



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E PROCESSOS INDUSTRIAIS  
– MESTRADO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS  
INDUSTRIAIS**

**MICHELE KREMER SOTT**

**EVOLUÇÃO CIENTÍFICA E PROSPECÇÃO DELPHI DA AGRICULTURA  
DIGITAL NO SETOR CAFEIEIRO: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A  
SUSTENTABILIDADE**

Santa Cruz do Sul

2021

Michele Kremer Sott

**EVOLUÇÃO CIENTÍFICA E PROSPECÇÃO DELPHI DA AGRICULTURA  
DIGITAL NO SETOR CAFEIEIRO: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A  
SUSTENTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado, da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Sistemas e Processos Industriais, em regime de duplo-diploma com o mestrado em Engenharia com ênfase em Engenharia de Software da Universidad del Quindío.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liane Mählmann Kipper

Coorientador: Prof. Dr. Fábio D. Giraldo

Santa Cruz do Sul  
2021

## AGRADECIMENTOS

À Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Brasil, e à Universidad del Quindío (UniQuindío), Colômbia, e respectivos programas de Pós-Graduação e grupos de pesquisa, pelos espaços de discussão para construção de conhecimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), cujo apoio financeiro<sup>1</sup> é imprescindível para a formação de professores e pesquisadores no país.

Aos professores, pesquisadores, gestores e agricultores, brasileiros e colombianos, que tão bem me receberam e compartilharam suas experiências para enriquecimento deste trabalho.

Ademais, a todos que forneceram críticas construtivas, tão importantes para o desenvolvimento deste estudo, e a todos aqueles que, assim como eu, seguem acreditando na educação e na ciência para o desenvolvimento da sociedade e das organizações.

---

<sup>1</sup> Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

A tão discutida transformação digital se manifesta como uma necessidade mundial para automação, eficiência e flexibilização da produtividade organizacional. Por outro lado, a globalização e a adoção tecnológica estão sendo frequentemente relacionadas aos pilares econômico, social e ambiental do desenvolvimento sustentável. Entre as divergências do desenvolvimento econômico e da proteção ambiental, o primeiro setor sofre com perdas irreparáveis e enfrenta inúmeras barreiras relacionadas às mudanças climáticas, degradação do solo, mecanização, desperdícios e exigências dos consumidores. Tais questões tornam a agricultura um dos maiores desafios do século. Com base nesta premissa, este trabalho objetivou compreender a adoção tecnológica nos sistemas cafeeiros, uma vez que o café é a segunda mercadoria mais comercializada no mundo e responsável pela renda de milhares de famílias. Para compreender o campo de estudo, uma revisão da literatura foi realizada apoiada por análise de redes com o software SciMAT (*Science Mapping Analysis Software Tool*) e pelo protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols*). Outra revisão da literatura foi realizada para compreender as linguagens de modelagem de processos mais utilizadas na literatura, a fim de analisar possíveis linguagens a serem utilizadas para modelar os processos inteligentes da agricultura 4.0 no setor cafeeiro. Um Delphi com especialistas foi realizado para compreender os principais desafios e oportunidades da adoção tecnológica no setor, bem como os principais impactos da transformação digital nos processos e na sustentabilidade dos sistemas cafeeiros. Os resultados foram distribuídos ao longo de três artigos, e poderão ser utilizados para auxiliar pesquisadores e profissionais do setor a compreender os principais desafios e oportunidades associados a adoção tecnológica para produção de alimentos para a crescente população mundial, ao mesmo tempo que protegem o planeta e asseguram dignidade, equidade e igualdade para as gerações futuras através do desenvolvimento sustentável.

**Palavras-Chaves:** Agricultura 4.0; Agricultura Digital; Agricultura de Precisão; Sustentabilidade; Inovação; Transformação Digital.

## ABSTRACT

The widely discussed digital transformation expresses the worldwide need for automation, efficiency and flexibility in organizational productivity. On the other hand, globalization and technological adoption are often related to the economic, social and environmental pillars of sustainable development. Among the divergences of economic development and environmental protection, the primary sector suffers from irreparable losses and faces numerous barriers related to climate change, soil degradation, mechanization, waste and consumer demands. These issues make agriculture one of the greatest challenges of the century. Based on this premise, this study aimed to understand the technological adoption in coffee systems, since coffee is the second most traded commodity in the world and responsible for the income of thousands of families. To understand the field of study, a literature review was carried out supported by a network analysis with the SciMAT software (Science Mapping Analysis Software Tool) and the PRISMA protocol (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols). Another literature review was carried out to identify the most used process modeling languages in the literature, in order to analyze possible languages to be used to model smart processes in the coffee sector. A Delphi with experts was carried out to understand the main challenges and opportunities related to technological adoption in the sector, as well as the main impacts of digital transformation on the processes and sustainability of coffee systems. The results were distributed over three articles, and can be used to help researchers and practitioners to understand the main challenges and opportunities associated with technological adoption of food production for the growing world population, while protecting the planet and ensuring dignity, equity and equality for future generations through sustainable development.

**Keywords:** Agriculture 4.0; Digital Agriculture; Precision Agriculture; Sustainability; Innovation; Digital Transformation.

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	22
2	Desenvolvimento .....	24
2.1	Tema e problema .....	24
2.2	Objetivos .....	25
2.2.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	25
2.2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	25
2.3	Procedimentos metodológicos .....	26
3	Considerações finais .....	27
	Referências .....	30

## 1 Introdução

Os primeiros passos da agricultura iniciaram cerca de 10.000 anos atrás, quando os humanos começaram a domesticar os primeiros animais, preparar a terra e cultivar plantas para produção de alimentos (Zhai *et al.*, 2020). O surgimento de técnicas de cultivo e manipulação de plantas foi uma das maiores transformações na história da humanidade, pois transformou os caçadores-coletores em agricultores e caracterizou a Primeira Revolução Agrícola, também conhecida como Revolução Neolítica ou Agricultura 1.0 (Harari, 2014). Embora esta revolução represente um grande salto na história da humanidade, suas práticas levaram a guerras por propriedades de terras, e passou a demandar maior mão de obra nas atividades relacionadas ao cultivo de lavouras, levando a um excedente de comida que permitiu o aumento da população (Harari, 2014). Diversas transformações ocorreram para lidar com os desafios e dificuldades do setor primário ao longo dos milhares de anos que separam a Primeira Revolução Agrícola e a sociedade da abundância atual (Tekinerdogan, 2018).

Com o aumento da população mundial e migração da mão de obra agrícola para grandes cidades para suprir as necessidades das Revoluções Industriais, o setor primário se deparou com novos desafios relacionados a produção (Grigg, 1980). A fim de atender à crescente demanda de alimentos da população, a Segunda Revolução Agrícola ou Agricultura 2.0 iniciou no século XIX através da adoção de máquinas, colhedoras, tratores e novas técnicas como rotatividade de cultivos e reprodução selecionada (Zhai *et al.*, 2020). Embora estas tecnologias tenham aumentado o volume de produção, os desafios relacionados a qualidade e ao esgotamento do solo, doenças nas plantas e variações ambientais passaram a impactar a produção agrícola (Zhai *et al.*, 2020) criando a necessidade de novas tecnologias e técnicas capazes de auxiliar na gestão agrícola e soluções dos desafios associados a produção de alimentos.

As novas tecnologias para lidar com tais desafios surgiram através da Terceira Revolução Agrícola ou Agricultura 3.0 no final do século XX e início do século XXI. Neste período, tecnologias como GNSS (*Global Navigation Satellite System*), computadores e outros dispositivos passaram a ser utilizados para gestão de lavouras e análises agrícolas (Zhai *et al.*, 2020). Além disso, este período simboliza o surgimento de dois importantes termos associados a agricultura, entre 1966 e 1985 surgiu a Revolução Verde através da adoção de práticas de engenharia genética e biotecnologia para criação de plantas e animais geneticamente modificados (Evans e Lawson, 2020; Pingali, 2012). Também neste período, surgiu em 1980 o

conceito de Agricultura de Precisão (AP), que representa o uso de técnicas e tecnologias capazes de auxiliar no controle de variabilidade em lavouras (Zhang *et al.*, 2002).

Embora tenha surgido em época diferente, as técnicas relacionadas a AP são amplamente difundidas na Quarta Revolução Agrícola, também chamada de Agricultura 4.0 (A4.0). O quarto grande passo e mais recente revolução do setor primário surgiu em 2011 a partir do conceito de Indústria 4.0, associado a Quarta Revolução Industrial, com o propósito de levar as tecnologias emergentes das indústrias para as lavouras (Hrustek, 2020). Neste sentido, tecnologias como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Big Data e Computação em nuvem, entre outras tecnologias da informação e comunicação, passaram a ser exploradas para aumentar o potencial produtivo e a qualidade dos processos e produtos agrícolas (Lasso a Corrales, 2018).

Atualmente, 10.000 anos após o período neolítico, a humanidade ainda enfrenta diversos problemas associados a produção de alimentos e segurança alimentar, derivados principalmente do aumento da população mundial e de alterações ambientais e climáticas. Mesmo na sociedade tecnológica, desenvolvida e abundante em que vivemos nos dias atuais, quase um bilhão de pessoas vão dormir com fome todos os dias (Campbell *et al.*, 2014). Não obstante, a população humana deve atingir 9 bilhões de pessoas até 2050, enquanto a demanda por alimentos deve ter um aumento de 50% (Adamides *et al.*, 2020). Na missão desafiadora de produzir alimento para a população, o setor primário já é responsável pelo consumo de 70% da água potável do mundo, enquanto o consumismo deliberado da sociedade triplicou nos últimos 50 anos, fatores que contribuem para que a exploração de recursos naturais já seja 30% superior a capacidade da natureza de se regenerar (Staniškis, 2012).

Tais desafios fomentam a necessidade de pesquisas teóricas e práticas para compreender o potencial tecnológico de auxiliar na produtividade, qualidade e desenvolvimento sustentável do setor primário. Neste estudo, o setor cafeeiro é explorado a fim de identificar as tecnologias emergentes mais utilizadas em sistemas cafeeiros, por se tratar de um dos setores mais importantes para a agricultura do Brasil e da Colômbia, países onde esta pesquisa foi desenvolvida. Além disso, o café é a segunda mercadoria mais comercializada no mundo e responsável pela fonte de renda de milhares de pessoas. Neste sentido, foi realizado um mapeamento científico do campo de estudo com suporte do software SciMAT, e aplicado Delphi com especialistas a fim de compreender as diferentes perspectivas de pesquisadores, agricultores e cooperativas do setor cafeeiro em relação a adoção tecnológica. Ademais, uma revisão da literatura sobre linguagens de modelagem de processos para organizações inteligentes foi desenvolvida para descobrir as linguagens mais utilizadas e com potencial para

auxiliar no futuro desenvolvimento de um *framework* para a transformação digital do setor cafeeiro.

Esta dissertação é disposta em formato de artigos e está subdividida em 6 seções. Enquanto a presente Seção apresenta a Introdução ao campo de estudo, a Seção 2 dispõe de informações relacionadas ao desenvolvimento da pesquisa, como o tema e problema, objetivos e procedimentos metodológicos. A Seção 3 apresenta brevemente os três artigos desenvolvidos<sup>2</sup>. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais, incluindo as limitações da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

## 2 Desenvolvimento

Esta seção apresenta o desenvolvimento da pesquisa, incluindo o tema, problema e os objetivos do trabalho. Além disso, os procedimentos metodológicos e a estrutura da dissertação são apresentados a fim de sintonizar o leitor em relação aos artigos desenvolvidos.

### 2.1 Tema e problema

Os desafios derivados do aumento da população mundial e, conseqüentemente, da crescente demanda por alimentos (Basnet e Bang, 2018; Singh e Singh, 2020) fomentam a adoção de tecnologias no agronegócio em busca de flexibilidade e automação para produção em escala (Antonucci *et al.*, 2019). Por um lado, os desafios relacionados aos vultuosos níveis de exploração de recursos naturais e drásticas mudanças climáticas buscam soluções tecnológicas capazes de desenvolver uma agricultura resiliente que integre os pilares ambiental, econômico e social do desenvolvimento sustentável (Giraldo *et al.*, 2017). Por outro lado, outra vertente do campo de estudo defende a existência de paradoxos associados a produtividade e sustentabilidade, onde a produção, a rentabilidade, e o consumo além da subsistência são priorizados enquanto o planeta colapsa em crises ecológicas (Santos, 2010; Boschken, 2013).

Para explorar a transformação digital na agricultura, este trabalho fez um recorte sobre a adoção tecnológica nos sistemas cafeeiros. O setor cafeeiro foi escolhido devido a amplitude de comercialização do café, segunda mercadoria mais comercializada no mundo após o petróleo bruto (Le *et al.*, 2020). Além disso, a agricultura cafeeira é responsável pelo cultivo de uma área superior a 10 milhões de hectares de terra no mundo (Hollingsworth *et al.*, 2020),

---

<sup>2</sup> Os artigos não foram inseridos neste documento devido ao processo de publicação. Os documentos podem ser encontrados no site das revistas onde foram publicadas ou em contato com a autora. E-mail: sott.mk@gmail.com.

representando significativo percentual do Produto Interno Bruto (PIB) de muitos países e a principal fonte de subsistência de mais de 120 milhões de pessoas (Pham *et al.*, 2019). Além disso, a produção cafeeira é extremamente sensível a alterações climáticas que impactam diretamente a sua produtividade, além de aumentar a vulnerabilidade das plantas a pestes e ferrugens que prejudicam a produção (Schroth *et al.*, 2009).

Nesta perspectiva, a fim de compreender amplamente o uso de tecnologias no setor e o potencial tecnológico para auxiliar na sustentabilidade e produtividade cafeeira, este trabalho aprofundou-se na literatura existente sobre AP e A4.0 no setor cafeeiro e, posteriormente, explorou a adoção tecnológica com especialistas do Brasil e da Colômbia. A escolha dos países se deu devido ao Brasil e a Colômbia serem, respectivamente, o primeiro e o terceiro maiores produtores de café no mundo (Pham *et al.*, 2019; Sengupta *et al.*, 2020). Além disso, a cultura cafeeira e as características produtivas apresentam significativas diferenças nos dois países. Enquanto o Brasil tem foco no volume produtivo e possui grandes áreas mecanizáveis que permitem a inserção de maquinários e contrastantes áreas montanhosas de difícil cultivo, na Colômbia a produção é voltada aos cafés especiais e técnicas de produção manuais (Gomes *et al.*, 2020; Dietz *et al.*, 2019). Com base nesta premissa, compreender o uso de tecnologias e explorar a visão de diversos profissionais do setor é imprescindível para compreender os principais desafios, oportunidades e impactos da adoção tecnológica nos sistemas cafeeiros.

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo Geral**

– Explorar a transformação digital no setor cafeeiro através de revisão da literatura e Delphi com especialistas para compreender o cenário atual e os desafios e oportunidades relacionadas a adoção tecnológica nos sistemas cafeeiros.

### **2.2.2 Objetivos específicos**

- Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) apoiada por análise bibliométrica e de redes sobre o uso de tecnologias emergentes no setor cafeeiro.
- Identificar as perspectivas de pesquisadores, agricultores e cooperativas do setor cafeeiro sobre a adoção tecnológica e seus impactos nos sistemas cafeeiros.

– Revisar o uso de modelagem de processos em ambientes inteligentes, a fim de identificar as linguagens de modelagem mais utilizadas e que possam auxiliar no futuro desenvolvimento de um *framework* para a transformação digital do setor cafeeiro.

### 2.3 Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa tem caráter teórico-prático e, enquanto teórico, buscou revisar a literatura relacionada ao campo de estudo para explorar suas abordagens e, enquanto prático, explorou um cenário real e suas características a fim de confrontá-las com os resultados da literatura (Yin, 2015). Além disso, a pesquisa tem delineamento descritivo-exploratório e, no que tange ao caráter descritivo, buscou encontrar e explicar relações entre variáveis (Santos e Candeloro, 2006) a fim de compreender as características do objeto de estudo (Gil, 2008). Enquanto exploratória buscou apresentar uma ampla visão sobre tema e as interrelações com o fenômeno estudado (Marconi *et al.*, 2002).

Através de uma abordagem quali-quantitativa foi explorado um universo de significados relacionados a transformação digital no setor cafeeiro para compreender o contexto e criar conhecimento com base na realidade estudada em campo (De Souza Minayo, Deslandes e Gomes, 2011; Deslandes, 1994). Além disso, a análise bibliométrica e de redes permitiu a criação de mapas do campo de estudo, e o Delphi oferece discussões quantitativas que prospectam o uso e o impacto da adoção tecnológica no setor cafeeiro, enquanto as discussões qualitativas exploram fenômenos subjetivos que impactam as decisões do setor.

Em outras palavras, para explorar a adoção tecnológica no setor cafeeiro, esta pesquisa buscou compreender a literatura existente e, posteriormente, a perspectiva de profissionais do setor. Para atingir os objetivos propostos e desenvolver contribuições científicas para o campo de estudo, os resultados foram distribuídos ao longo de artigos científicos. Deste modo, os métodos e técnicas de pesquisa são apresentados ao longo dos artigos desenvolvidos, a saber:

Artigo 1: o primeiro artigo, intitulado “Modelagem de processos para fábricas inteligentes: usando mapeamento científico para compreender os temas estratégicos, principais desafios e tendências”, teve como objetivo explorar a modelagem de processos em ambientes inteligentes e identificar quais as linguagens de modelagem mais utilizadas para mapear e modelar processos inteligentes. Este artigo apresenta uma bibliometria apoiada por análise de redes realizadas com suporte do software SciMAT (*Science Mapping Analysis Software Tool*) desenvolvido por Cobo *et al.* (2012). Além de identificar as principais linguagens de modelagem usadas em cenários inteligentes, o artigo discute as implicações para organizações

e para pesquisas acadêmicas, e os principais desafios e tendências associadas a modelagem de processos na transformação digital. Este artigo foi publicado na revista *Business Process Management Journal* com Fator de Impacto 1,880.

Artigo 2: intitulado “Técnicas de precisão e tecnologias da Agricultura 4.0 para promover a sustentabilidade no setor cafeeiro: estado da arte, desafios e tendências futuras”, este artigo teve como objetivo descobrir as principais tecnologias da AP e A4.0 utilizadas no setor cafeeiro e os principais desafios e tendências para o setor. Para tanto, foi realizado um mapeamento científico do campo de estudo através de análise bibliométrica e de redes, juntamente com uma RSL norteada pelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). O artigo apresenta ainda um diagrama com os temas estratégicos do campo de estudo e a estrutura temática das principais tecnologias emergentes utilizadas no setor. Este artigo foi publicado na revista IEEE Access com Fator de Impacto 3,745.

Artigo 3: o terceiro artigo, intitulado “Prospecção Delphi em tecnologias da Agricultura 4.0 e técnicas de precisão: implicações nos sistemas cafeeiros”, teve como objetivo compreender as percepções de pesquisadores, agricultores e cooperativas do setor cafeeiro em relação a adoção tecnológica. Foi aplicado um Delphi através de um questionário *online* a profissionais do Brasil e da Colômbia para compreender a visão dos respondentes em relação aos principais desafios e oportunidades das tecnologias, bem como o impacto tecnológico nos processos e na sustentabilidade do setor cafeeiro. Os resultados da primeira rodada do Delphi foram tabulados e a partir destes foi composto um segundo questionário a ser validado com um grupo de especialistas da área. Os resultados permitirão compreender a visão de especialistas em sistemas cafeeiros sobre a adoção tecnológica e auxiliarão na identificação de desafios e tendências que podem ser exploradas em trabalhos futuros.

### **3 Considerações finais**

Esta pesquisa explorou o uso de tecnologias emergentes no setor cafeeiro, um dos setores mais importantes do Brasil e da Colômbia, através de discussões relacionadas a Agricultura de Precisão e Agricultura 4.0. Os resultados mostram a incipiência da transformação digital e as tecnologias emergentes e técnicas de precisão mais estudadas e utilizadas em sistemas cafeeiros, dentre elas Internet das Coisas, Machine Learning e Geoestatística (Artigo 2). Ao explorar tais tecnologias foi possível compreender as possibilidades e desafios associados a cada uma, bem como compreender as tendências relacionadas a adoção tecnológica no setor cafeeiro. Foi possível identificar os temas estratégicos relacionados a Agricultura de Precisão e

Agricultura 4.0 em sistemas cafeeiros. Além disso, os principais desafios e tendências relacionados a adoção tecnológica foram elencados e discutidos ao longo dos artigos.

Com o desenvolvimento do Delphi (Artigo 3) foi possível compreender as percepções de especialistas do setor cafeeiro. Professores, agricultores e cooperativas responderam ao questionário acerca dos principais desafios e oportunidades relacionadas a adoção tecnológica, e os impactos nos processos e na sustentabilidade do setor. De forma geral, as respostas dos 22 respondentes apresentaram consenso. 56% dos especialistas defendem que os custos, a cultura e as singularidades tecnológicas são, nesta ordem, os principais desafios para a adoção tecnológica no setor. Do mesmo modo, com 53% de representatividade, as principais oportunidades da adoção tecnológica no setor cafeeiro são o aumento da qualidade, a gestão de dados e a proteção ambiental. No que tange ao impacto da adoção tecnológica na sustentabilidade do setor, a redução do uso de recursos como água e energia, a redução e melhor gestão de resíduos e desperdícios representam 60% do total. Os impactos nos processos produtivos foi a única faceta do questionário que não chegou em um consenso dos respondentes na primeira rodada do Delphi. A redução de desperdícios, rentabilidade, qualidade, conhecimento acerca dos processos produtivos e aumento da produtividade estão entre os principais fatores considerados pelos respondentes.

Diferente do Artigo 2, que explorou as tecnologias emergentes mais usadas no setor até o momento, o Delphi mostrou que os pesquisadores acreditam que Big Data e Inteligência Artificial serão as tecnologias mais utilizadas no setor nos próximos anos, seguidas de Machine Learning, Internet das Coisas e drones. Enquanto IA e ML podem ser utilizadas para analisar e resolver problemas complexos, Big Data pode ter sido escolhida pelos pesquisadores por se tratar de uma tecnologia base que pode auxiliar na implantação de outras. O uso de Internet das Coisas e drones mostram o potencial de pequenas tecnologias, principalmente no que tange a cenários difíceis como as lavouras em áreas montanhosas do setor cafeeiro. Neste sentido, pequenas tecnologias que auxiliam na gestão e análise da qualidade de cafés e saúde das plantas oferecem grande potencial para pequenos e grandes produtores.

Além disso, a revisão da literatura sobre a modelagem de processos em ambientes inteligentes (Artigo 1) permitiu identificar as três linguagens de modelagem mais utilizadas para modelar processos inteligentes: *Business Process Model and Notation* (BPMN), *Unified Modeling Language* (UML) e *Petri Net*. Este trabalho foi crucial para reiterar a importância do conhecimento acerca dos processos produtivos e da modelagem adequada de suas atividades. Seus resultados poderão ser empregados futuramente para criar *frameworks* voltados a transformação digital, tanto na agricultura quanto no setor industrial. Além disso, este artigo

pode auxiliar a compreender as interrelações da modelagem de processos inteligentes e o desenvolvimento de novas linguagens capazes de atender as necessidades da quarta revolução industrial e agrícola. É importante mencionar que tais linguagens podem ser mais exploradas do ponto de vista de Engenharia de Software, a fim de adequá-las para as necessidades agrícolas, e do viés deste trabalho, às necessidades do setor cafeeiro. Esta necessidade é reforçada, uma vez que a literatura mostra que as linguagens atuais não são suficientemente flexíveis para modelar os processos inteligentes da transformação digital.

Deste modo, esta pesquisa contribuiu em dois sentidos, enquanto o estudo das linguagens de modelagem de processos pode ser utilizado em pesquisas futuras relacionadas a transformação digital, tanto industrial quanto agrícola, os trabalhos com foco no setor cafeeiro cobrem duas lacunas da literatura. Primeiramente, os resultados da RSL do setor cafeeiro apresentam um panorama geral do campo de estudo e as principais tecnologias emergentes utilizadas no setor. Após, o Delphi prospecta os principais desafios, oportunidades, e impactos nos processos e na sustentabilidade do setor cafeeiro de acordo com profissionais, brasileiros e colombianos, com amplo conhecimento do setor.

Mesmo explorando lacunas e importantes discussões da transformação digital no setor cafeeiro, as limitações da pesquisa devem ser identificadas a fim de definir o alcance do estudo e possibilidades futuras de pesquisa. Esta pesquisa se limita ao utilizar apenas duas bases de dados (Scopus e Web of Science) nas revisões da literatura, bem como por utilizar somente um software para análise bibliométrica e criação de redes. O Delphi se limita pelo número de respondentes e países onde foi explorado, bem como pelo número de questões e variáveis consideradas na análise.

As principais limitações deste trabalho justificam-se pela época de execução do mesmo, dada a pandemia do Covid-19 que transtornou o ano de 2020, período no qual a primeira etapa do Delphi foi executada. Preocupações relacionadas ao contexto pandêmico afetaram também o setor cafeeiro e indiretamente o número de participantes desta pesquisa. De todo modo, o trabalho contou com o apoio de importantes universidades do Brasil e da Colômbia, bem como com a assistência da Câmara de Comércio do departamento de Quindío, principal setor cafeeiro da Colômbia e onde parte da pesquisa foi realizada. Tal apoio e construtivas discussões foram cruciais para compreender o cenário cafeeiro e as medidas que já estão sendo adotadas em relação a transformação digital na agricultura cafeeira da Colômbia. Além disso, para compreensão dos processos e dos cenários agrícolas, a participação de agricultores foi primordial, possibilitando aos pesquisadores conhecer fazendas cafeeiras e seus processos. É importante ressaltar que mesmo com todos os desafios enfrentados durante a pandemia, o setor

cafeeiro alcançou significativo volume de produção e exportação em 2020, reiterando a força do setor e a importância de pesquisas associadas ao campo de estudo.

Trabalhos futuros podem explorar em profundidade cada parte da cadeia produtiva cafeeira, a fim de compreender o potencial tecnológico em cenários diversos, uma vez que a maior parte das tecnologias atuais são utilizadas na indústria, e muito pouco na agricultura e nas outras partes da cadeia produtiva do café. Outras bases de dados podem ser exploradas para revisão da literatura, e trabalhos empíricos podem fazer uso das tecnologias emergentes e apresentar seus benefícios em cada um dos pontos medidos através deste estudo. Ademais, a fim de relacionar as revisões da literatura e o Delphi, um estudo futuro poderá propor um *framework* apoiado por linguagens de modelagem de processos visando facilitar a implantação de tecnologias e gestão de processos inteligentes nos sistemas cafeeiros.

## Referências

- Adamides, G., Kalatzis, N., Stylianou, A., Marianos, N., Chatzipapadopoulos, F., Giannakopoulou, M., Papadavid, G., Vassiliou, V., & Neocleous, D. (2020). Smart farming techniques for climate change adaptation in Cyprus. *Atmosphere*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/ATMOS11060557>
- Antonucci, F., Figorilli, S., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., & Menesatti, P. (2019). A review on blockchain applications in the agri-food sector. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 99, Issue 14, pp. 6129–6138). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9912>
- Basnet, B., & Bang, J. (2018). The State-of-the-Art of Knowledge-Intensive Agriculture: A Review on Applied Sensing Systems and Data Analytics. *Journal of Sensors*, 2018, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2018/3528296>
- Boschken, H. L. (2013). Global Cities Are Coastal Cities Too: Paradox in Sustainability? *Urban Studies*, 50(9), 1760–1778. <https://doi.org/10.1177/0042098012462612>
- Campbell, B. M., Thornton, P., Zougmore, R., van Asten, P., & Lipper, L. (2014). Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 39–43. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.002>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609–1630. <https://doi.org/10.1002/asi.22688>
- Deslandes, S. F. (1994). Pesquisa social: teoria, método e criatividade. In *Pesquisa social:*

- teoria, método e criatividade (pp. 80-80).
- Dietz, T., Estrella Chong, A., Grabs, J., & Kilian, B. (2019). How Effective is Multiple Certification in Improving the Economic Conditions of Smallholder Farmers? Evidence from an Impact Evaluation in Colombia's Coffee Belt. *Journal of Development Studies*. <https://doi.org/10.1080/00220388.2019.1632433>
- Evans, J. R., & Lawson, T. (2020). From green to gold: Agricultural revolution for food security. *Journal of Experimental Botany*, *71*(7), 2211–2215. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa110>
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. Editora Atlas SA.
- Giraldo, P. J. R., Aguirre, Á. G., Muñoz, C. M., Prieto, F. A., & Oliveros, C. E. (2017). Sensor fusion of a mobile device to control and acquire videos or images of coffee branches and for georeferencing trees. *Sensors (Switzerland)*, *17*(4).
- Gomes, L. C., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Fernandes, R. B. A., Filho, E. I. F., & Schulte, R. P. O. (2020). Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *294*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858>
- Grigg, D. B. (1980). Population Growth and Agrarian Change: An Historical Perspective. *The Geographical Journal*, *149*(2), 237. <https://doi.org/10.2307/633629>
- Harari, Y. N. (2014). *A Brief History of Humankind: Sapiens*. [http://hallowesbrown.net/Sapiens-a\\_brief\\_history\\_of\\_humankind.pdf](http://hallowesbrown.net/Sapiens-a_brief_history_of_humankind.pdf)
- Hollingsworth, R. G., Aristizábal, L. F., Shriner, S., Mascarín, G. M., Moral, R. de A., & Arthurs, S. P. (2020). Incorporating *Beauveria bassiana* Into an Integrated Pest Management Plan for Coffee Berry Borer in Hawaii. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00022>
- Hrustek, L. (2020). Sustainability Driven by Agriculture through Digital Transformation. *Sustainability*, *12*(20), 8596.
- Lasso, E., & Corrales, J. C. (2018). Towards an alert system for coffee diseases and pests in a smart farming approach based on semi-supervised learning and graph similarity. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *687*, 111–123. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70187-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70187-5_9)
- Le, Q. V., Jovanovic, G., Le, D. T., & Cowal, S. (2020). Understanding the perceptions of sustainable coffee production: A case study of the k'ho ethnic minority in a small village in Lam Dong province of Vietnam. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(3). <https://doi.org/10.3390/su12031010>

- MARCONI, M. D. A., & LAKATOS, E. M. (2002). *Técnicas de pesquisa*. 5ª. São Paulo: Editora Atlas.
- Minayo, M. C. D. S., Deslandes, S. F., & Gomes, R. (2016). Pesquisa social: teoria, método e criatividade. In *Pesquisa social: teoria, método e criatividade* (pp. 95-p).
- Pham, Y., Reardon-Smith, K., Mushtaq, S., & Cockfield, G. (2019). The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. *Climatic Change*, 156(4), 609–630. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>
- Pingali, P. L. (2012). Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(31), 12302–12308. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>
- Santos, F. dos. (2010). O PARADOXO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA PROPAGANDA: trajetos de sentido e ciclos do imaginário. *Lume.ufrgs.br*. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/194344>
- Santos, V. D., & Candeloro, R. J. (2006). *Trabalhos acadêmicos: uma orientação para a pesquisa e normas técnicas*. Porto Alegre: AGE, 73.
- Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Haggard, J., Eakin, H., Castillejos, T., Moreno, J. G., Pinto, L. S., Hernandez, R., Eitzinger, A., & Ramirez-Villegas, J. (2009). Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(7), 605–625. <https://doi.org/10.1007/s11027-009-9186-5>
- Sengupta, B., Priyadarshinee, R., Roy, A., Banerjee, A., Malaviya, A., Singha, S., Mandal, T., & Kumar, A. (2020). Toward sustainable and eco-friendly production of coffee: abatement of wastewater and evaluation of its potential valorization. *Clean Technologies and Environmental Policy*. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01841-y>
- Singh, N., & Singh, A. N. (2020). Odysseys of agriculture sensors: Current challenges and forthcoming prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105328>
- Staniškis, J. K. (2012). Sustainable consumption and production: How to make it possible. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(6), 1015–1022. <https://doi.org/10.1007/s10098-012-0535-9>
- Tekinerdogan, B. (2018). *Strategies for Technological Innovation in Agriculture 4.0. Reports*. Wageningen University, Wageningen, Netherlands. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/549036>
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for

agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>

Zhang, N., Wang, M., Agriculture, N. W.-C. and electronics in, & 2002, U. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169902000960>