações, acesso ao mercado (de tecnologias, financiamentos e educação) e cooperativismo.

A pesquisa atual sobre a agricultura 4.0 é focada principalmente em automação, robótica e sustentabilidade. No entanto, os resultados empíricos evidenciam que a adoção da agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0 pode melhorar a gestão de operações agrícolas em analogia com o modelo industrial. Entre essas operações, o planejamento da irrigação define quais recursos ativar e estima a necessidade de água de irrigação e o tempo de irrigação. A execução da irrigação ativa os recursos planejados: sensores, máquinas e força de trabalho. O planejamento de irrigação processa dados sensoriais e envia comandos para o controle de irrigação, que monitora o sistema de irrigação, os recursos ativados e o uso de água. Contudo, esse trabalho propõe algumas perguntas que precisam de pesquisa futura: Quais são os benefícios da adoção em relação ao planejamento e controle da irrigação? Quais ferramentas de gestão e indicadores de desempenho difundidos no setor industrial podem ser transferidos para a agricultura? Como fortalecer o processo de tomada de decisão do agricultor com a adoção de AP no contexto da agricultura 4.0?

O acesso ao mercado de tecnologias é um fator presente na literatura sobre a adoção e alguns autores afirmam que as tecnologias já estão disponíveis no mercado (JØRGENSEN, 2018). Porém, outros pesquisadores mencionam fatores que podem dificultar o acesso (PIVOTO, 2018). A falta de pesquisas sobre o comportamento do agricultor no contexto da agricultura 4.0 pode sugerir que alguns pesquisadores concentram o estudo em questões tecnológicas, com menos atenção aos fatores que influenciam a transferência de inovações para os usuários, neste caso os agricultores. Portanto, este estudo sugere várias áreas de investigação: Quais são os fatores que afetam o acesso ao mercado de tecnologias? Qual é o impacto que esses fatores têm nos fornecedores de tecnologias? Quais modelos de negócios, organizacionais e logísticos podem ser de referência para apoiar o acesso ao mercado?

Em relação ao acesso ao mercado de financiamentos, a literatura apresenta alguns fatores que podem afetar o acesso dos agricultores, como tamanho da empresa agrícola, rentabilidade agrícola e acessibilidade ao crédito financeiro (DUNG, HIEP, 2017). Os resultados empíricos indicam que o acesso é mais difícil para pequenos e médios agricultores, devido a fatores como garantia e seguro no financiamento (especialista A). Conforme descrito pelos agricultores entrevistados, em caso de falta desses requisitos exigidos pelas instituições financeiras, o agricultor é forçado a recorrer a financiamento próprio, com alto risco de falha, ou a desistir da adoção de tecnologias inovadoras. Nesta perspectiva, este trabalho indica algumas questões que precisam de pesquisa futura: Qual é o impacto que os fatores, que afetam a adoção, têm nas instituições financeiras que atuam no mercado? Quais modelos de financiamento podem ser de referência para apoiar a adoção?

As soluções tecnológicas voltadas para a agricultura 4.0 só poderão ser construídas e gerenciadas por equipes multidisciplinares dada a complexidade dos modelos computacionais e matemáticos que, para serem efetivos, necessitam lidar com a dinâmica do comportamento de solo e plantação. E, para ser possível construir esses modelos e conseqüentemente aplicar as tecnologias em casos reais, não bastará aos profissionais ter especialidade em uma área, mas também serem capazes de discutir os diferentes aspectos do cenário agrícola e saber relacionar com seu expertise (RAMPASSO, et al., 2020). Isso demandará uma capacidade de pensamento sistêmico hoje pouco presente na formação universitária. Os profissionais das ciências agrárias e de tecnologia deverão ser capazes de utilizar tais recursos para convertê-los em reais benefícios para as lavouras e oferecer a segurança necessária para o agricultor (especialistas A e C). Para preparar os profissionais cabem as seguintes perguntas: Quais são os fatores que afetam o acesso ao mercado de educação? Quais métodos educacionais podem ser efetivos para preparar os estudantes? Quais assuntos devem ser estudados para construir uma ponte entre profissionais com formações tão distintas?

Segundo a OCB (2020) em 2018 o Brasil possuía 6.828 cooperativas com 14.618.832 associados e 425.318 funcionários distribuídos em 13 ramos do cooperativismo. Deste montante 1.613 cooperativas eram do ramo agropecuário e agregavam 1.021.019 associados e 209.778 funcionários. O ramo agropecuário tem absorvido grande parte dos recursos humanos especializados do sistema cooperativo em função da utilização intensiva de modernas e inovadoras tecnologias de produção em seu parque agroindustrial, o que permitiu ao Brasil se tornar líder mundial na produção e exportação de proteína animal. Contudo Rose e Chilvers (2018) criticam o uso indiscriminado de tecnologias inteligentes em sociedades agrícolas tradicionais, pois estas podem alterar, ou mesmo "reescrever", de maneira indesejável as estruturas sociais e econômica existentes. Por outro lado Ciruela-Lorenzo et al. (2020) argumentam que as cooperativas agropecuárias, pelas suas características democráticas e solidárias, terão um importante e decisivo papel na preparação e adequação da agricultura familiar tradicional, caracterizada por uma baixa utilização de tecnologias emergentes, aos desafios impostos pela revolução tecnológica da agricultura 4.0. Portanto, este trabalho coloca várias perguntas que requerem pesquisa futura: Quais fatores favorecem o papel de moderador

do cooperativismo no acesso ao mercado? Existem fatores locais e culturais que podem facilitar essa mudança na agricultura familiar? Quais modelos organizacionais podem ser referência para que esse papel seja bem-sucedido?

## 6. CONCLUSÃO E CONTRIBUIÇÃO

Este trabalho teve como objetivos explorar os fatores que afetam a adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0 e propor um modelo conceitual para apoiar o desenvolvimento de teoria sobre a adoção de agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0. Após a revisão da literatura as lacunas de pesquisa foram identificadas. Para abordar essas lacunas, uma pesquisa empírica foi realizada, por meio de entrevistas com especialistas e estudos de caso. Os resultados da pesquisa empírica e da revisão da literatura apoiaram a proposição de um modelo conceitual, combinando conceitos de agricultura 4.0, teoria do comportamento planejado, gestão de operações e irrigação. Também foram identificados os atores que podem estar envolvidos na adoção destas tecnologias caracterizando, assim, o ecossistema de uma empresa agrícola.

Considerando a incipiente base teórica sobre a agricultura 4.0, este trabalho oferece um progresso no conhecimento, explorando os fatores que direcionam a adoção de AP no contexto da agricultura 4.0 e propondo um modelo conceitual baseado em pesquisa empírica. Os resultados enfatizam três fatores pouco explorados na literatura: gestão de operações, acesso ao mercado e cooperativismo. Ainda, a perspectiva dessa pesquisa, focada na gestão de operações, oferece um ponto de vista que completa a literatura existente sobre a adoção de AP e também sobre a agricultura 4.0.

O modelo conceitual é proposto como quadro teórico para direcionar futuros estudos com o objetivo de investigar as relações de causa-efeito entre os fatores envolvidos na adoção de AP no contexto da agricultura 4.0. O modelo será validado nos pilotos do Projeto Água, a fim de aumentar a validade externa. Além disso, um modelo de simulação baseado na dinâmica de sistemas será construído para estudar as relações entre os fatores identificados e também entre os atores que atuam no ecossistema. No futuro a pesquisa será estendida a outras operações agrícolas, além da irrigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, Ritu; PRASAD, Jayesh. Are individual differences germane to the acceptance of new information technologies? **Decision Sciences**, v. 30, n. 2, p. 361-391, 1999.

AJZEN, Icek et al. The theory of planned behavior. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 50, n. 2, p. 179-211, 1991.

BARNES, Andrew P. et al. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. **Land Use Policy**, v. 80, p. 163-174, 2019.

BETTIGA, Debora; LAMBERTI, Lucio. Exploring the adoption process of personal technologies: A cognitive-affective approach. **The Journal of High Technology Management Research**, v. 28, n. 2, p. 179-187, 2017.

BIANCHI, Caio Giusti; DE FIGUEIREDO, Júlio César Bastos. Characteristics of Brazilian scientific research on diffusion of innovations in business administration. **RAI Revista de Administração e Inovação**, v. 14, n. 4, p. 311-320, 2017.

BOCHTIS, Dionysis; SORENSEN, Claus Aage Gron; KATERIS, Dimitrios. **Operations Management in Agriculture**. Academic Press, 2018.

BRAUN, Anja-Tatjana; COLANGELO, Eduardo; STECKEL, Thilo. Farming in the Era of Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 979-984, 2018.

BURTON, Rob JF. Reconceptualising the ‘behavioural approach’ in agricultural studies: a socio-psychological perspective. **Journal of Rural Studies**, v. 20, n. 3, p. 359-371, 2004.

BUSSE, M., et al. Innovation mechanisms in German precision farming. **Precision Agriculture**, v. 15, n. 4, p. 403-426, 2014.

CIRUELA-LORENZO, Antonio Manuel et al. Digitalization of Agri-cooperatives in the Smart Agriculture Context. Proposal of a Digital Diagnosis Tool. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1325, 2020.

CLASEN, M. Farming4.0 und andere Anwendungen des Internet der Dinge. **Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft**, p. 33–36, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Açaí – Análise mensal, março 2019**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 julho 2020.

\_\_\_\_\_. **Açaí – Análise mensal, julho 2020**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 julho 2020.

DUNG, Luu T.; HIEP, Nguyen TK. The revolution of agriculture 4.0 and sustainable agriculture development in Vietnam. In: **International Conference “Emerging issues in economics and business in the context of international integration” Proceedings (EIEB 2017)**. p. 317-328, 2017.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

FEDER, Gershon; JUST, Richard E.; ZILBERMAN, David. Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. **Economic Development and Cultural Change**, v. 33, n. 2, p. 255-298, 1985.

FERRÁNDEZ-PASTOR, Francisco Javier et al. Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: Application in precision agriculture. **Sensors**, v. 16, n. 7, p. 1141, 2016.

FIELDING, Kelly S. et al. Explaining landholders' decisions about riparian zone management: The role of behavioural, normative, and control beliefs. **Journal of Environmental Management**, v. 77, n. 1, p. 12-21, 2005.

FISHBEIN, Martin; AJZEN, Icek. **Predicting and changing behavior: The reasoned action approach**. Taylor & Francis, 2011.

FLICK, Uwe. **An introduction to qualitative research**. Sage Publications Limited. 2009.

FLYNN, Barbara B. et al. Empirical research methods in operations management. **Journal of Operations Management**, v. 9, n. 2, p. 250–284, 1990.

GROHER, Tanja et al. Status quo of adoption of precision agriculture enabling technologies in Swiss plant production. **Precision Agriculture**, 2020.

GUILLÉN-NAVARRO, M. Ángel; PEREÑÍGUEZ-GARCÍA, Fernando; MARTÍNEZ-ESPAÑA, Raquel. IoT-based system to forecast crop frost. In: **2017 International Conference on Intelligent Environments (IE)**. IEEE, p. 28-35, 2017.

HOMMA, A. K. O. et al. Custo operacional de açazeiro irrigado com micro aspersão no Município de Tomé-Açu. **Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico**, 2009.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR PRECISION AGRICULTURE - ISPA. **Precision Ag Definition**. Disponível em: <<https://www.ispag.org/about/definition>>. Acesso em: 8 maio. 2020.

JØRGENSEN, M. H. Agricultural field production in an ‘Industry 4.0’ concept. **Agronomy Research**, v. 16, n. 1, p. 94-102, 2018.

JUMMAN, Ashiel. **Using system dynamics to explore the poor uptake of irrigation scheduling technologies in a commercial sugarcane community in South Africa**. Tese de Doutorado. University of KwaZulu-Natal, Howard College, África do Sul, 2016.

KLERKX, Laurens; ROSE, David. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. **Global Food Security**, v. 24, p. 100347, 2020.

KOECH, Richard; LANGAT, Philip. Improving Irrigation Water Use Efficiency: A Review of Advances, Challenges and Opportunities in the Australian Context. **Water**, v. 10, n. 12, p. 1771, 2018.

KOUNDOURI, Phoebe; NAUGES, Céline; TZOUVELEKAS, Vangelis. Technology adoption under production uncertainty: theory and application to irrigation technology. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 88, n. 3, p. 657-670, 2006.

LOWENBERG-DEBOER, James; ERICKSON, Bruce. Setting the record straight on precision agriculture adoption. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 4, p. 1552-1569, 2019.

LYNNE, Gary D. et al. Conservation technology adoption decisions and the theory of planned behavior. **Journal of Economic Psychology**, v. 16, n. 4, p. 581-598, 1995.

MANCINI, Adriano; FRONTONI, Emanuele; ZINGARETTI, Primo. Satellite and UAV data for Precision Agriculture Applications. In: **2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)**. IEEE, 2019. p. 491-497.

MILES, Matthew B., HUBERMAN, A. Michael. **Qualitative data analysis: A methods sourcebook**. Sage, 1994.

ORGANIZAÇÃO DAS COOPERATIVAS DO BRASIL - SISTEMA OCB. **Números do Cooperativismo Brasileiro**. 2020. Disponível em: <<https://www.ocb.org.br/numeros>>. Acesso em: 10 abril 2020.

PAPPA, Ioanna C.; ILIOPOULOS, Constantine; MASSOURAS, Theofilos. What determines the acceptance and use of electronic traceability systems in agri-food supply chains?. **Journal of Rural Studies**, v. 58, p. 123-135, 2018.

PATHAK, Hari Sharan; BROWN, Philip; BEST, Talitha. A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. **Precision Agriculture**, p. 1-25, 2019.

PATTON, Michael Quinn. **Qualitative research and evaluation methods**. Thousand Oaks. Cal.: Sage Publications, 2002.

PAULHUS, Delroy L. **Measurement and Control of Response Bias**. Academic Press, Inc., 1991.

PIERPAOLI, Emanuele et al. Drivers of precision agriculture technologies adoption: a literature review. **Procedia Technology**, v. 8, p. 61-69, 2013.

PINO, Giovanni et al. Determinants of farmers' intention to adopt water saving measures: Evidence from Italy. **Sustainability**, v. 9, n. 1, p. 77, 2017.

PIVOTO, Dieisson. **Smart farming: concepts, applications, adoption and diffusion in southern Brazil**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

POKHREL, Bijay K.; PAUDEL, Krishna P.; SEGARRA, Eduardo. Factors affecting the choice, intensity, and allocation of irrigation technologies by US cotton farmers. **Water**, v. 10, n. 6, p. 706, 2018.

RAMPASSO, Izabela Simon et al. An investigation of research gaps in reported skills required for Industry 4.0 readiness of Brazilian undergraduate students. **Higher Education, Skills and Work-Based Learning**, 2020.

RANDELA, Rendani; ALEMU, Zerihun Gudeta; GROENEWALD, Jan A. Factors enhancing market participation by small-scale cotton farmers. **Agrekon**, v. 47, n. 4, p. 451-469, 2008.

RECIO, B.; RUBIO, F.; CRIADO, J. A. A decision support system for farm planning using AgriSupport II. **Decision support systems**, v. 36, n. 2, p. 189-203, 2003.

ROBERTSON, M. J. et al. Adoption of variable rate fertiliser application in the Australian grains industry: Status, issues and prospects. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 181-199, 2012.

ROSE, David Christian; CHILVERS, Jason. Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, p. 87, 2018.



SPONCHIONI, G. et al. The 4.0 revolution in agriculture: a multi-perspective definition. In: **Summer School F. Turco-Industrial Systems Engineering**, p. 143-149, 2019.

TEY, Yeong Sheng; BRINDAL, Mark. Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 713-730, 2012.

WELTZIEN, Cornelia. Digital agriculture or why agriculture 4.0 still offers only modest returns. **Landtechnik**, v. 71, n. 2, p. 66-68, 2016.

WILLOCK, J. et al. The Role of Attitudes and Objectives in Farmer Decision Making: Business and Environmentally- Oriented Behaviour in Scotland. **Journal of Agricultural Economics**, v. 50, n. 2, p. 286–303, 1999.

ZAMBON, Ilaria et al. Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. **Processes**, v. 7, n. 1, p. 36, 2019.

## APÊNDICE A

Tabela A1 - Questionário usado nas entrevistas com os especialistas

<b>Pergunta de abertura</b>	Qual é o ponto de vista do/ a senhor/ ra sobre a agricultura 4.0?
<b>Construtos da TPB</b>	<b>Perguntas</b>
Atitude	Quais são as vantagens da adoção de AP para a irrigação no contexto da agricultura 4.0? Quais são as desvantagens da adoção de AP para a irrigação no contexto da agricultura 4.0? O que acha das mudanças que um agricultor precisa fazer para adotar a AP para a irrigação no contexto da agricultura 4.0?
Norma Subjetiva	Existem pressões sociais que podem levar um agricultor a adotar a AP para a irrigação no contexto da agricultura 4.0? Quais atores podem pressionar um agricultor a adotar a AP para a irrigação no contexto da agricultura 4.0?
Controle Comportamental Percebido	Quais fatores ou circunstâncias facilitariam um agricultor a adotar a AP para a irrigação no contexto da agricultura 4.0? Quais fatores ou circunstâncias dificultariam um agricultor a adotar a AP para a irrigação no contexto da agricultura 4.0? Quais informações acha são necessárias, para um agricultor, para adotar a AP para a irrigação no contexto da agricultura 4.0?
<b>Perguntas adicionais</b>	O planejamento das operações agrícolas é um processo fácil para um agricultor? Se sim, por qual razão? Se não, quais são as dificuldades? Quais informações são necessárias para o planejamento das operações agrícolas? O controle das operações agrícolas é um processo fácil para um agricultor? Se sim, por qual razão? Se não, quais são as dificuldades? Quais informações são necessárias para o controle das operações agrícolas?

Fonte: Autores (2020)