



MARCO AURÉLIO LIMA DA ROSA

**FAZENDA 4.0 A AUTOMAÇÃO EMPREGADA NA
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

MARCO AURÉLIO LIMA DA ROSA

**FAZENDA 4.0 A AUTOMAÇÃO EMPREGADA NA
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
IES Anhanguera Porto Alegre, como requisito
parcial para a obtenção do título de graduado
em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Rodrigo Oliveira

MARCO AURÉLIO LIMA DA ROSA

FAZENDA 4.0 A AUTOMAÇÃO EMPREGADA NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
IES Anhanguera Porto Alegre, como requisito
parcial para a obtenção do título de graduado
em Engenharia de Controle e Automação.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Janaína Galho Borges

Me. Ary Paixão Borges Santana Júnior

Porto Alegre, 9 de dezembro de 2020

Dedico este trabalho...

A minha querida mãe Ana Maria Rodrigues de Lima (in memoriam), cujo os valores que carrego vem de seus ensinamentos e de seu empenho em me educar. Aqui estão os resultados dos teus esforços. Com infinita gratidão.

AGRADECIMENTOS

Não há palavras para agradecer a minha esposa Luciene Neto Telles e nossa linda família de 40 anos de 4 patas, com certeza ela foi a pessoa mais atingida pelos efeitos que um curso de engenharia provoca na vida do aluno, prometo recompensar nos próximos cinco anos, todos os “nãos” dos últimos cinco.

Agradeço de coração as pessoas da minha família, minha irmã Eliana Lima da Rosa, cunhado Clovis da Luz Marques e sobrinha Fernanda Gonçalves de Lima, e peço sinceras desculpas pelas ausências nestes últimos cinco anos, pois ouviram muitos: “hoje não posso pois tenho trabalho para entregar”, “não vai dar para eu ir, pois as provas estão aí”, “na próxima eu vou”, etc.

Agradeço também a aqueles que já não posso me desculpar presencialmente por minha ausência, pois partiram durante o período da minha graduação, minha mãe Ana Maria Rodrigues de Lima (foi por ti mãe que não desisti, mesmo tendo motivos para isso) e minha avó Inocência Rodrigues de Lima.

Meus sinceros agradecimentos ao professor Rodrigo Oliveira, que me orientou com esforço e paciência para que eu aplicasse os padrões estipulados pela instituição, seu acompanhamento foi fundamental para o sucesso na conclusão deste trabalho.

Agradecimentos a todo corpo docente, que foram verdadeiros MESTRES no decorrer destes cinco anos que compuseram esta fase importantíssima de minha vida. Em especial a Prof.^a Janaina Galho Borges, que nos auxiliou em momentos conturbados desta graduação, permitindo que chegássemos até a sua conclusão.

Agradecimentos elevados a 10⁹ aos professores Walter Ferreira Diniz Junior, Alexandre Marks Low, Ary Paixão Borges Santana Junior e Rodrigo Bertoldi. Os conhecimentos técnicos que vocês nos passaram durante o curso, serão aplicados no mundo “real”, fazendo diferença na vida de milhares de pessoas, mais uma vez, muito obrigado pela dedicação e conhecimento compartilhado.

Agradeço a meus amigos “irmãos”, Adriano dos Santos, Lucas Andrade e Kae Santos, desculpe por adiar nossos projetos! E também meus amigos e colegas de curso, Marco Machado, Maik, Alexandre, André e Luciano. Agradeço pelo companheirismo e apoio, verdadeiros “guerreiros”, onde poucos “sobreviveram”.

“Destruam as cidades e conservem os campos, e as cidades ressurgirão.

Destruam os campos e conservem as cidades, e estas sucumbirão”.

Abraham Lincoln.

ROSA, Marco Aurélio Lima da. **Fazenda 4.0 a automação empregada na agricultura de precisão**. 2020. 67p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – IES Anhanguera Porto Alegre, Porto Alegre, 2020.

RESUMO

Desde sua transição de caçador/coletor para cultivador, o homem sempre inovou em busca de maior produtividade na cultura agrícola. Contrariando previsões catastróficas relacionadas a oferta e demanda de alimentos, foi através das tecnologias proporcionadas pelas revoluções industriais, que se alcançou volume de produção inimagináveis em outros tempos. Através da experiência e observação, os produtores rurais identificaram diferentes níveis de produtividade em trechos de uma mesma área agricultável, assim em meados da década de 1990 nascia o termo Agricultura de Precisão. O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica, que sintetizou dados históricos e técnicos dos adventos tecnológicos que tiveram grande impacto no setor agrícola. Através do estudo em questão, visou-se apresentar como as novas tecnologias promovidas pela indústria 4.0 estão sendo implementadas no âmbito da agricultura de precisão, identificando o rumo que o setor agrícola está tomando em direção a digitalização da agricultura, mas para isso, há alguns obstáculos a serem vencidos, como a falta de conectividade nas áreas rurais e mão de obra especializada para tirar todos os potenciais benefícios das novas soluções tecnológicas.

Palavras-chave: Agricultura. Precisão. Indústria 4.0. Digital. Automação.

ROSA, Marco Aurélio Lima da. **Fazenda 4.0 a automação empregada na agricultura de precisão**. 2020. 67p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – IES Anhanguera Porto Alegre, Porto Alegre, 2020.

ABSTRACT

Since the transition from hunter / gatherer to cultivator, humans have always innovated in search of greater productivity in agricultural affairs. Contrary to catastrophic predictions related to food supply and demand, it was through the technologies provided by the industrial revolutions that such a production volume unimaginable in other times was reached. Through experience and observation, farmers identified different levels of productivity in stretches of the same agricultural area; thus, in the mid-1990s the term Precision Agriculture was born. The present work consists of a survey on the state-of-the-art of this subject, it aims at synthesize historical and technical data, of technological developments that had a great impact on the agricultural sector. Through the study in question, and to present how the new technologies promoted by industry 4.0 are being implemented in the scope of precision agriculture, identifying recent trends towards the digitalization of agriculture, notwithstanding, in order to accomplish these goals some obstacles must be overcome, such as the lack of connectivity in rural areas and skilled labor to reap all the potential benefits from new technological solutions.

Keywords: Agriculture. Precision. Industry 4.0. Digital. Automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição orbital dos satélites GPS.....	23
Figura 2 – Exemplo de trilateração 2D	24
Figura 3 – Coordenada geográfica Google Earth.....	28
Figura 4 – Assinatura espectral.....	31
Figura 5 – Imagem térmica.....	33
Figura 6 – Aplicação do índice NDVI com software QGIS.....	35
Figura 7 – Níveis da escala de sensoriamento remoto.....	37
Figura 8 – Resolução em imagem digital	39
Figura 9 – Comparação entre imagens obtidas por VANT e satélite.....	40
Figura 10 – Distinção de plantas daninhas e de cultivo por visão artificial	42
Figura 11 – Tipos de operação de VANT/RPA.....	45
Figura 12 – Os nove pilares da Indústria 4.0.....	48
Figura 13 – Tecnologias direcionadoras ligadas a manufatura avançada.....	49
Figura 14 – Arquitetura de rede proposta para IoT.....	52
Figura 15 – Modelo do protocolo de publicação e assinatura MQTT	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Efemérides satelitais	26
Tabela 2 – Lapso temporal entre transmissão e recepção dos dados GPS	27
Tabela 3 – Distâncias entre receptor GPS e Satélites	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Classificação de VANT de acordo com as regras da ANAC.....	44
-----------------	--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ΔS	Distância entre dois pontos
Δt	Intervalo de tempo
2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
a.C.	Antes de Cristo
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AP	Agricultura de Precisão
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight
CCD	Charge Coupled Device
CLP	Computador Lógico Programável
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
CMA	Certificado Medico Aeronáutico
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Esalq	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
EVLOS	Extended Visual Line Of Sight
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FEIMEC	Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos
g	Gramas
GNU	Licença Publica Geral
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBM	International Business Machines
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	Internet of Things
IV	Infravermelho
km	Quilômetros
Km/h	Quilômetros por hora
km/s	quilômetros por segundo
m	Metros
m ²	Metros quadrados

M2M	Machine to Machine
MHz	Mega Hertz
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NAVSTAR	NAVigation System with Time And Ranging
NDVI	Normalized Difference Vegetative Index
NIST	National Institute of Standards and Technology
QGIS	Quantum Geographic Information System
RAB	Registro Aeronáutico Brasileiro
RBAC	Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil
RGB	Red Green Blue
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SINDAG	Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola
USP	Universidade de São Paulo
V m	Velocidade média
V	Vermelho
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VLOS	Visual Line of Sight

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. AGRICULTURA E A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA	18
2.1 HISTÓRICO.....	18
2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO	20
3. AS TECNOLOGIAS UTILIZADAS NA AP E SUAS CONTRIBUIÇÕES	23
3.1 TECNOLOGIA GPS.....	23
3.1.1 Funcionamento da tecnologia GPS.....	24
3.1.2 Posicionamento e trilateração	25
3.1.3 Cálculo de posição.....	27
3.1.4 Benefícios da tecnologia GPS para a AP	31
3.2 IMAGEAMENTO GEORREFERENCIADO	31
3.2.1 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	32
3.2.2 Sensores RGB	34
3.2.3 Sensores multiespectrais.....	34
3.2.4 Sensores hiperespectrais	35
3.2.5 Sensores térmicos.....	35
3.2.6 Software para análise de imagens.....	36
3.2.7 Benefícios do imageamento georreferenciado.....	37
3.3 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)	38
3.4 IMAGEAMENTO AÉREO COM VANT	40
3.5 PULVERIZAÇÃO DE LAVOURAS UTILIZANDO VANT	43
3.6 LEGISLAÇÃO SOBRE OS VANT NO BRASIL	45
4. TENDÊNCIAS E DESAFIOS DA AGRICULTURA 4.0	49
4.1 INDÚSTRIA 4.0.....	49
4.2 AGRICULTURA 4.0	50
4.2.1 M2M	51
4.2.2 Big Data Analytics	52
4.2.3 Computação em nuvem	52
4.2.4 IoT	53
4.3 O PRESENTE E O FUTURO DA AGRICULTURA DIGITAL.....	56
4.3.1 Desafios da Agricultura 4.0.....	56
4.3.2 Tendências Tecnológicas.....	58
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
REFERÊNCIAS.....	63

1. INTRODUÇÃO

Na eminência de completar sua primeira década, a 4ª Revolução industrial em pouco tempo trouxe expressiva mudança de paradigmas dos processos de toda cadeia produtiva. O desenvolvimento de novas tecnologias estão provocando uma aceleração no avanço da automação como até então nunca vista, transformando sistemas automatizados em autônomos, através da descentralização do controle destes sistemas, dispositivos inteligentes comunicam-se entre si, gerando grande volume de dados que podem ser cruzados e tratados em tempo real, isso resulta em tomadas de decisão preditivas mais rápidas e assertivas, que impactam diretamente a produtividade. Toda essa evolução tecnológica não ficou somente entre as paredes dos grandes galpões fabris, elas se difundiram pela sociedade como um todo, desde o indivíduo através de *smartphones*, veículos, casas e cidades inteligentes, a 4ª Revolução Industrial logo encontrou terreno fértil no setor agropecuário, que aceitou o desafio, e a acolheu com entusiasmo dando origem aos termos Agricultura 4.0 e Pecuária 4.0.

Projeções conservadoras estimam que no ano de 2050 o contingente populacional mundial chegue a 9 bilhões. Torna-se latente a necessidade de novas pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias que ampliem a capacidade de produção de alimentos para suprir a crescente demanda mundial. O que justifica o desenvolvimento do presente trabalho acadêmico, que busca sintetizar informações úteis, e conhecimentos relevantes no âmbito da automação de tempos passados, e presentes fundamentados nos princípios da indústria 4.0. Com isso, apontar tendências futuras para servir como uma possível nova fonte de consulta e pesquisa, indicando a posição temporal do cenário tecnológico agrícola no período do estudo. Assim contribuindo com as comunidades acadêmica, científica e a sociedade em geral, pois se faz necessário uma agricultura pujante, inteligente, e principalmente sustentável para a manutenção da vida, e mesmo tornar possível a até então, utópica, erradicação da fome no mundo.

A Indústria 4.0 dá um salto no conceito de automação, com a coleta e cruzamento de dados em tempo real, sistemas de computação em nuvem, big data, inteligência artificial e aprendizado de máquina, há um aumento significativo na capacidade de produção, torna o trabalho no chão de fábrica mais seguro para o

homem, reduzindo ou até eliminando a sua intervenção em determinados processos. Em geral as condições ambientais controladas, a localização e as dimensões de fabricas e parques fabris contribuem para a implementação destas tecnologias através das redes de dados industriais, possibilitando a conexão da planta em sua completude, quando este conceito tecnológico é levado para o campo, onde há exposição a eventos climáticos em ambientes hostis, em que as áreas de uma propriedade rural são medidas em milhares de hectares, e sendo a conectividade um dos princípios geradores da Quarta Revolução Industrial, mesmo com o otimismo que as novas tecnologias difundidas pela indústria 4.0 trazem ao produtor agrícola, surgem também adversidades que levam a reflexão: Quais os desafios e benefícios que a Quarta Revolução Industrial traz para a agricultura de precisão?

O objetivo geral é apresentar como as novas tecnologias promovidas pela indústria 4.0 estão sendo implementadas no âmbito da agricultura de precisão. A busca desta compreensão foi orientada por uma sequência lógica dada pelos objetivos específicos, sendo o 1º, demonstrar as diretrizes da evolução tecnológica empregada na agricultura, como 2º objetivo específico, apresentar as principais tecnologias e benefícios inseridos pelos sistemas automatizados na agricultura de precisão, com o conhecimento acumulado, atingir o 3º objetivo específico, com o advento da 4ª revolução industrial, apontar as tendências tecnológicas e seus desafios neste segmento.

Este estudo caracteriza-se no modelo de revisão bibliográfica, com uma abordagem de caráter qualitativo e descritivo. Tratando-se o tema da evolução de um setor que nasceu a milhares de anos, a bibliografia a ser pesquisada com intuito histórico teve uma linha temporal alongada, com publicações e citações de até 300 anos, a pesquisa dos quesitos técnicos atuais foi pautada na revisão bibliográfica de livros, dissertações, artigos acadêmicos, científicos e governamentais publicados nos últimos 25 anos, as buscas de materiais literários se deram em livros físicos, livros digitais, sites reconhecidos de bancos de dados de artigos acadêmicos como, Microsoft Academic Search, lume, Google acadêmico, SCIELO, CAPES, ieeexplore, Biblioteca Virtual Kroton, sites institucionais governamentais e trabalhos acadêmicos com tema semelhante, com a contemporaneidade do assunto abordado, e levando-se em conta que publicações bibliográficas não tem acompanhado a mesma

velocidade com que novas soluções são desenvolvidas, este trabalho também contemplou pesquisas em revistas recentes do setor agropecuário.

2. AGRICULTURA E A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

2.1 HISTÓRICO

O homem não nasceu agricultor, o *Homo sapiens sapiens* por natureza predatória, estabelecia-se em grupos nos locais onde a natureza propiciava possibilidades de caça e coleta de alimentos.

No livro francês *Histoire des Agricultures du monde: du néolithique à la crise contemporaine*, com tradução em português intitulado *História das agriculturas no mundo - do neolítico à crise contemporânea*, os escritores Marcel Mazoyer e Laurence Roudart, (MAZOYER; ROUDART, 2009) afirmam segundo seus estudos históricos, que sociedades neolíticas datadas entre 10.000 e 5.000 a.c. começavam a semear plantas e manter animais em cativeiro com o intuito de multiplica-los, e então produzir meios de permanência do grupo por mais tempo em um mesmo local.

Paulatinamente transformando-se em uma sociedade de cultivadores, artificializando os ecossistemas por todo o planeta, transformando-os em ecossistemas cultivados bem diferentes dos naturais originais, tem-se essa passagem da predação a agricultura neolítica como a primeira revolução agrícola, onde o homem começava a dominar os metais como cobre, estanho e mais à frente o ferro, forjando-os em fogo e produzindo as primeiras ferramentas para facilitar o trabalho manual.

Nas primeiras civilizações cultivadoras, as variações na produtividade de alimentos eram atribuídas aos deuses da chuva e da fertilidade, com a evolução destas sociedades através da experiência e observação, foi percebido que após algumas temporadas de colheitas o terreno já não possuía as mesmas propriedades férteis iniciais. A cada colheita percebia-se a degradação da terra, forçando os agricultores a procurar novos terrenos para o plantio.

“Um sistema agrário não pode se desenvolver e se perpetuar se a fertilidade das terras cultivadas não for mantida em um nível suficiente para garantir, sustentavelmente, as colheitas necessárias para a população” (MAZOYER; ROUDART, 2009, p.85). “É chamado de fator limitante o elemento do meio que determina a densidade máxima que a população de uma espécie pode atingir sustentavelmente em um dado local” (MAZOYER; ROUDART, 2009, p.53).

Ficou conhecida como “Teoria Malthusiana” a ideia elaborada pelo economista inglês Thomas Robert Malthus, nela Malthus alertava que enquanto o crescimento populacional possuía progressão geométrica, o crescimento da produção de alimentos progredia aritmeticamente, e que em determinado ponto, a demanda superaria a oferta, assim colapsando a sociedade que então enfrentaria fome, pestes, epidemias e guerras (MALTHUS, 1798).

No entanto Malthus não havia levado em conta a inovação tecnológica em sua tese, porém este detalhe não passou despercebido por Ester Boserup, escritora e economista dinamarquesa, em 1965 Ester afirmou que a partir da necessidade, o homem desenvolve tecnologias inovadoras, novos meios, novas formas de produzir alimentos e solucionar seus problemas (ANSELM, 2012).

O histórico do homem na terra demonstra sua aptidão em desenvolver soluções para todo tipo de problema durante sua evolução, as próprias marcas que o homem deixou nos primórdios da história, como as pinturas rupestres, demonstram isso, pois foi necessário elaborar um determinado tipo de artefato que permitisse essas escritas nas paredes das cavernas, escritas essas que relatavam a realidade daqueles povos, como os animais da época, as batalhas e também suas ferramentas e armas de sobrevivência.

“[...] o termo Automação remonta a 3500 e 3200 a.C, quando o homem começou a utilizar a roda. No entanto, o conceito só se tornou familiar a partir da Revolução Industrial no século XVIII.” (EMBRAPA, 2015).

A força transformada em trabalho nas máquinas agrícolas primitivas, era proveniente da energia da estrutura muscular humana e animal, a mecanização implementada pela Primeira Revolução Industrial levou as fábricas e ao campo, uma nova fonte de energia em substituição a força muscular, a máquina a vapor, que se espalha por toda Europa, ampliando a capacidade de produção e produzindo grandes mudanças na sociedade, como fenômenos antropológicos de emigração, devido a substituição da força de trabalho humano pela máquina (FELDENS, 2018).

A segunda Revolução Industrial ocorreu entre 1860 e 1900. “Países como Alemanha, França, Rússia e Itália também se industrializaram. O emprego do aço, a utilização da energia elétrica e de combustíveis derivados do petróleo, a invenção do motor à explosão e da locomotiva a vapor e o desenvolvimento de produtos químicos foram as principais inovações desse período” (FELDENS, 2018). Estas invenções

chegam ao campo algumas décadas depois, através de tratores movidos a combustíveis fósseis, motores elétricos substituindo rodas d'água em moinhos, e aceleração do escoamento da produção por transporte ferroviário.

Diferentemente das anteriores, a Terceira revolução Industrial não é marcada pela descoberta de novas fontes energéticas, mas pela popularização do transistor após a segunda grande guerra, possibilitando a substituição dos gigantescos painéis de comandos elétricos com lógica comandada por relés, pelo moderno Computador Lógico Programável (CLP), automatizando processos repetitivos e proporcionando maior flexibilização ao sistema de produção em massa (EMBRAPA, 2015).

Houve grandes avanços nas telecomunicações como lançamento de satélites, que décadas depois impactaria fortemente o setor agrícola por intermédio do GPS (Global Positioning System), que em português significa Sistema de Posicionamento Global (INAMASU et al., 2014).

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Com o passar dos tempos o homem foi acumulando conhecimentos através de experiências, estas que transmitidas de geração a geração propiciaram o aprimoramento das ferramentas e métodos de cultivo, aumentando substancialmente a produção agrícola, permitindo assim a expansão das cidades com o êxodo rural.

Sempre em busca de melhorias para uma maior produtividade, qualidade e consequente rentabilidade, agricultores que trabalhavam e cultivavam pequenas áreas com pouco maquinário e implementos agrícolas limitados, entendiam que mesmo aplicando as mesmas culturas, técnicas e insumos, a produtividade de partes do campo era desigual.

Com o advento da tecnologia tornou-se possível também ao agricultor que produzia em grandes áreas enxergar a sua propriedade não mais como em tempos passados, onde tratava-se a terra como homogênea, e sim dividindo-a em partes menores e tratando-a de forma fracionada e individual, assim nascia a agricultura de precisão (AP).

Segundo Jose Paulo Molin (2015) “Existem relatos de que se trabalha com AP desde o início do século XX. Porém, a prática remonta aos anos 1980, quando na Europa foi gerado o primeiro mapa de produtividade e nos EUA fez-se a primeira

adubação com doses variadas”, entretanto há outros referenciais literários que apontam como primeira menção documentada sobre a AP “Em 1929, num boletim do campo experimental de Illinois, Linsley e Bauer recomendavam ao produtor desenhar um mapa com testes de acidez em solos amostrados em grade para aplicação de calcário” (INAMASU et al., 2014, p. 22).

“O termo agricultura de precisão tem aproximadamente 25 anos, mas os fatos e as constatações que levaram ao seu surgimento são de longa data” (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015, p.5).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária define a AP como “Agricultura de precisão é um conjunto de técnicas de apoio à agricultura na qual se utiliza de tecnologia da informação, sensores, mapas, baseando-se no princípio da variabilidade da planta frente ao solo, clima e práticas agrícolas” (EMBRAPA, 2017).

As primeiras atividades oriundas da AP no Brasil, aconteceram de forma esparsa em meados da década de 1990, sem produção nacional, os primeiros equipamentos eram importados, como colhedoras com sistema de monitoração de produtividade georreferenciada na colheita de grãos (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Em 1996 a comunidade acadêmica começa a se organizar através de eventos relacionados a AP, onde promoveram o primeiro simpósio na Universidade de São Paulo. Os primeiros equipamentos que permitiam a aplicação de fertilizantes em taxas variáveis só chegaram ao país próximo do ano 2000, no início do novo milênio foram produzidas no Brasil as primeiras aplicadoras com taxas variáveis de granulados, mas a produção nacional ainda dependia de controladores importados, essa dependência externa seria sanada nos anos seguintes, fabricando equipamentos produzidos nacionalmente em sua integralidade (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Em 1997 com a chegada do GPS, outras tecnologias usadas por todo o mundo até então, foram perdendo espaço, pois o impacto causado por essa nova tecnologia revolucionaria vários setores, incluindo a agricultura, a automação agrícola tomaria novos rumos.

O GPS sendo usado em máquinas que auxiliariam na gestão operacional das lavouras, possibilitando o cuidado diferenciado com cada parte específica do talhão. No Brasil a eletrônica embarcada dava os primeiros passos na agricultura brasileira, pois além de ser uma tecnologia recente, os investimentos para adquirir estas

tecnologias estavam fora da realidade de grande parte dos produtores nacionais, apenas algumas indústrias e instituições acadêmicas possuíam estrutura para incorporar a nova tecnologia, e também o setor agrícola nacional tinha um olhar cético para automação.

Dez anos após, a eletrônica embarcada e a tecnologia GPS faziam parte do dia a dia do agricultor brasileiro, abrindo as portas para as inovações tecnológicas que viriam a seguir (INAMASU et al., 2014).

Uma percepção bastante comum é que a cada minuto a história está sendo escrita, no entanto as descobertas e eventos que vieram a se tornar marcos na evolução humana só foram percebidas e destacadas com o distanciamento histórico, na evolução industrial e agrícola isso não foi diferente, porém, diferentemente das três primeiras revoluções industriais, a quarta está sendo observada desde o seu princípio e enquanto se desenvolve (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015), essa percepção foi possível em função dos grandes avanços tecnológicos promovidos pela larga conectividade de dispositivos conhecida como internet das coisas (em inglês, *Internet of Things – IoT*) e a aceleração na aquisição e processamentos de dados em tempo real.

Segundo (DRATH; HORCH, 2014) o termo “Indústria 4.0” foi utilizado pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011, referindo-se a Quarta Revolução Industrial. Não demorou muito para que os reflexos da indústria 4.0 refletissem no setor agrícola, criando o conceito de agricultura 4.0 ou agricultura digital, estes reflexos não são simplesmente estender ao campo as soluções criadas para a indústria, mas utilizando-se o conceito para criar soluções personalizadas ao agronegócio.

O baixo custo de dispositivos IoT, propiciaram o surgimento de empresas no formato *startup*, com modelo de negócios voltado ao desenvolvimento de novas tecnologias, que agregam ao campo essas tecnologias emergentes, como impressoras 3D, computação em nuvem, aprendizagem de máquina, inteligência artificial, métodos computacionais de alto desempenho, redes de sensores, comunicação entre máquinas (M2M), conectividade entre dispositivos móveis, métodos de solução analítica para processar grandes volumes de dados (*BIGDATA*) possibilitando sistemas de suporte a tomada de decisões de manejo autônomo (MASSRUHÁ; LEITE, 2018).

3. AS TECNOLOGIAS UTILIZADAS NA AP E SUAS CONTRIBUIÇÕES

Sendo a agricultura de precisão uma técnica de manejo, que tem por princípio o entendimento de que cada talhão ou subárea deste, pode ter propriedades produtivas e capacidade de recuperação específicas, as inovações tecnológicas dos últimos 30 anos vem sendo adaptadas para esta realidade do campo, promovendo a utilização racional de agro defensivos e insumos como pesticidas, herbicidas, fertilizantes, água, sementes, compostos e corretivos. Para a pesquisadora Gloria Ezenne da Universidade da Nigéria (Ezenne et al. 2019), com dados coletados durante o preparo da terra, o plantio, a manutenção e a colheita, é possível determinar o momento, dose e local correto para atuar na aplicação dos insumos, potencializando os benefícios econômicos e ambientais no processo produtivo agrícola.

É de senso comum a consciência da contribuição que a mecanização, automação e informatização traz aos processos da produção agrícola, mas não basta levantar dados, é preciso ter qualidade e relevância nestes dados, e principalmente saber como trata-los, para assim extrair o máximo de informações úteis e que trarão benefícios reais a produção, pois a AP só existe se existir dados, são eles que conectam o campo aos sistemas digitais de gerenciamento e análises, para melhor entendimento dos benefícios que a tecnologia insere na AP, é preciso conhecer as soluções que estão sendo aplicadas. A seguir será apresentado algumas das tecnologias mais utilizadas atualmente na AP.

3.1 TECNOLOGIA GPS

Inicialmente projetado para uso militar e desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, o chamado de NAVSTAR GPS (*NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System*) trata-se de um sistema que através de sinais de rádio emitidos por satélites geoestacionários, são captados por equipamento apropriado, gerando as coordenadas tridimensionais da posição do receptor na superfície terrestre, ou próximo a ela.

Em 1980 o sinal GPS foi liberado para uso civil pelo então presidente norte-americano Ronald Reagan, o que não foi bem recebido pelo Departamento de Defesa Americano, pois poderia ser utilizado com fins militares por nações inimigas, sendo

que já no princípio do sistema ele era capaz de proporcionar ótimo nível de acurácia (Figueirêdo, 2005). Por este motivo o Departamento de Defesa implantou propositalmente um erro exagerado no sistema, que causava um deslocamento no posicionamento do receptor GPS de uso civil, isso aumentava o custo dos equipamentos consideravelmente, pois exigia um sistema de correção diferencial, foi somente no dia 1º de maio de 2000 que o gerador de erro no sinal foi desligado, assim popularizando os receptores GPS de baixo custo (MOLIN; AMARAL; COLAÇO).

Há controvérsias entre autores quanto ao ano de liberação para uso civil do sinal GPS, mas há um consenso geral de que esta liberação foi um marco para a AP e vários setores da sociedade civil. “Outro fato que inegavelmente influenciou a efetiva implementação das práticas de agricultura de precisão (AP) foi o surgimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), que passou a oferecer sinal para uso civil em torno de 1990” (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Em razão da alta acurácia proporcionada e do alto nível tecnológico embutido nos aparelhos receptores GPS, uma grande comunidade de usuários do sistema, surgiu dos mais variados segmentos do meio civil, (navegação, posicionamento geodésico, agricultura, meio ambiente, controle de frotas, etc.) (FIGUEIRÊDO, 2005, p.3).

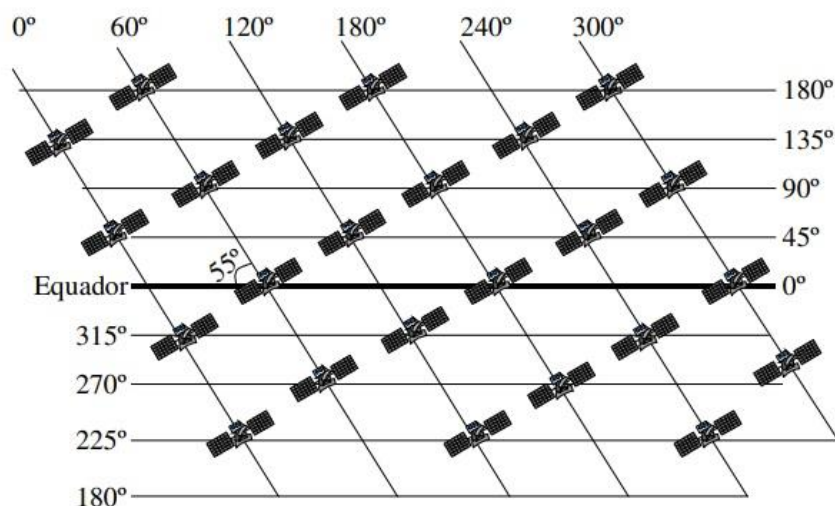
A combinação destes fatos relacionados a tecnologia GPS, fez surgir um mercado direcionado a AP, promovendo o surgimento de empresas de consultoria, produtos e serviços, que aceleraram o desenvolvimento e estabeleceram duas frentes associadas a AP até os dias atuais, que são a aplicação de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis baseada no estudo por amostragem georreferenciada, e a utilização da direção automática em máquinas com mapeamento de produtividade via GPS.

3.1.1 Funcionamento da tecnologia GPS

O funcionamento do sistema GPS é dividido em 3 segmentos: O Segmento Espacial, que é composto pelo sistema de comunicação de dados em uma constelação de 32 satélites, sendo 24 em uso ativo distribuídos conforme mostra a **Figura 1**, e 8 usados como backup, estes últimos podem ser acionados caso uma ou mais unidades apresentem problemas; o Segmento de controle, que são bases

terrestres onde se situa toda inteligência e controle do sistema GPS; e o Segmento de Usuários, que contempla todos receptores, como também as tecnologias e soluções que se utilizam do sinal GPS (FIGUEIRÊDO, 2005).

Figura 1 – Distribuição orbital dos satélites GPS.



. Fonte: (Figueirêdo, 2005, p.4)

Como mostrado na **Figura 1**, os 24 satélites ativos são distribuídos em 6 órbitas elípticas, com planos orbitais inclinados em 55° em relação a linha do equador com espaçamento longitudinal de 60° , são posicionados 4 satélites em cada órbita com defasagem de 90° , estando a uma altitude entorno de 20.200 km, viajando com velocidade média de 14.000 km/h, o período orbital é de 11 horas e 58 minutos do tempo solar médio. Nesta configuração da constelação de satélites garante que no mínimo 4 satélites sejam visíveis 24 horas por dia em qualquer ponto da superfície do planeta (FIGUEIRÊDO, 2005).

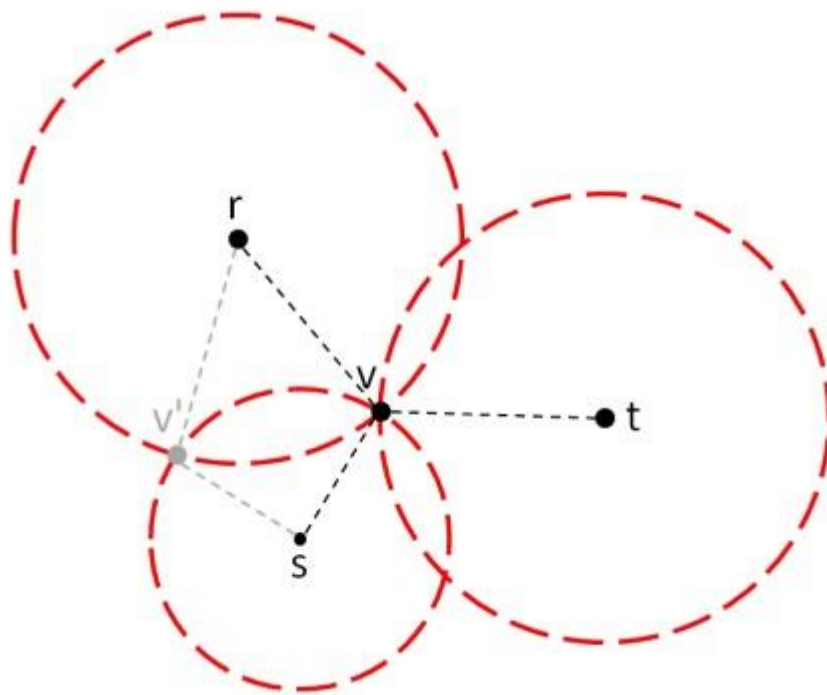
3.1.2 Posicionamento e trilateração

Posicionamento consiste na determinação da posição de um ponto em relação a um segundo ponto denominado referência. Apesar das mais altas tecnologias utilizadas nos sistemas GPS, o posicionamento global por satélite segue princípios relativamente simples, os cálculos utilizados para determinar a posição de um determinado ponto na superfície da terra, ou próxima a ela, fundamenta-se nas

distâncias entre o receptor GPS e os satélites na órbita terrestre, ou seja, determinamos a posição de um receptor GPS na terra medindo a distância que este receptor está, em relação a cada satélite de um grupo de satélites, sendo esses os pontos de referência precisa, já que sua localização é conhecida (ZANOTTA; CAPPELLETO; MATSUOKA, 2011).

É chamado de trilateração eletrônica a técnica que rege o posicionamento GPS, e seu princípio é a determinação das distâncias de um ponto desconhecido em relação a 3 outros pontos em posições conhecidas, com estes dados é possível determinar a posição do ponto desconhecido. A **Figura 2** exemplifica uma trilateração em duas dimensões.

Figura 2 – Exemplo de trilateração 2D.



Fonte: (ASSIS, 2013, p.15)

A **Figura 2** demonstra um caso de trilateração 2D, observando-a é possível identificar que tendo apenas os pontos *r* e *s* com suas posições conhecidas, e também conhecendo as suas distâncias em relação ao ponto *v*, que tem posição desconhecida, ao traçar círculos tendo como raio estas distâncias, terão duas posições possíveis para o ponto *v*, no entanto, se tiver um terceiro ponto com posição conhecida e distância do ponto *v* também conhecida, traçando-se o terceiro círculo,

somente existirá uma intersecção em que os três círculos se cruzariam, então, este ponto de intersecção é a posição correta do ponto **v** (ASSIS, 2013).

No exemplo da **Figura 2** para melhor entendimento foi demonstrado uma trilateração em um plano de duas dimensões, para o posicionamento no sistema GPS é considerando a trilateração 3D, onde os círculos são substituídos por esferas.

3.1.3 Cálculo de posição

Cada satélite que compõe a constelação do sistema GPS emite sinais de rádio, são duas portadoras geradas a partir da frequência fundamental de 10,23MHz, que é multiplicada por 154 e 120, dando origem as frequências de 1575,42 MHz e 1227,60MHz, com comprimentos de onda na ordem de 19cm e 24cm respectivamente. Neste método a distância é medida pela diferença de fase entre os dois sinais a cada instante no receptor GPS.

No método mais utilizado nos sistemas GPS, uma portadora modulada emitida pelo satélite carrega os dados de identificação e posição do satélite, como também a informação temporal do exato momento do envio desta mensagem, os satélites são equipados com relógios atômicos que tem sua medida de tempo gerada por pulsos dos átomos de Césio e Rubídio, “O sistema internacional de unidades SI define a duração de um segundo como sendo igual a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondentes à transição entre dois níveis hiperfinos de um átomo de Césio 133 no estado fundamental” (ZANOTTA; CAPPELLETO; MATSUOKA, 2011, p.4).

Os relógios dos receptores GPS precisam estar sincronizados com os relógios dos satélites, do contrário, uma pequena diferença temporal causaria um grande erro posicional. Devido aos custos elevados dos relógios atômicos, o que inviabilizaria a popularização do sistema GPS, obteve-se como solução, que esta sincronia entre os relógios dos satélites e o relógio dos receptores, seria feita pela base de controle terrestre levando-se em conta outros fatores como a teoria da relatividade, “A teoria da relatividade geral prevê que o tempo na superfície passará mais devagar em relação ao tempo dos satélites, devido à diferença do potencial gravitacional existente entre a superfície terrestre e a região onde os satélites orbitam” (ZANOTTA; CAPPELLETO; MATSUOKA, 2011, p.4).

Para que um receptor GPS obtenha sua posição no globo terrestre é necessário saber a distância do ponto onde se encontra até os pontos conhecidos, que no caso são as posições de no mínimo 4 satélites, para encontrar essa distância, é feito um cálculo relativamente simples, representada pela equação $\Delta S = V_m \cdot \Delta t$ (TIMBÓ, 2000).

As ondas de rádio viajam no espaço a uma velocidade conhecida, a velocidade da luz, que é próximo a 300.000 km/s (V_m), o receptor calcula o tempo de transito (Δt) da mensagem enviada pelo satélite, com base na informação temporal recebida do relógio atômico comparada a seu próprio relógio, essa defasagem multiplicada pela velocidade da luz tem como resposta a distância entre satélite e receptor (ΔS).

Um exemplo de cálculo da distância real entre quatro satélites e receptor é demonstrado por Nord (1997), no livro *The mathematics of the global positioning system*, onde um receptor GPS detecta sinais de quatro satélites diferentes, a partir disto, determina sua posição no globo terrestre. A **Tabela 1** traz as coordenadas cartesianas, em metros, da posição de cada satélite.

Tabela 1 – Efemérides satelitais.

	X	Y	Z
Satélite 1	$1,877191188 \times 10^6$	$-1,064608026 \times 10^7$	$2,428036099 \times 10^7$
Satélite 2	$1,098145713 \times 10^7$	$-1,308719098 \times 10^7$	$2,036005484 \times 10^7$
Satélite 3	$2,459587359 \times 10^7$	$-4,336916128 \times 10^6$	$9,090267461 \times 10^6$
Satélite 4	$3,855818937 \times 10^6$	$7,251740720 \times 10^6$	$2,527733606 \times 10^7$

Fonte: (ALVES, 2006, p.10)

Os dados apresentados na **Tabela 1** são conhecidos como efemérides, cada satélite envia sua posição exata no instante da transmissão de dados para os receptores GPS, esta posição é relacionada a um sistema fixo de coordenadas ortogonais.

O sinal de rádio emitido pelos satélites transporta as informações de sua posição espacial e também a hora que a mensagem foi enviada, há uma diferença entre o tempo que o pacote de dados é emitido e o tempo que foi recebido, este intervalo temporal fica abaixo de um décimo de segundo como mostra a **Tabela 2** (ALVES, 2006).

Tabela 2 – Lapso temporal entre transmissão e recepção dos dados GPS.

Satélite 1	Satélite 2	Satélite 3	Satélite 4
0,08251731391	0,07718558331	0,06890629029	0,07815826940

Fonte: (ALVES, 2006, p.10).

Os valores apresentados na **Tabela 2** representam os lapsos de tempo registrados pelo receptor GPS entre a transmissão e a recepção do sinal de cada satélite.

O receptor GPS calcula sua distância relativa ao satélite emissor, multiplicando o tempo que o sinal de rádio levou do satélite até o ele, pela velocidade deste sinal, que é igual a velocidade da luz (aproximadamente $2,99792458 \times 10^8$ m/s). As distâncias entre o receptor e cada satélite estão dispostas na **Tabela 3** (NORD, 1997).

Tabela 3 – Distâncias entre receptor GPS e Satélites.

Satélite 1	Satélite 2	Satélite 3	Satélite 4
24.738.068m	23.139.655m	20.657.586m	23.431.259m

Fonte: (NORD, 1997, p.127).

Com as distâncias apresentadas na **Tabela 3**, é possível escrever as equações reduzidas das superfícies esféricas imaginárias, com seus centros sendo o respectivo satélite, e com raio igual a distância calculada, a intersecção onde a superfície das quatro esferas imaginárias se cruzam é o ponto onde se encontra o receptor GPS na superfície terrestre (ALVES, 2006).

$$S1: (x - 1,8 \times 10^6)^2 + (y + 10,6 \times 10^6)^2 + (z - 24,2 \times 10^6)^2 = 611,9 \times 10^{12}$$

$$S2: (x - 10,9 \times 10^6)^2 + (y + 13,0 \times 10^6)^2 + (z - 20,3 \times 10^6)^2 = 535,4 \times 10^{12}$$

$$S3: (x - 24,5 \times 10^6)^2 + (y + 4,3 \times 10^6)^2 + (z - 9,0 \times 10^6)^2 = 426,7 \times 10^{12}$$

$$S4: (x - 3,8 \times 10^6)^2 + (y - 7,2 \times 10^6)^2 + (z - 25,2 \times 10^6)^2 = 549,0 \times 10^{12}$$

Desenvolvendo os quadrados das equações reduzidas, chegaremos nas equações gerais que formam o sistema linear:

$$18,2x - 4,88y - 7,84z - 76,52 \times 10^6 = 0$$

$$45,43x + 12,61y - 30,38z - 185,23 \times 10^6 = 0$$

$$3,95x + 35,79y + 1,99z - 62,95 \times 10^6 = 0$$

Sistema linear cujo a solução única é:

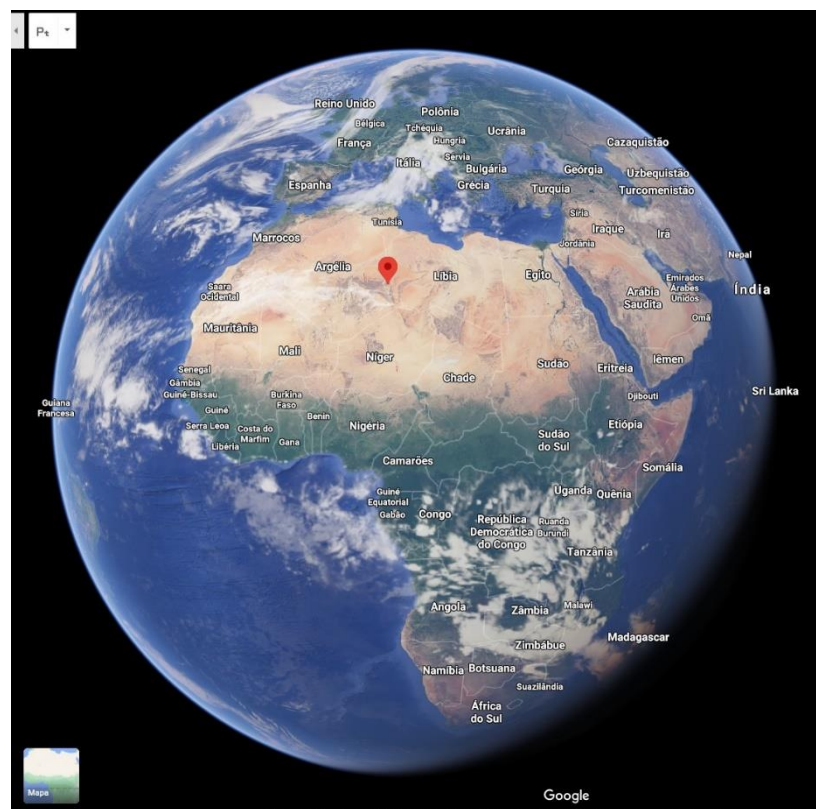
$$x = 0,5660 \times 10^7, y = 0,0978 \times 10^7 \text{ e } z = 0,2775 \times 10^7.$$

Considerando o raio da terra a medida de $6,378164 \times 10^6$ m, o ponto dado pelas coordenadas cartesianas pertencente simultaneamente as quatro superfícies esféricas imaginárias calculadas é:

Latitude: $\theta = 26^\circ$ N; Longitude: $\varphi = 10^\circ$ E; Elevação: 919,71 metros.

Verificando a posição dada por estas coordenadas em um atlas geográfico, tem-se que o receptor GPS está localizado na cidade de Djanet, fronteira entre Argélia e Líbia como mostra a **Figura 3** (ALVES, 2006).

Figura 3 – Coordenada geográfica Google Earth.



Fonte: (GOOGLE, 2020).

Na **Figura 3** é mostrado através da ferramenta *Google Earth* o ponto geográfico obtido nos cálculos de coordenadas GPS.

3.1.4 Benefícios da tecnologia GPS para a AP

Como visto anteriormente, há alguns autores com literaturas publicadas nos meados do ano 2000 que definiam a AP como agricultura guiada por georreferenciamento, pois foram os sistemas de orientação GPS os grandes agentes impulsionadores da AP, espalhando-a por todo o mundo, permitindo um aumento significativo na produtividade e maior preservação ambiental, tamanha a importância do sistema GPS, que máquinas colheitadeiras destinadas a AP são equipadas com sensores para medir a umidade da produção em tempo real, sensores para medir a densidade e massa da produção colhida a cada parcela, sensores de velocidade da colheita, entre outros, para que com os dados levantados, seja possível elaborar os mapas de variabilidade espacial da produtividade do talhão, sem as informações do GPS para conectar estes dados a suas respectivas posições geodésicas, esta análise perderia parte substancial do seu valor, ou aumentaria em muito o custo econômico e tempo para a produção destes mapas (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Os sistemas de orientação por satélite hoje são indispensáveis para a adequada aplicação dos princípios da agricultura de precisão, uma vez que é necessário se determinar, com a maior acurácia possível, a posição das máquinas e implementos agrícolas no campo (EMBRAPA, 2015, p.57)

Não seria exagero dizer que a tecnologia GPS é ainda hoje, a mais importante dentre todas tecnologias atualmente utilizadas na AP, será visto mais a frente que grande parte das novas soluções tecnológicas utilizadas na AP, mantém o GPS incorporado aos seus sistemas.

3.2 IMAGEAMENTO GEORREFERENCIADO

O imageamento consiste na obtenção de imagens da área a ser estudada, para isto, várias técnicas de captura são utilizadas, como imagens geradas por sensores a bordo de veículos terrestres, satélites, veículos aéreos tripulados ou não, balões dirigíveis e até mesmo pipas. Chamado de sensoriamento remoto, por adquirir dados

mesmo a grandes distâncias do objeto de estudo, estas imagens geradas passam pelo processo de espectroscopia ótica, dando origem a vários índices definidos por diferentes comprimentos de ondas, sendo mais utilizado o NDVI (*Normalized Difference Vegetative Index*) (INAMASU et al., 2011).

3.2.1 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Este índice é utilizado para medição e monitoramento do vigor de crescimento de plantas, cobertura vegetal e densidade de biomassa com dados obtidos por análise multiespectral de imagens. O NDVI é o índice quantitativo referente a biomassa mais utilizado no mundo, usado tanto na preservação ambiental quanto na agricultura, este índice é obtido através da razão entre a diferença e a soma de duas bandas espectrais, representado pela seguinte equação (INAMASU et al., 2011):

$$NDVI = \frac{IV - V}{IV + V}$$

Fonte: (BERNARDI, 2019, p.16)

Sendo *IV* a banda do infravermelho próximo e *V* a banda do vermelho. O índice NDVI varia entre -1 a 1, sendo que quanto mais próximo a 1, maior é a densidade da cobertura vegetal (biomassa verde). O zero (0) representa valor aproximado para superfícies não vegetadas. E os valores negativos estão associados com espelhos d'água (BERNARDI, 2019).

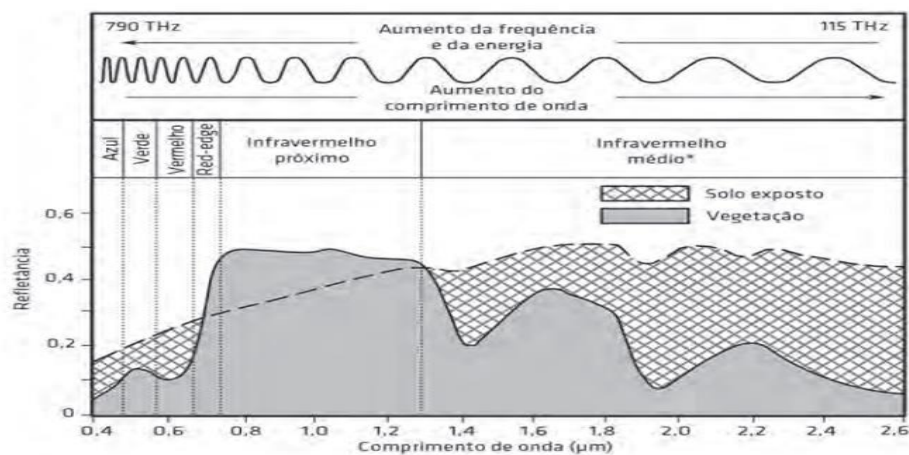
As bandas do infravermelho próximo e do vermelho tem grande importância para o estudo das vegetações naturais e agrícolas devido as propriedades particulares das vegetações quando expostas a radiação eletromagnéticas, a vegetação utiliza a energia luminosa como ingrediente no processo de fotossíntese em conjunto com a água absorvida do solo e o dióxido de carbono extraído do ar, assim produzindo moléculas de açúcar, o subproduto deste processo são moléculas de água e oxigênio liberadas na atmosfera, para que isto ocorra, certos comprimentos de onda da radiação eletromagnética são absorvidos pela planta, e usados como combustível para o processo (COELHO; BRITO, 2007).

Para entender como a análise NDVI é processada, é preciso compreender alguns fenômenos que acontecem com a incidência das ondas eletromagnéticas

sobre as vegetações, na medida que a luz atinge as folhas mais superiores de uma planta, três situações são possíveis, na Reflectância a luz pode ser refletida de volta para a atmosfera, onde pode-se captá-la através de sensores ou câmeras, também pode ocorrer o fenômeno de Absortância onde a folha absorve esta energia e também pode ocorrer a transmitância, onde a onda é transmitida através das folhas para camadas de folhas inferiores da mesma planta ou de outras plantas, ou até mesmo para o solo. Na maioria dos casos os três fenômenos acontecem ao mesmo tempo, com variações determinadas pela densidade da biomassa (BATRES, 2011).

As plantas se adaptaram para absorver apenas o necessário e refletir os raios que não são foto-sinteticamente ativos, a vegetação verde e sadia absorve ondas no espectro de luz visível nas bandas do azul e do vermelho, e refletem a banda do verde, assim como refletem as ondas referentes a faixa do infravermelho próximo como é possível analisar no gráfico apresentado na **Figura 4**.

Figura 4 – Assinatura espectral.



Fonte: (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015, p.122)

Um melhor entendimento sobre a resposta espectral pode ser conseguido observando o gráfico da assinatura espectral típica de uma vegetação verde e sadia, como também do solo exposto representado na **Figura 4**, esse gráfico mostra a intensidade relativa com a qual a vegetação e o solo refletem a radiação nos diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Observando o gráfico é possível constatar que a vegetação reflete pouco a energia na região espectral da luz visível, pois a clorofila presente nas folhagens absorve fortemente a luz nos comprimentos de

onda na faixa da luz azul e na faixa da luz vermelha, e reflete mais na faixa da luz verde, por isso o olho humano percebe a vegetação nesta coloração (TUCKER, 1978).

3.2.2 Sensores RGB

São os mais comuns, utilizados em câmeras fotográficas, câmeras de celulares, câmeras de segurança e filmadoras em geral, estes sensores tem capacidade de captar comprimentos de onda fora da chamada luz visível, que fica entre 400nm e 700nm do espectro, porem são utilizados filtros nestes sensores para que trabalhem nestas faixas espectrais, pois o objetivo destas câmeras é captar somente objetos que o olho humano é capaz de enxergar, a sigla RGB se refere as cores vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) respectivamente (BARBOSA et al., 2015).

Na AP estas câmeras são utilizadas para imageamento aéreo com a finalidade de mapear a área plantada, monitorar a lavoura, avaliar a qualidade do plantio, mapeamento das falhas de plantio, contagem de plantas, inspeção de danos à lavoura causados por inundações, queimadas ou ventanias.

3.2.3 Sensores multiespectrais

São câmeras compostas por múltiplos sensores, diferenciando fidedignamente as bandas espectrais capturadas, são as mais utilizadas por profissionais que oferecem serviços de imageamento aéreo para agricultura, porém estas câmeras tem um custo elevado, fazendo com que alguns usuários optem por adquirir câmeras RGB modificando o filtro do sensor de captura de luz, para assim trabalhar na faixa espectral do infravermelho, esse recurso compromete a qualidade das informações adquiridas, pois estes filtros captam dados em diferentes comprimentos de onda, contaminando as informações de reflectância de uma banda para outra.

As câmeras multiespectrais são comumente utilizadas na avaliação de danos causados por ataques de pragas e doenças; mapeamento de zonas de manejo, detecção de infestação por ervas daninhas, identificação de estresse nutricional, estimativas de densidade de biomassa e produtividade agrícola (SENAR, 2018).

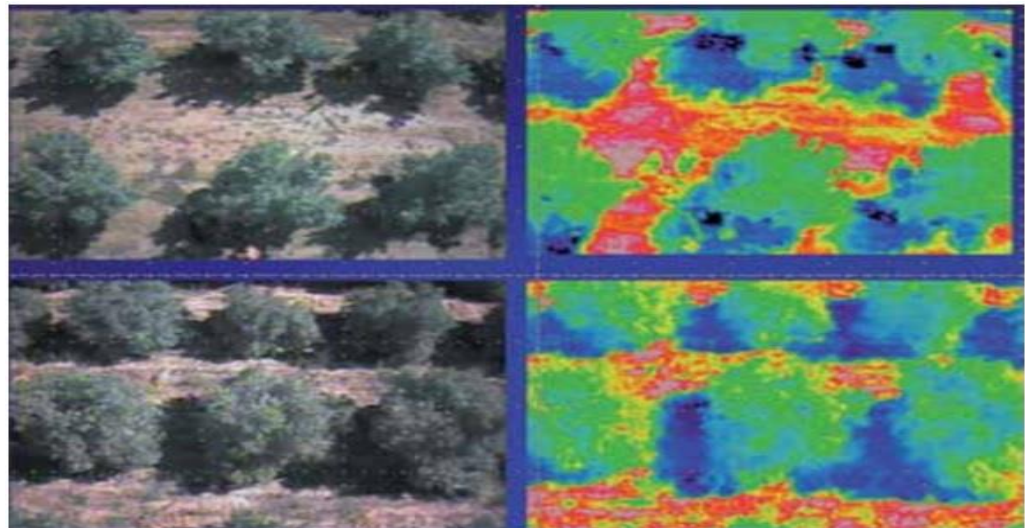
3.2.4 Sensores hiperespectrais

São câmeras com mais de 40 bandas espectrais, estes sensores são capazes de detectar e mapear manchas no solo, erosões, além de testar e avaliar índices de vegetação, são capazes de identificar variados tipos de anomalias nas folhas e frutos (SENAR, 2018).

3.2.5 Sensores térmicos

Também no padrão câmera, este sensor fornece estimativas da temperatura da superfície a qual está direcionada, estas câmeras térmicas são utilizadas também para detectar o teor de umidade do solo e a eficiência de sistemas de irrigação. Imagens obtidas por este tipo de câmera são utilizadas em diagnósticos precoces de carência nutricional dos vegetais como mostra a **Figura 5**, porém não permite diagnosticar qual nutriente está causando alterações metabólicas na planta (BARBOSA et al., 2015).

Figura 5 – Imagem térmica



Fonte: (INAMASU et al., 2014, p.123).

Na **Figura 5** pode ser observada uma imagem no espectro visível da luz, e a direita a mesma imagem na faixa termal, nas imagens térmicas não há nenhum tipo de processamento por software, apenas o mapeamento da pseudo cor, diferenciando

os níveis de temperatura da imagem, possibilitando identificar estresses hídricos e provocados por deficiências e doenças.

3.2.6 Software para análise de imagens

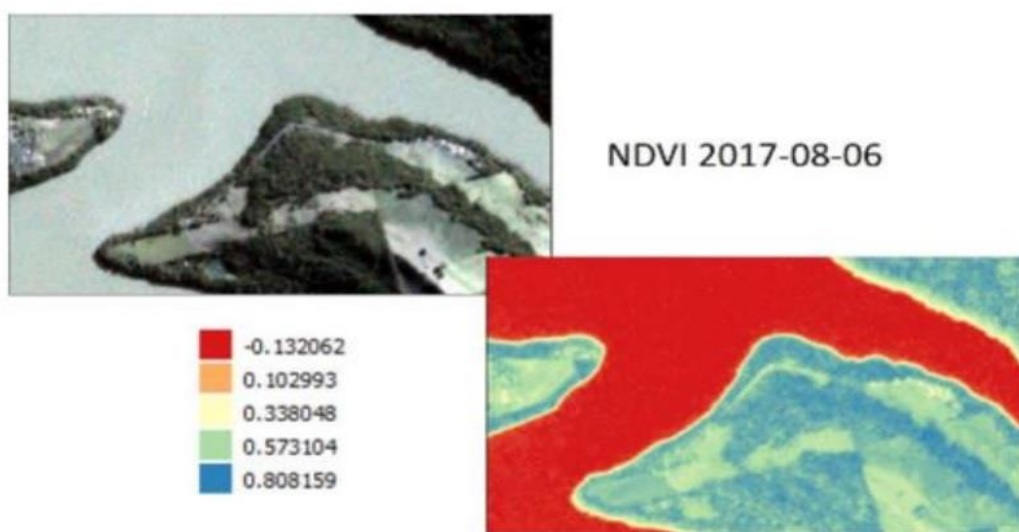
Para interpretação das imagens obtidas do plantio através das câmeras digitais, é necessário utilizar-se de softwares dedicados ao tratamento de imagens, existem ferramentas específicas para a agricultura, que extraem o máximo de dados úteis destas imagens, assim dando ao produtor informações de qualidade, para definir quais ações devem ser tomadas afim de obter maior produtividade. Existem softwares comercializados e gratuitos com esta finalidade (BARBOSA et al., 2015).

Dentre os programas de tratamento de imagens georreferenciadas mais utilizados está o QGIS, segundo o próprio site do grupo desenvolvedor deste sistema, o QGIS trata-se de um software livre, com código fonte aberto, licenciado segundo a Licença Publica Geral (GNU), o sistema oferece inúmeras funcionalidades nativas, e centenas de ferramentas criadas por usuários do mundo inteiro no formato PLUG-IN, codificados nas linguagens C++ e Python.

No software QGIS é possível visualizar combinações de dados vetoriais e rasterizados em 2D e 3D, em diferentes formatos e projeções, é possível compor mapas via navegador QGIS, criar, editar, gerir e exportar dados obtidos, o programa possui mais de 400 módulos de análise de dados e índices, inclusive o NDVI como pode-se ver na **Figura 6**.

O *software* possibilita também a contagem de mudas, identificação de diferentes tipos de vegetação através de plugin específico, medições de áreas e perímetros, demarcações de limites, mapas de relevo da área estudada que permite simulação 3D de alagamentos por densidade de chuva, identificando os prováveis trajetos e pontos de acúmulo de água, o que possibilita identificar melhores locais para açudes e reservatórios para acúmulo de recursos hídricos, está disponível também de forma gratuita, um banco de imagens georreferenciadas geradas por satélite e inúmeras outras soluções em informação geográfica.

Figura 6 – Aplicação do índice NDVI com software QGIS



Fonte: (BERNARDI, 2019, p.30).

Na comparação entre as imagens apresentadas na **Figura 6**, é possível ver os resultados da aplicação do índice NDVI. Os valores obtidos próximos a 1 representam as áreas com maior densidade de vegetação, já os valores negativos apontam superfícies alagadas como espelhos d'água, e as áreas com valores que se aproximam de zero são pertinentes a solo exposto e edificações (BERNARDI, 2019).

3.2.7 Benefícios do imageamento georreferenciado

Inegavelmente, o objetivo do produtor agrícola é potencializar ao máximo a produtividade em suas propriedades com o menor custo possível, ao adotar a AP como método para alcançar este objetivo, orbitam-se também benefícios ambientais, como menor agressão ao ambiente pela redução do uso de agro defensivos, preservação de recursos hídricos com sua utilização balanceada, nutrição adequada evitando a degradação do solo, mas para isso é necessário gerar a principal ferramenta proporcionada pela AP, o produto final de toda metodologia aplicada, o Mapa de Produtividade, é nele que está toda informação que será utilizada na gestão de todo processo agrícola levando-se em conta a variabilidade das lavouras (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

O imageamento é parte importantíssima do mapa de produtividade é nele que são identificadas as posições geográficas e distribuídas as informações coletadas por sensores, testes laboratoriais de amostras, variabilidade da produção no tempo, e também são as imagens captadas durante o preparo e desenvolvimento da lavoura, que servem como indicadores de avanço ou retrocesso do método aplicado, sendo possível detectar doenças presentes nas plantas, manchas na cultura, falhas de germinação do plantio, possibilitando ao agricultor agir de forma rápida e assertiva.

3.3 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (RPAS, do inglês *Remotely Piloted Aircraft Systems*), no Brasil são massivamente conhecidos como Drones, devido a utilização do termo pela mídia em geral e também pelos usuários do equipamento. “Embora seja aceito, não tem amparo técnico ou definição na legislação existente. A sigla RPA, atualmente, tem sido a preferida pela comunidade, sobretudo pelos órgãos reguladores” (SENAR, 2018, p. 9).

A abrangência da utilidade dos VANT cresce a cada dia, pois são criadas soluções das mais diversas utilizando esta tecnologia. Um exemplo é a entrega de pães através de um VANT no município de São Carlos na cidade de São Paulo, são também usados para monitoramento de segurança e monitoramento ambiental, mapeamento de sítios arqueológicos, combate a incêndios florestais, como armas de guerra, transporte de órgãos para transplantes, contagem de animais na pecuária, controle de aglomerações, policiamento, e inúmeras outras funções. Na AP os VANT têm enorme utilidade no imageamento aéreo, detecção de pragas e doenças, pulverização para controle de pragas, monitoramento da propriedade, e aplicação de insumos com taxa variada (BARCELOS, 2017).

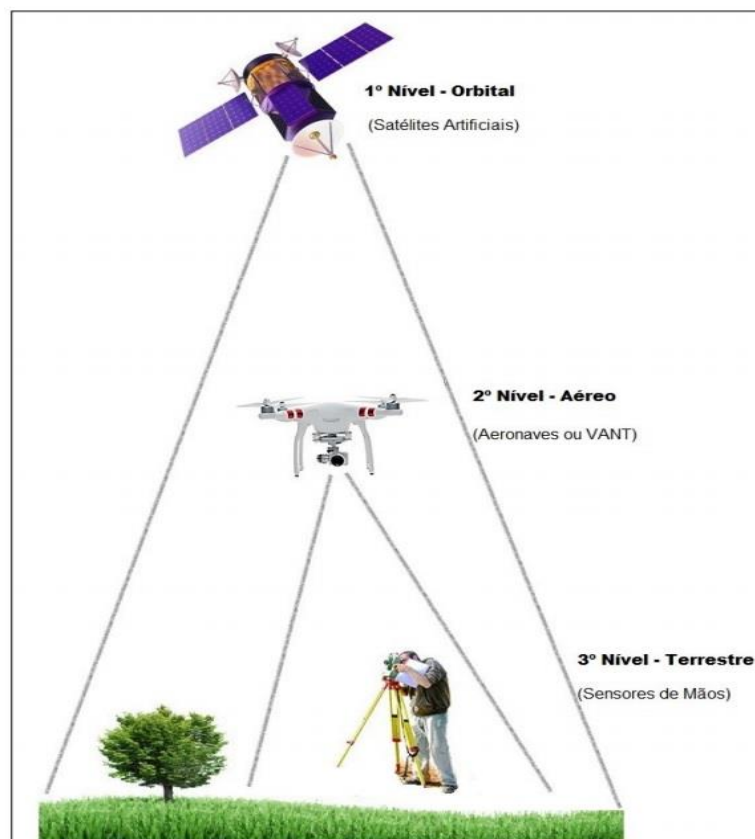
Segundo MOLIN (2000) os usuários e pesquisadores têm como verdade que o mapa de colheita é a informação mais completa, e que dela é possível extrair dados que mostram a real variabilidade das lavouras, porém estes dados são levantados por sensores medidores de fluxo de sólidos no momento da colheita de grãos, e essa medição carrega uma percentual de erro devido as condições dinâmicas do campo.

“É sempre necessário um tratamento preliminar dos dados antes de transforma-los em um mapa que vá servir para análise e tomada de decisão” (MOLIN, 2000, p.1)

Gerar mapas de produtividade somente com dados obtidos dos mapas de colheita, permite ao produtor tomar medidas corretivas somente em uma próxima safra, pois estes dados são obtidos somente no momento da colheita, impossibilitando correções no início e durante a cultura, é aí que os sensores remotos, através das fotografias aéreas, imagens de satélites e da videografia agregam valor a AP (Shiratsuchi et al, 2014).

Através do sensoriamento remoto, dependendo do método escolhido, é possível adquirir imagens em tempo real, a qualquer momento, permitindo tomadas de decisão em curto espaço de tempo, o que pode salvar a safra de uma lavoura com análises preditivas, ou amenizar prejuízos detectando prematuramente infestações de pragas, doenças, estresse ou deficiências hídricas. O distanciamento do sensor em relação a superfície estudada tem variações, que são classificadas em três níveis conforme mostra a **Figura 7**.

Figura 7 – Níveis da escala de sensoriamento remoto.



Fonte: (BARCELOS, 2017, p.16).

A **Figura 7** apresenta de forma gráfica os níveis de distanciamento dos sensores remotos, o 1º nível é o orbital, os sensores ficam a bordo de satélites artificiais na órbita do planeta, o 2º nível é o aéreo, composto de sensores a bordo de aeronaves tripuladas ou não, e por último o 3º nível, é o nível terrestre, composto por sensores montados em laboratórios, ou em bases e veículos terrestres (BARCELOS, 2017).

3.4 IMAGEAMENTO AÉREO COM VANT

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), as primeiras imagens aéreas utilizadas na agricultura eram provenientes de sensores remotos a bordo de satélites artificiais, essa técnica ainda é amplamente utilizada, imagens de média e baixa resolução são disponibilizadas gratuitamente, já imagens de alta resolução tem um custo elevado, fazendo que parte dos produtores que necessitavam de imagens melhor definidas, acabassem contratando aeronaves tripuladas como helicópteros para o imageamento aéreo das lavouras.

Com a popularização dos VANT/*Drones*, inúmeros serviços de imageamento aéreo com estas aeronaves não tripuladas começaram a ser oferecidos, com custos mais atrativos e alguns benefícios frente as imagens de satélites, que devido a seu período orbital, possuem baixa periodicidade na aquisição de dados, dependem da ausência de nuvens sobre o ponto de interesse no momento de sua passagem sobre a área, tendo como vantagem sobre os VANT somente o seu distanciamento do solo, que possibilita a amostragem de extensas e contínuas porções de superfície terrestre (LONGHITANO, 2010).

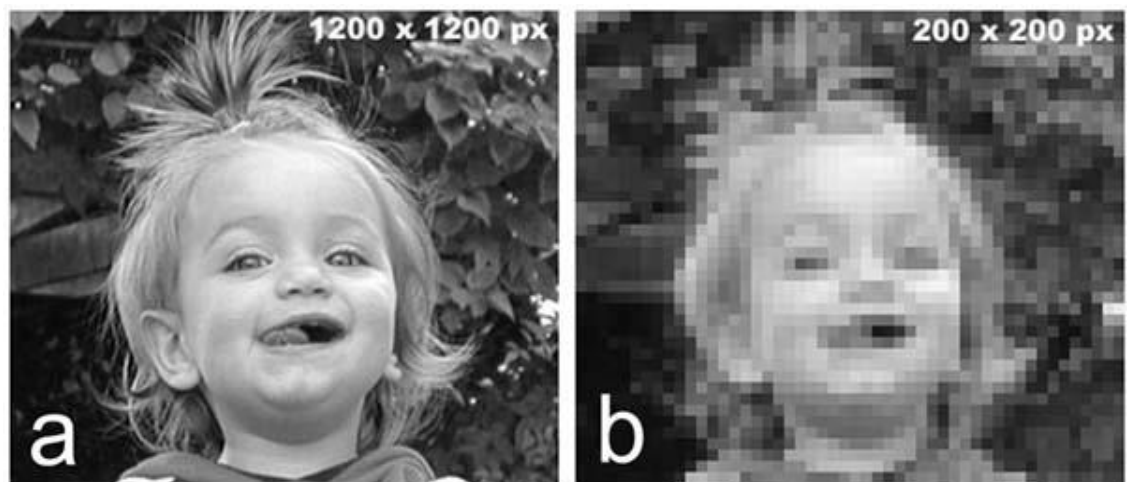
Outro ponto favorável na utilização dos VANT para o imageamento aéreo, é a relação de proximidade com o solo, equipados com câmeras de alta resolução obtém-se ótimas imagens mesmo a alturas consideráveis, que se após análise dos dados obtidos seja detectada alguma anomalia a ser investigada, através de controle manual ou plano de voo preestabelecido aproxima-se o VANT do ponto a ser observado, obtendo imagens em altíssima definição, que são capazes de detectar detalhes precisos das folhagens das plantas (MEDEIROS et al, 2008).

As câmeras digitais são equipadas por um sensor CCD, este dispositivo eletrônico é composto por milhares de pequenas células chamadas de detetores, que

são sensíveis a radiação eletromagnética. Com disposição matricial em linhas e colunas, quando a luz de uma imagem é refletida sobre o sensor, a área dessa imagem é dividida pelo número de detetores disponíveis no sensor CCD, cada detetor é excitado gerando uma pequena carga elétrica, proporcional ao brilho e comprimento de onda de cada parte desta imagem projetada sobre ele.

Estas diferentes cargas elétricas são convertidas em dados e armazenados em uma memória, ao serem recompilados através de protocolos apropriados, a imagem anteriormente capturada é exibida em telas ou monitores, num formato de uma matriz de linhas e colunas equivalente ao sensor CCD, onde cada célula dessa matriz é denominada pixel. A **Figura 8** traz um exemplo para o melhor entendimento sobre resolução de imagens digitais (INPE, 1999).

Figura 8 – Resolução em imagem digital.



Fonte: (IMPE, 1999).

A **Figura 8** no quadro **b** mostra uma imagem digital, com resolução de 1mm^2 de área da imagem por pixel, capturado por um sensor CCD com matriz quadrada de 200×200 detetores, já no quadro **a** é perceptível a maior definição proporcionada por um sensor CCD de 1200×1200 detetores (INPE, 1999).

Existem empresas que prestam serviços de fornecimento de imagens comerciais do espaço e sensoriamento remoto, a *DigitalGlobe* é uma destas empresas, tendo como clientes o Google e até mesmo a NASA, para fins comparativos de resolução de imagens, a **Figura 9** mostra duas fotografias de uma mesma área,

sendo a da esquerda captada por um VANT modelo DJI 3 *Standard*, e a imagem da direita captada por um dos satélites artificiais da empresa DigitalGlobe.

Figura 9 – Comparação entre imagens obtidas por VANT e satélite.



Fonte: (BARCELOS, 2017, p.36).

As imagens apresentadas na **Figura 9** demonstram as resoluções obtidas por diferentes métodos de posicionamento dos sensores remotos, a imagem gerada pelo sensor remoto a bordo do satélite artificial, foi capturada com altitude relativa de 100m do solo, para fins de igualdade comparativa, a imagem gerada pelo VANT foi captada com seu posicionamento também a altura de 100m do solo. A resolução obtida através do imageamento por satélite artificial é de 15m² por pixel, enquanto a resolução obtida pelo VANT é de 3cm² por pixel (BARCELOS, 2017).

3.5 PULVERIZAÇÃO DE LAVOURAS UTILIZANDO VANT

O processo de pulverização agrícola tem por objetivo a aplicação de agro defensivos antes e após a semeadura da cultura, visando o controle de ervas daninhas, patógenos e pragas, como objetivo tem-se o controle destes agentes biológicos. A aplicação destes químicos inicialmente era feita utilizando-se bombas pulverizadoras manuais, o que expunha o trabalhador diretamente a ação destes produtos (SANTOS; MACIEL, 2006).

Com a mecanização da agricultura, logo desenvolveu-se os tratores pulverizadores, diminuindo significante o tempo de aplicação dos corretivos e defensivos agrícolas.

No entanto, percebe-se que tem sido inevitável que as rodas dos tratores não danifiquem o sistema radicular das plantas e até mesmo seu dossel por onde as mesmas passam. Como exemplo, o pulverizador é utilizado diversas vezes na mesma área para controle de pragas, doenças e erva daninhas, logo, quanto mais passagens do equipamento na área, maiores serão os danos causados à cultura (OLIVEIRA; DALCHIAVON, 2018, p.283).

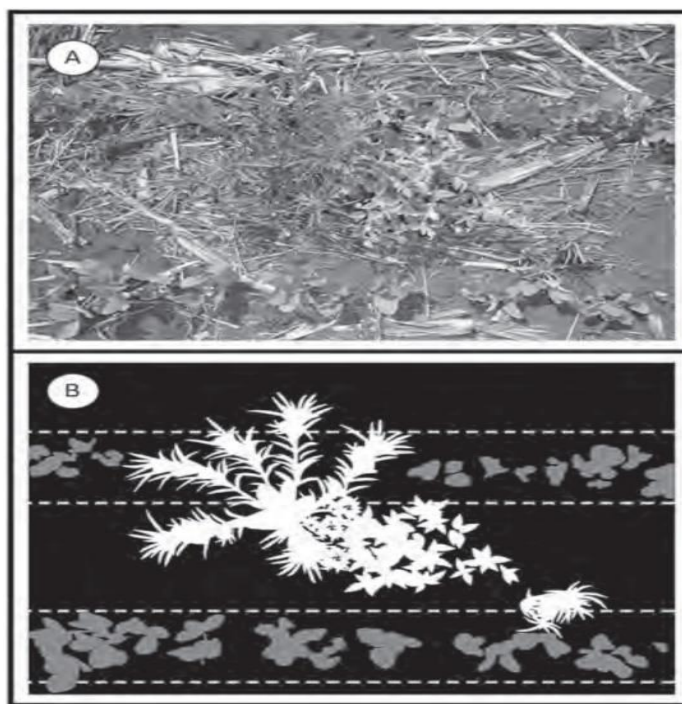
Uma publicação feita pelo Instituto Prohuma de Estudos Científicos, que é um consórcio formado por empresas do setor de pesticidas, estima que 7% da área pulverizada no Brasil é feita por aviões, no entanto este número é contestado pelo Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (Sindag), estimando que na verdade os aviões são responsáveis por pulverizar pelo menos 15% da área que recebe pesticidas no país, sendo os tratores responsáveis por 62% desta área (FAPESP.BR, 2019).

Já é uma realidade no setor agrícola o sensoriamento remoto de alta resolução promovido pela utilização dos VANT no imageamento aéreo, proporcionando a detecção precoce de fatores que possam vir prejudicar o desenvolvimento da lavoura, o que ainda está em testes é a aplicação de VANTS equipados com sensores capazes de diferenciar as ervas daninhas das plantas de cultivo, permitindo a difusão da técnica de pulverização de precisão na aplicação de herbicidas por VANTS, esta técnica já vem sendo aplicada com utilização de maquinário terrestre, no entanto, com perdas por amassamento que variam entre 1% e 5% da produção total (SLONGO et al, 2019).

O comportamento espectral e a arquitetura foliar de plantas daninhas podem ser diferentes aos das plantas cultivadas. Com esse conceito, sistemas de visão artificial têm sido estudados para identificar a presença de plantas daninhas e até mesmo diferenciar as espécies de plantas desse tipo presentes na lavoura para possibilitar o controle localizado e a aplicação de herbicida de forma seletiva (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015, p.138)

A **Figura 10** apresenta a distinção entre plantas daninha e de cultivo através do processamento de imagens com visão artificial, essa tecnologia permite que tratores pulverizadores identifiquem as plantas daninhas, e em seguida, através de bicos pulverizadores de precisão apliquem o caldo herbicida diretamente na inconvenientes.

Figura 10 – Distinção de plantas daninhas e de cultivo por visão artificial utilizadas na pulverização de precisão.



Fonte: (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015, p.138)

Para obter a distinção de espécies de plantas como demonstrado na **Figura 10**, é necessário um banco de dados com características espectrais, contorno de limbo, textura e arquitetura foliar, assim o *software* de processamento de imagens visitaria este banco de dados, identificando e diferenciando cada tipo de planta.

“O conceito é captar a imagem do terreno, processar essas informações, distinguir a planta daninha da cultura, para então emitir sinal ao sistema de aplicação

para abrir ou fechar determinada ponta ou seção da barra de pulverização de herbicidas” (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015, p.138).

“Resultados mostraram que a pulverização pode ser aplicada com precisão milimétrica e a taxa de aplicação de herbicida pode ser reduzida em duas ordens de grandeza, quando comparada às recomendações convencionais” (INAMASU ET AL., 2014, P. 140).

Uma grande quantidade de testes vem sendo aplicados aos métodos de pulverização, os VANT vêm obtendo êxitos nestes testes, pela precisão e autonomia apresentada como mostra a matéria publicada na revista Pesquisa: “No teste, comparou-se a pulverização feita por avião, helicóptero e drone. “A qualidade do drone é superior”, conclui o pesquisador da Embrapa Instrumentação” (FAPESP.BR, 2019, p.76).

Os VANT são programados com o Plano de Voo, onde através de mapeamento georreferenciado com dados de variação nas taxas de aplicação de insumos, o VANT faz um voo autônomo, com quase nenhuma intervenção humana, desviando de obstáculos, levando em consideração os desníveis do relevo da superfície, abastecendo automaticamente o tanque do produto a ser pulverizado e várias outras rotinas necessárias para cumprir o trabalho (BUFFON; SAMPAIO; PAZ, 2018).

3.6 LEGISLAÇÃO SOBRE OS VANT NO BRASIL

Em 2017 a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) aprovou o regulamento especial para utilização de aeronaves não tripuladas. Foram estipuladas regras que devem ser seguidas na operação destas aeronaves de uso corporativo, experimental, comercial ou recreativo.

O regulamento da ANAC prevê que as aeronaves não tripuladas são divididas em categorias de aeromodelos, drones (para fins recreativos), e aeronaves remotamente pilotada (RPA), aeronaves utilizadas em operações corporativas, comerciais ou experimentais. A regra geral diz que aeronaves com mais de 250g somente podem voar em áreas que mantenham no mínimo 30m de distância de terceiros.

No **Quadro 1** está disposta a classificação dos VANT em acordo com as normas da ANAC, que os classifica em três categorias pelo critério de peso máximo de decolagem, empregando exigências de aeronavegabilidade impostas pelo regulamento.

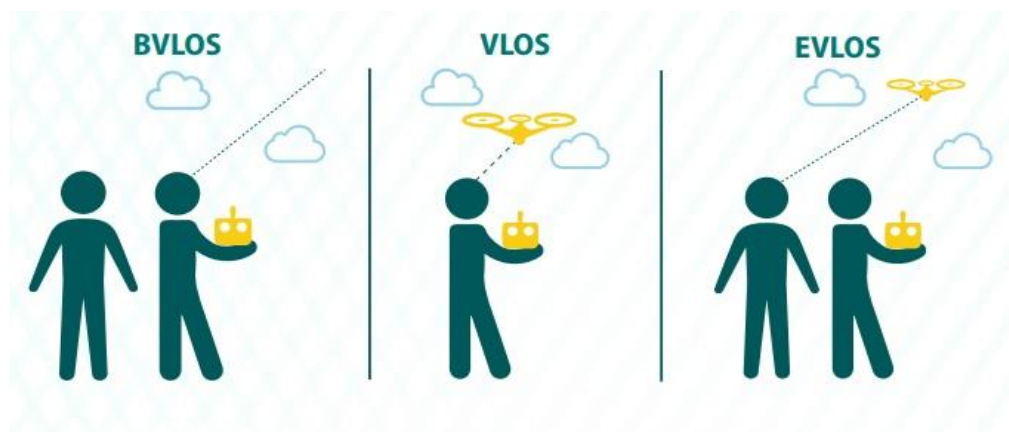
Quadro 1 – Classificação de VANT de acordo com regras da ANAC

Classe	Peso Máximo de Decolagem	Exigências de Aeronavegabilidade
Classe 1	Acima de 150 kg	De acordo com a regulamentação, equipamentos desse porte devem ser submetidos a processo de certificação semelhante ao existente para as aeronaves tripuladas, esses drones devem ser registrados no Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.
Classe 2	Acima de 25 kg e abaixo ou igual a 150 kg	Estabelece os requisitos técnicos que devem ser examinados pelos fabricantes e determinando que a autorização de projeto aconteça apenas uma vez. Esses drones devem ser registrados no (RAB) e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.
Classe 3	Abaixo ou igual a 25 kg	RPA Classe 3 que operem acima da linha de visada (BVLOS) ou acima de 400 pés (120m) devem ser de um projeto autorizado pela ANAC e devem ser registradas e identificadas com suas marcas de nacionalidade e matrícula. Drones que operarem em até 400 pés (120 m) acima da linha do solo e em linha de visada visual (VLOS) não precisaram ser de projeto autorizado, mas devem ser cadastradas na ANAC, através do sistema SISANT. Drones que pesarem até 250 g não precisam ser cadastrados ou registrados, independentemente de sua finalidade.

Fonte: (BARCELOS, 2017, p.25).

Diferentes tipos de operações de VANT foram estipulados pela ANAC como mostra a **Figura 11**.

Figura 11 – Tipos de operação de VANT/RPA.



Fonte: (ANAC, 2017, p.5).

Conforme **Figura 11**, o modo de operação BVLOS o piloto não consegue manter a RPA dentro do seu alcance visual, mesmo com ajuda de um observador. No modo de operação VLOS, o piloto mantém contato visual direto com a RPA (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos). Já no modo de operação EVLOS o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com o RPA com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e de observadores de RPA (ANAC, 2017).

“Para pilotar aeronaves não tripuladas RPA, os pilotos remotos e observadores (que auxiliam o piloto remoto sem operar o equipamento) devem ter no mínimo 18 anos. Para pilotar aeromodelos não há limite mínimo de idade” (ANAC, 2017, p.3).

Em seu folheto informativo, a ANAC diz que para operações de uso não recreativo, com aeronaves não tripuladas com mais de 250g é obrigatório possuir seguro com cobertura contra danos a terceiros (ANAC, 2017).

Referente a registro de voos, o regulamento da ANAC prevê que voos com aeromodelos e RPA classe 3 não precisam ser registrados. Os voos com demais aeronaves obrigatoriamente devem ser registrados (ANAC, 2017).

Sobre licença, habilitação e certificado medico aeronáutico a ANAC diz o seguinte:

Operadores de aeromodelos e de aeronaves RPA de até 250g são considerados licenciados, sem necessidade de possuir documento emitido

pela ANAC desde que não pretendam usar equipamento para voos acima de 400 pés. Serão obrigatórias licença e habilitação emitidas pela ANAC apenas para pilotos de operações com aeronaves não tripuladas RPA das classes 1 (peso máximo de decolagem de mais de 150 kg) ou 2 (mais de 25 kg e até 150 kg) ou da classe 3 (até 25 Kg) que pretendam voar acima de 400 pés. Pilotos remotos de aeronaves não tripuladas RPA das classes 1 (mais de 150 kg) e 2 (mais de 25 kg e até 150 kg) deverão possuir ainda o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) emitido pela ANAC ou o CMA de terceira classe do DECEA (ANAC, 2017, P.4).

Conforme o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC nº175/2009) os VANT não podem transportar pessoas, animais, artigos perigosos e outras cargas proibidas por autoridades competentes. Somente é permitido transporte de artigos perigosos no caso de lançamentos relacionados a agricultura, horticultura, florestais ou outras definidas por novo regulamento. São permitidos transporte de equipamentos eletrônicos, que possuam baterias de lítio necessárias para o funcionamento, como câmeras fotográficas, e similares. Estas regras não são aplicadas a veículos controlados pelo Estado (ANAC, 2017).

4. TENDÊNCIAS E DESAFIOS DA AGRICULTURA 4.0

Como visto no segundo capítulo do presente trabalho, mesmo muito antes de existir o conceito de indústria, o homem do campo inventava maneiras de otimizar o trabalho na cultura agrícola.

Apesar de existir um espaço temporal de pelo menos 10.000 anos entre a primeira revolução agrícola e a primeira revolução industrial, seria ilógico elencar suas diferenças tecnológicas, pois não há parâmetros comparativos para isso. O nascimento da indústria mecanizada acelerou de forma significativa o desenvolvimento tecnológico em vários âmbitos, e desde então soluções industriais sempre foram adaptadas ao setor primário, no início as inovações chegavam ao campo com certo atraso, mas a história mostra que esta defasagem tecnológica logo foi diminuindo, chegando ao ponto em que indústria e o agronegócio se aproximam no quesito tecnologia (FELDENS, 2018).

4.1 INDÚSTRIA 4.0

O conceito de Indústria 4.0 teve seu início na indústria automobilística alemã, e rapidamente foi adotado por países como Estados Unidos, Japão e Reino Unido, em pouco tempo espalhou-se por fábricas de todo o mundo (MASSRUHÀ; LEITE, 2018, p.29). “A indústria 4.0 é a visão alemã da transformação e do modo como as empresas e pessoas se relacionarão em um futuro próximo” (AZEVEDO, 2017, p.47).

As indústrias estão mudando. O “chão de fábrica” está cada vez mais automatizado, com robôs realizando diversas atividades. As máquinas já conversam entre si e conosco. Expressões como “big data”, “descentralização”, “virtualização”, “automatização” e “internet das coisas” são rotineiras em usinas e integram o projeto de Manufatura Avançada, cuja proposta é conectar máquinas, sistemas e pessoas ao processo produtivo. Isso vai permitir maior personalização de produtos, utilização mais eficiente de recursos, menor margem de erro, controle de matérias-primas, além de uma logística de distribuição melhorada (FEIMEC, 2016, p.4).

Em substituição a famigerada pirâmide da automação tão difundida pela Indústria 3.0, a nova revolução industrial adotou como representação visual como mostrado na **Figura 12** os Nove Pilares da Indústria 4.0, que visa organizar e ilustrar,

de forma gráfica, as nove tecnologias que compõem o controle e interação de todos os níveis existentes no setor industrial (CARDOSO, 2019).

Figura 12 – Os nove pilares da Indústria 4.0



Fonte: (TERTULIANO; CÂMARA; SZABO, 2019, p.4).

As nove tecnologias apresentadas na **Figura 12** são os pilares da Indústria 4.0, a maioria delas já fazem parte também da agricultura digital, no entanto, outras ainda estão em desenvolvimento, e com uma maior conectividade futura, farão parte das ferramentas dedicadas ao cultivo (CARDOSO, 2019).

No Brasil foi adotado o termo Manufatura Avançada pra descrever soluções baseadas nos conceitos criados pela Quarta Revolução Industrial. “A manufatura Avançada é a visão brasileira da transformação digital tendo como base a Indústria 4.0, sendo que sua demonstração foi realizada na FEIMEC, em 2016” (AZEVEDO, 2017, p.53). A FEIMEC (Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos) é a maior feira do setor na américa latina.

4.2 AGRICULTURA 4.0

O termo Agricultura 4.0 deriva de Indústria 4.0, também chamada de Agricultura digital, tem seus fundamentos no emprego de métodos computacionais de alta performance, rede de sensores inteligentes, comunicação máquina á máquina (M2M, do inglês *machine to machine*), conectividade entre dispositivos moveis, computação

via *Cloud* (nuvem), métodos analíticos de suporte a tomada de decisão baseado em grandes volumes de dados coletados, Internet das Coisas (em inglês, Internet of Things – IoT) e outras tecnologias desenvolvidas na quarta revolução industrial que podem ser vistas na **Figura 13** (MASSRUHÀ; LEITE, 2018).

Figura 13 – Tecnologias direcionadoras de ações ligadas a Manufatura Avançada.



Fonte: (FEIMEC, 2016, p.9).

Na **Figura 13** estão representadas as tecnologias consideradas direcionadoras de ações ligadas a Manufatura Avançada. A seguir serão descritas algumas destas tecnologias, e como estão sendo aplicadas na Agricultura 4.0.

4.2.1 M2M

Machine to Machine (M2M) refere-se à comunicação direta entre máquinas, sem a intervenção humana, essa comunicação pode ser viabilizada por diversos meios, onde os dados podem trafegar por cabos, radio frequência, tecnologia GSM e redes em geral. Muito utilizadas em telemetria, na leitura de dados como consumo de água, energia elétrica, gás combustível e outros, onde o sensor de leitura, em data

específica envia os dados de consumo para o sistema da concessionária, que gera a fatura de cobrança mensal automaticamente, outro exemplo de uso do M2M são os sistemas de logística por rastreamento GPS, o receptor GPS envia sua posição global para o servidor de serviço, que identifica em tempo real sua posição no mapa.

Na indústria e na AP, o M2M é utilizado de várias formas, como na troca de dados entre máquinas, sensores, atuadores e sistemas de gestão (NIST, 2019).

4.2.2 Big Data Analytics

O *National Institute of Standards and Technology* (NIST - em português Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia) descreve o Big Data como uma grande quantidade de dados gerados no mundo em rede, digitalizado a partir de sensores orientados por informações, o crescimento destes dados de informação vem ultrapassando os avanços científicos e tecnológicos de análise de dados, um grupo de trabalho público do BIG DATA NIST vem desenvolvendo conceitos fundamentais de arquiteturas escalonáveis, que possibilitará o tratamento deste grande volume de dados (NIST, 2019).

Estudos apontam que em 2030 o número de sensores conectados chegará a 1 trilhão, em média 150 sensores por pessoa no mundo, e será a principal parcela do Big Data. O termo *analytics* se refere a descoberta, interpretação e comunicação dos padrões significativos dos dados, tendo grande valor em diversas áreas do conhecimento, possibilitando planejamento preditivo integrado aos sistemas cibernéticos (AZEVEDO, 2017, p.53).

4.2.3 Computação em nuvem

Do inglês *Cloud Computing*, a computação em nuvem é definida pelo NIST como um modelo que permite o acesso a dados e aplicações de qualquer lugar ou dispositivo conectado a internet, prevê acesso sob demanda a rede compartilhada de um conjunto de recursos de computação configuráveis (por exemplo: redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com esforço mínimo de gerenciamento ou interação do provedor de serviços (NIST, 2011).

A geração de dados, em alta resolução, contínua e, muitas vezes, em tempo real, por meio do uso de tecnologias da AP ou por grandes bancos de dados

públicos, disponíveis na Internet, com informações agrícolas em macro-escala, necessárias para a gestão das principais operações de cultivo - preparo do solo, semeadura, adubação, irrigação, pulverização e colheita - tem demandado uma crescente capacidade de armazenamento e processamento computacional (INAMASU et al., 2014, p. 102).

A computação em nuvem permite que usuários realizem tarefas em aplicações que rodam diretamente no servidor *Cloud*, assim aplicativos que demandam altas capacidades de processamento podem ser utilizados em equipamentos com performance reduzida, reduzindo custos na aquisição destes (POSSOBOM, 2010).

4.2.4 IoT

Um novo conceito na utilização da internet, denominada Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), este termo foi utilizado pela primeira vez no ano de 1999 por Kevin Ashton, que apresentou um sistema integrando tecnologias de endereçamento de dados e sinais de internet, com objetivo de melhorar o fluxo de produtos de informação sem interferência direta humana. Compreende-se IoT como a maneira de interconectar objetos físicos, sistemas e pessoas pela internet (COSTA; OLIVEIRA; MÓTA, 2018).

O IoT é tão promissor no setor agro, que já é encontrado em artigos acadêmicos norte-americanos o termo IoT Agrícola, sua utilização no sensoriamento de informações vitais sobre o solo, micro climas e níveis de hidratação, já é uma realidade em alguns projetos piloto de fazenda automatizada, gerando grande volume de dados, possibilitando que sistemas autônomos tomem decisões sobre o cultivo, pois o tamanho de muitas fazendas torna os levantamentos manuais ineficazes e difíceis.

Vale salientar que com o avanço da internet das coisas na agricultura e a consequente acumulação da análise de dados, o conhecimento gerado não servirá apenas para indicar onde e quando o insumo deve ser aplicado na terra, mas também será útil para tomada de decisão relacionada a financiamento, seguro, logística, marketing, entre outras áreas fundamentais do agronegócio (MARTINS; BARBOSA, 2019, p1).

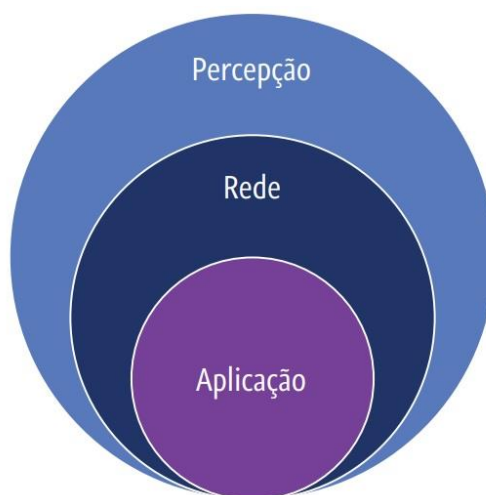
Dependendo do nível de sensorização de um processo, pode-se dizer que este processo está virtualizado, sendo possível acompanhar cada etapa remotamente como se estivesse presente no local. “A Internet das Coisas pode ser definida como

“coisas que pertencem a internet”, com a finalidade de fornecer acesso a todas as informações do mundo real” (PRODEMGE, 2018, p.69).

Com o IoT o produtor rural consegue monitorar online e em tempo real dados do plantio como a quantidade de sementes, preparo, adubação, correção do solo, pulverização e colheita. Estes dados são integrados ao sistema de gestão da fazenda, permitindo ao agricultor acompanhar todo o processo, analisar e tomar decisões imediatas (SAP, 2017).

Existem diversas propostas de arquitetura para redes IoT, enquanto não há uma normatização sobre a arquitetura, pesquisadores e indústria utilizam um padrão básico que pode ser visto na **Figura 14**.

Figura 14 – Arquitetura de rede proposta para IoT.



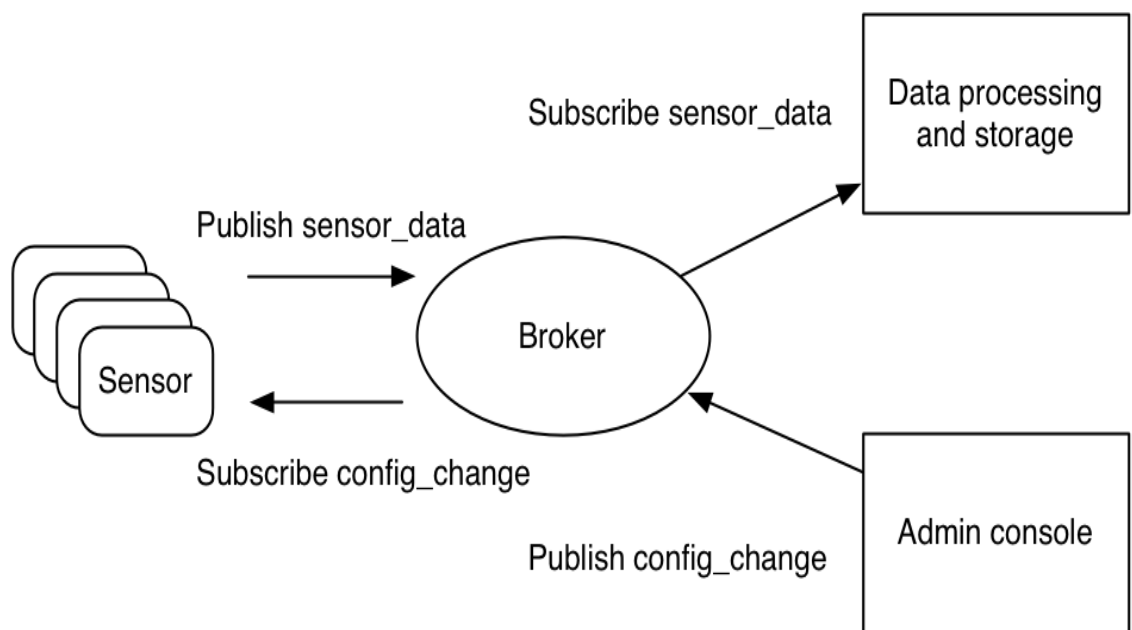
Fonte: (PRODEMGE, 2018, p.71)

Conforme **Figura 14**, a arquitetura de rede utilizada na IoT possui três camadas, sendo a camada Percepção, também chamada de camada de objetos inteligentes, é o nível mais próximo ao meio externo, composta de sensores capazes de coletar e e processar informações do mundo físico. Na camada rede é a ponte entre as outras duas camadas, nela trafegam os dados obtidos na camada de percepção em direção a camada de aplicação. A camada de aplicação possui a capacidade de fornecer serviços inteligentes, atendendo as necessidades do usuário (PRODEMGE, 2018).

O protocolo padrão utilizado na internet das coisas é o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), é um protocolo assíncrono de rede. Um protocolo de sistema

de mensagens assíncrono, desacopla o emissor e o receptor da mensagem tanto no espaço quanto no tempo, o que o faz leve e flexível, permitindo a implementação em *hardware* com restrições de processamento e comunicação em redes de largura de banda limitada com alta latência. O MQTT foi criado pela IBM no final dos anos 90 (IBM, 2017). Na **Figura 15** é apresentado o modelo de comunicação do protocolo MQTT.

Figura 15 – Modelo do protocolo de publicação e assinatura MQTT.



Fonte: (IBM, 2017).

O protocolo MQTT define dois tipos de entidades em uma rede, um servidor Broker e inúmeros clientes. O Broker é um servidor que recebe mensagens de todos os clientes, mas envia mensagens somente a clientes inscritos em determinado rótulo que lhe seja relevante. Um cliente pode ser um sensor de IoT em campo ou um aplicativo em um data center que processa dados de IoT. A **Figura 15** exemplifica o fluxo de mensagens estabelecido pelo protocolo MQTT, onde o cliente conecta-se ao broker, podendo assinar qualquer “tópico” de mensagem. O cliente publica as mensagens em um tópico, enviando a mensagem e o tópico ao broker. Em seguida, o broker encaminha a mensagem a todos os clientes que assinam esse tópico (IBM, 2017).

4.3 O PRESENTE E O FUTURO DA AGRICULTURA DIGITAL

4.3.1 Desafios da Agricultura 4.0

Observando as tecnologias utilizadas pela Indústria 4.0, percebe-se que toda metodologia é fundamentada na conectividade, desde fornecedores, estoques, sensores e atuadores no chão de fábrica, sistemas de controle e os sistemas de gestão, todo o processo é conectado gerando dados em tempo real. “Massruhá explica que a agricultura 4.0 é a conexão em tempo real dos dados coletados pelas tecnologias digitais com o objetivo de otimizar a produção em todas as suas etapas” (FAPESP, 2020, p.14).

Um dos maiores desafios para implantação do conceito de Agricultura digital no Brasil, está na falta de infraestrutura de acesso à internet nas áreas rurais. “Um estudo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP) indica que apenas 5% da área agricultável do país está conectada à internet” (FAPESP, 2020, p.14).

Uma pesquisa da Embrapa, em parceria com Sebrae e Inpe diz que as soluções para melhorar o planejamento e gestão da produção agrícola, seja por aplicativos ou plataformas web, foram apontadas como os principais desejos pelos agricultores e prestadores de serviço que participaram da entrevista (Portal G1, 2020).

Grandes produtores possuem recursos para expandir as redes de conexão de dados em suas propriedades, já o pequeno e médio produtor se vê em desvantagem na digitalização de suas lavouras, mesmo com o grande volume de *Startups* desenvolvendo soluções de baixo custo, para adotar estas tecnologias existe a dependência da conexão com a internet, esse empecilho deve aumentar as desvantagens competitivas dos pequenos agricultores frente aos grandes produtores (Portal G1, 2020).

“A agricultura 4.0 pode aumentar a desigualdade no campo. O governo precisa apoiar a conectividade do agricultor com baixo poder aquisitivo e que não tem recursos para investir. Será preciso capacitá-lo, como é feito na Alemanha, Índia, China e Coreia do Sul” (FAPESP, 2020, p.14).

Outro desafio encontrado na literatura está no grande volume de dados gerados pela AP nos últimos 25 anos, estas informações são de imenso valor, no entanto estão armazenados em diferentes formatos e padrões de arquivos, em diferentes sistemas de informação, sem uma documentação descritiva que facilite a recuperação e entendimento destes dados, causando problemas na hora de reutilizar estes dados ou fazer integrações entre sistemas para obter análises mais apuradas (INAMASU et al, 2014)

No Brasil, a Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa - Rede AP - atenta à necessidade de adoção de padrões para armazenamento e intercâmbio de dados e informações, e de uma arquitetura orientada a serviços que permita a interoperabilidade entre sistemas, mantendo a memória, a preservação, a recuperação e o intercâmbio com qualidade dos dados produzidos pelas unidades pilotos, desenvolveu um repositório de recursos de informação (<https://www.redeap.cnptia.embrapa.br>) que usa o perfil de metadados 'Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil' - versão homologada em 2009 pelo Comitê de Planejamento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INAMASU et al, 2014, p.100).

As novas tecnologias demandam profissionais qualificados para operação e manutenção dos equipamentos que a cada dia se tornam mais sofisticados, com inúmeras funções e configurações que exigem do operador conhecimentos sobre vários aspectos, tanto tecnológicos quando relacionados ao cultivo. “Haverá menos espaço para trabalhos automáticos e mais para trabalhos criativos, que envolvam ter uma visão global daquilo que se faz” (FAPESP, 2020, p.41).

A falta de mão de obra especializada é um dos fatores que desaceleram a digitalização da agricultura. “O processo de modernização tem reduzido o número de postos de trabalho no setor agropecuário, mas, ao mesmo tempo, abre oportunidades para uma mão de obra mais qualificada” (FAPESP, 2020, p.18).

O passado e futuro da agricultura estão intrinsecamente ligados a tecnologia, não há como voltar atrás, as projeções populacionais futuras são uma realidade, “o mundo tem fome”, e é imprescindível que os problemas de conectividade, reutilização de dados, qualificação profissional e outros tantos empecilhos que surgirão, sejam resolvidos para que o desenvolvimento da agricultura seja contínuo, e sua sustentabilidade seja plena, a manutenção da vida humana depende disso.

4.3.2 Tendências Tecnológicas

Em entrevista a revista Fonte de dezembro de 2018, a chefe geral do setor de informática agropecuária da EMBRAPA, Silvia Massruhá, afirma que as novas gerações de agricultores são mais preocupadas em utilizar a tecnologia em todo processo produtivo para agregar valor. Segundo Massruhá os resultados preliminares do censo IBGE apontam essa tendência. Os dados demonstram que em 2006, dos 5 milhões de produtores agrícolas do país, somente 75 mil utilizavam tecnologias relacionadas com a internet. A estimativa de 2018 era que 1,5 milhão de produtores haviam adotado essas tecnologias conectadas, isso representa um aumento de 1.790% (PRODEMGE, 2018).

Desenvolvedores estão cientes das limitações na digitalização da agricultura em função da falta de conectividade, já há alternativas em desenvolvimento, a evolução está sendo rápida, mas a tecnologia é cara, mas tende a diminuir seus custos com o tempo (PRODEMGE, 2018).

Segundo Marco Aurélio Chaves, fundador da startup Alluagro, máquinas agrícolas cada vez mais carregadas de tecnologia, atuam em áreas remotas sem conexão, grandes fazendas com milhares de hectares são totalmente desconectadas. Algumas iniciativas vêm surgindo de forma tímida, como antenas instaladas nos talhões através de parceria com multinacionais da telecomunicação, balões com sistemas 3G e 4G, estão sendo testados, enfim será uma corrida de gigantes para sanar esse verdadeiro buraco negro de conectividade, muita coisa boa está surgindo para melhorar a forma de trabalhar no campo (PRODEMGE, 2018).

O governo brasileiro emitiu em 25 de junho de 2019 o decreto nº9.854 que institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas. O Plano Nacional de IoT está sendo arquitetado para atender os setores da agricultura, cidades inteligentes, saúde e transportes. O evento mais importante no planejamento do IoT é a implantação da tecnologia 5G que promete conexões cem vezes mais rápidas que a tecnologia atual (MARTINS, 2016).

Outra novidade promissora é o projeto Starlink da empresa norte-americana Space X, já em fase de testes na zona rural dos Estados Unidos, mais precisamente no estado de Montana, o provedor de internet possui atualmente uma constelação de

900 satélites na órbita da terra, e promete entregar internet de alta performance em qualquer ponto do planeta até o ano de 2022 (FARMFOR, 2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O homem tornou-se agricultor ao lançar sementes a terra pela primeira vez e as ver brotar, desde então uma maior produtividade de alimentos sempre foi uma necessidade na agricultura. A revisão histórica produzida no capítulo 2, aponta com clareza que a inovação tecnológica e a agricultura são intrínsecas desde sempre, do velho arado puxado por bois, até os veículos agrícolas autônomos, muita coisa mudou, o homem teve que entender a importância dos recursos naturais para a sobrevivência das culturas, entender que o solo não é homogêneo, e que sua exploração sustentável depende de diversos fatores, mas uma coisa não mudou, a busca por maior produtividade.

Conduzidos pela necessidade de maior produtividade, os avanços tecnológicos na agricultura foram fortemente impactados pelas revoluções industriais, as inovações eletrônicas promovidas pela 3ª revolução industrial, tiveram inicialmente uma certa rejeição por parte dos produtores agrícolas, isso devido aos altos custos e também ao desconhecimento dos seus possíveis benefícios. No final da década de 1990 com a liberação do sinal GPS para uso civil, deu-se início a metodologia da AP através da amostragem de solo georreferenciada. O estudo do capítulo 3 demonstra que desde então o GPS tornou-se a principal tecnologia empregada na agricultura moderna, estando embarcada nos implementos de vanguarda tecnológica, como colheitadeiras autônomas que geram mapas de produtividade em tempo real, imageamento aéreo por VANT, pulverização de precisão, sensores remotos e terrestres e inúmeras outras soluções. O termo precisão da AP, está diretamente relacionado com o posicionamento geodésico dos dados coletados.

A 4ª Revolução Industrial é baseada em nove seguimentos tecnológicos distintos, sendo denominados como os nove pilares da Indústria 4.0, a integração entre estes pilares só é possível através da conectividade das redes que permitem o cruzamento de dados em tempo real. A Agricultura 4.0 apesar de derivar do termo Indústria 4.0, possui características operacionais bem distintas, a pesquisa aplicada no capítulo 4 aponta como maiores obstáculos na digitalização da agricultura, a falta de conectividade nas áreas rurais e a escassez de profissionais especializados. A Agricultura 4.0 vai além da variabilidade do campo empregada na AP, provendo gerenciamento não só baseado em posicionamento, mas também em dados

armazenados, e em tempo real, demandando mão de obra que reúna conhecimentos de “mundos” outrora antagônicos, como agronomia, biologia, eletrônica, química, mecânica, telecomunicações e recentemente a tecnologia da informação.

Os impactos positivos e negativos causados pela 4ª Revolução Industrial serão sentidos em vários âmbitos da sociedade, no surgimento e extinção de modelos de negócios e profissões, e também na tendência de emergirem as economias que apostarem em tecnologia e educação tecnológica. No agronegócio não é diferente, o que já se percebe é que devido ao poder aquisitivo, os grandes produtores saem em vantagem pela utilização das novas soluções, aumentando a desigualdade entre eles e os pequenos produtores. No entanto, a proliferação no surgimento das *Startups* vem mudando isso, desenvolvendo tecnologias com processamento em nuvem, exigindo menores investimentos por parte dos pequenos e médios produtores, que passam a ter acesso a ferramentas similares as utilizadas pelos gigantes do agronegócio.

A Agricultura 4.0 é uma realidade, e os benefícios das novas tecnologias empregadas no cultivo estão expressos nos números de produtividade, porém, a digitalização em tempo real ainda limitada pela falta de conectividade, provoca um atraso entre o que acontece no campo e o que se vê nas telas de monitoramento da produção. Já estão sendo realizados avanços para vencer o problema de falta de conectividade, como a constelação de satélites da *StarLink* e a expansão das redes celulares com a tecnologia 5G. O resultado disso será a virtualização das lavouras, uma cópia digital, e em tempo real de tudo que acontece na fazenda. Sistemas autônomos controlando processos e atuando diretamente na produção, softwares com ferramentas que reúnam todos os dados coletadas na lavoura, e através de algoritmos cada vez mais inteligentes, apresentem informações úteis para o produtor tomar as melhores decisões.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, algumas limitações foram identificadas, como: pouco conteúdo bibliográfico para pesquisa técnica das tecnologias recentes; talvez pela inexperiência como autor, a escolha de objetivos muito abrangentes, levando a produção de conteúdo mais genérico e menos técnico e também o pouco tempo hábil para reformulações. No entanto, estas limitações foram contornadas pela qualidade do material pesquisado, proporcionando um resultado final satisfatório no que tange aos objetivos propostos.

O presente trabalho de revisão bibliográfica foi desenvolvido com intensão de compilar informação de diversas fontes fiáveis, com conteúdo relevante, onde descrevesse historicamente o caminho das tecnologias aplicadas na agricultura até o cenário atual, que é fortemente influenciado pelo princípio da 4ª Revolução Industrial.

De forma a contribuir com a comunidade acadêmica, as informações aqui reunidas podem servir de base para o desenvolvimento de estudos de caso futuros, que inclusive podem ajudar a resolver os problemas de falta de conectividade apontados neste trabalho. Como ideias para futuras pesquisas técnicas, pode-se fazer perguntas do tipo: Como aplicar a tecnologia IoT em grandes distâncias utilizando as redes MESH? Como aplicar o protocolo MQTT em redes LoRa Wan? Um bom tema para pesquisas sobre os impactos da autonomia tecnológica da produção agrícola e fabril é: Como manter o equilíbrio entre produção e consumo, num mundo onde as máquinas que produzem, diminuem consideravelmente os postos de trabalho de quem consome?

REFERÊNCIAS

ALVES, Sérgio. **A matemática do GPS**. Revista do professor de matemática 59, São Paulo: IME - USP, 2006.

ANAC: Agência Nacional de Aviação Civil. **Regras Sobre Drones**, Distrito Federal, n. 1, set. 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf. Acesso em: 19 Ago. 2020.

ANSELM, Adriano Adelcino. **Adoção da Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Escola de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível no endereço eletrônico: <<http://hdl.handle.net/10183/40495>> (Acessado em 01 maio de 2020)

ASSIS, Angelo Ferreira. **Localização de sensores considerando custo mínimo**. 2013. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência da Computação) – Instituto de ciências exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ESBF-97CMA7/1/angeloferreira_final.pdf. Acesso em: 4 set. 2020.

AZEVEDO, Marcelo Teixeira de. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a rede de Água Inteligente no Brasil**. 2017. 177p. Tese Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

BARBOSA, Julierme Z.; CONSALTER, Rangel; PAULETTI, Volnei; MOTTA, Antônio C. V. **Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas**. Universidade Federal do Paraná – Setor de Ciências Agrárias, 2015. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2016000100003 Acesso em: 15 set. 2020.

BARCELOS, Anna Carolina. **O uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em monitoramento de campo**. 2017. 58. Natureza do Trabalho (Graduação – Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BATRES, Vera Beatriz K. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**, 1998. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/12157> Acesso em: 13 ago. 2020.

BERNARDI, Sabrina Marques. **Projeto Foz do Chapecó**. 2019. Dissertação (Graduação em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/203200/TCC_SABRINA_MARQUES_BERNARDI%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 8 set. 2020.

BUFFON, Elaiz.; SAMPAIO, Tony; PAZ, Otacílio. **Veículo aéreo não tripulado VANT: Aplicação na análise de inundações em áreas urbanas**. Universidade Federal do Paraná – Geografia, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/got/n13/n13a05.pdf> Acesso em: 16 ago. 2020.

CARDOSO, Marcelo de Oliveira. **Indústria 4.0: A quarta revolução industrial**. 2016. 45p. Monografia Especialização – Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba/PR, 2016.

CIÊNCIA RURAL. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2008- . ISSN 0103-8478. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/331/33113633046.pdf>. Acesso em: 20 set 2020.

COELHO, Luiz; BRITO, Jorge Nunes. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007.

COSTA, Cainã L.; OLIVEIRA, Leticia; MÓTA, Léia Michele S. . **Internet das coisas (IoT): Um estudo exploratório em agronegócios**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Agronomia, 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/cienagro/wp-content/uploads/2018/10/Internet-das-coisas-IOT-um-estudo-explorat%C3%B3rio-em-agroneg%C3%B3cios.docx-Cain%C3%A3-Lima-Costa.pdf> Acesso em: 19 ago. 2020.

DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. **Industrie 4.0: Hit or Hype?**. IEEE Industrial Electronics Magazine, Nova Jersey, v. 8, n. 2, p. 56 -58, junho 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agricultura de Precisão pode monitorar o campo de forma completa**, 14 de julho de 2017. Disponível: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/25277929/agricultura-de-precisao-pode-monitorar-o-campo-de-forma-completa>> (Acessado em 29. Mar.2020).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Automação e agricultura de precisão**, 2015. Disponível <https://www.embrapa.br/tema-mecanizacao-e-agricultura-de-precisao/nota-tecnica> (Acessado em 29. set.2020).

EZENNE, G.I; JUPP, Louise; MANTEL, S.K.; TANNER, J.L. Current and potential capabilities of UAS for crop water productivity in precision agriculture. 2019. a Institute for Water Research, Rhodes University, South Africa, 2019. Disponível em: <http://www. http://agri.ckcest.cn/file1/M00/00/02/Csgk0V2o0V-ADL9-AASfHc9GwZw659.pdf>. Acesso em: 24 set. 2020.

FAPESP: Revista Pesquisa. **Pulverização por Drones**, São Paulo, n. 282, set. 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/09/074_Pulveriza%C3%A7%C3%A3o_283.pdf. Acesso em: 10 set. 2020

FARMFOR – Portal Farmfor. **Starlink já está em teste na zona rural dos Estados Unidos**, 2020. Disponível <https://www.farmfor.com.br/posts/starlink-ja-esta-em-teste-na-zona-rural-dos-estados-unidos/> (Acessado em 02. nov. 2020).

FEIMEC, Feira Internacional de Maquinas e Equipamentos. **Manufatura Avançada**. São Paulo: FEIMEC, 2016. Disponível em: http://alvarestech.com/temp/InternetOfThings/e-book_-_manufatura_avan%C3%A7ada.pdf. Acesso em: 7 set. 2020.

FELDENS, Leopoldo. **O Homem, a agricultura e a história**. Lajeado: Ed. Univates, 2018.

FIGUEIRÊDO, Divino Cristino. **Curso Básico de GPS**. [S. l.]: Brasil, 2005. Disponível em: http://www.seivamt.com.br/anexo_artigos/21.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

G1: Portal G1. **Pesquisa EMBRAPA**, WEB. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2020/08/11/falta-de-infraestrutura-de-acesso-a-internet-e-entreve-para-agricultura-digital-para-61percent-dos-produtores.ghtml> Acesso em: 11 set. 2020.

GOOGLE: Google Maps. **Google Earth**, WEB. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/26%C2%B000'00.0%22N+10%C2%B000'00.0%22E/@11.0582373,13.6280774,10192192m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d26!4d10>. Acesso em: 25 nov. 2020.

HERMANN, Mario.; PENTEK, Tobias.; OTTO, Boris. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**: A Literature Review. Working paper, 2015. 16 f. Dissertação (Mestrado em eng. mecânica) – Universidade Técnica de Dortmund, Dortmund, 2015.

IBM: Protocolo IoT MQTT. **Portal IBM**, WEB. Disponível em: <https://developer.ibm.com/br/technologies/iot/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/#:~:text=O%20protocolo%20MQTT%20define%20dois,message%20broker%20e%20in%C3%BAmeros%20clientes.&text=Um%20cliente%20pode%20ser%20um,t%C3%B3pico%E2%80%9D%20de%20mensagem%20no%20broker>. Acesso em: 17 set. 2020.

INAMASU, Ricardo Yassushi. et al. **Agricultura de precisão**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

INPE: **Introdução ao sensoriamento remoto**, São Paulo, set. 1999. Disponível em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: 10 set. 2020

LONGHITANO, George Alfredo. **Vants para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 163p. Natureza do Trabalho (Dissertação Mestrado – Engenharia de transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MALTHUS, Thomas Robert. **An essay on the principle of population**. London: J. Johnson, 1798.

MARTINS, Artur V. Simpson; BARBOSA, Raul A. Pommer. **O impacto da internet das coisas no Agronegócio**. Universidade FGM - 2019. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ocs/index.php/clav/clav2019/paper/download/7303/2103> Acesso em: 19 ago. 2020.

MARTINS, Francisco Tacizio. **Tecnologia 5g: O futuro das redes móveis**. 2016. 34p. Monografia Especialização – Gestão de serviços de telecomunicações, Departamento Acadêmico de Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba/PR, 2016.

MASSRUHÀ, Sílvia M.F. S.; LEITE, Maria A. A. . **AGRO 4.0 – Rumo à Agricultura Digital**, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166203/1/PL-Agro4.0-JC-na-Escola.pdf> Acesso em: 21 set. 2020.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas do mundo: Do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: UNESP, 2009.

MOLIN, José Paulo; AMARAL, Lucas Rios do; COLAÇO, André Freitas. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOLIN, R. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho**. Castro, Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2000. p.1-2

NIST, Peter Mell and Tim Grance. **The NIST Definition of Cloud Computing**. Gaithersburg, Maryland: NIST, 2011. Disponível em: <https://www.nist.gov/system/files/documents/itl/cloud/cloud-def-v15.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020.

NORD, G. D., Jabon, D and Nord, J. **The mathematics of the Global Positioning System**, The Mathematics Teacher, vol. 90, nº 6, September, 1997.

OLIVEIRA, Victor Coelho de; DALCHIAVON, Flávio Carlos. **Investimentos na aplicação de defensivos agrícolas na região do médio-norte do estado matogrossense**, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v42n1/v42n1a29.pdf> Acesso em: 20 set. 2020.

POSSOBOM, Camila Cerezer. **Estudo de caso: Cloud Computing: Computação em nuvem**. 2010. 82p. Monografia Bacharelado – Sistemas de Informática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul de Ijuí, Ijuí/RS, 2010.

PRODEMGE: Revista Fonte. **Agricultura 4.0 o mundo digital revoluciona o campo**, Minas Gerais, n. 20, dez. 2018. Disponível em: https://www.prodemge.gov.br/images/com_arismartbook/download/26/revista_20.pdf. Acesso em: 16 set. 2020

QGIS: Um sistema de informação geográfica livre e aberto. **Portal QGIS**, WEB. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/ Acesso em: 10 set. 2020.

SANTOS, Sergio R. dos; MACIEL, Antônio J. da S. . **Proposta metodológica utilizando ferramentas de qualidade na avaliação do processo de pulverização**, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n2/33.pdf> Acesso em: 22 set. 2020.

SAP: Gestão IoT. **Portal SAP**, WEB. Disponível em: <https://news.sap.com/brazil/2016/03/tecnologia-de-internet-das-coisas-chega-ao-agronegocio/> Acesso em: 11 set. 2020.

SENAR, 2018. **Agricultura de Precisão Drones**. Brasília: Serviço Nacional de Aprendizagem - . ISBN: 978-85-7664-198-8. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/249-DRONES.pdf>. Acesso em: 20 jul 2020.

SHIRATSUCHI, Luciano Shozo. et al. **Sensoriamento remoto: Conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SLONGO at al. 2º Congresso Aeroespacial Brasileiro. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2019- . DOI 10.29327/2cab2019.224962. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/index>. Acesso em: 20 maio 2020.

TERTULIANO, Ian; CÂMARA, Marina; SZABO, Victor. **Indústria 4.0: A inovação aliada a sustentabilidade**, 2019. Disponível em: https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/14-industria_inovacao_infraestrutura.pdf Acesso em: 20 set. 2020.

TIMBÓ, Marco A.. **Levantamentos através do sistema GPS:**, 2000. Disponível em: http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/Lev_gps.pdf Acesso em: 29 set. 2020.

TUCKER, Compton J.. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**, NASA. 1978. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19780024582/downloads/19780024582.pdf?attachment=true> Acesso em: 14 ago. 2020.

ZANOTTA, Daniel Capella; CAPPELLETTO, Eliane; MATSUOKA, Marcelo Tomio. **O GPS: Unindo ciência e tecnologia em aulas de física**, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v33n2/a14v33n2.pdf> Acesso em: 29 set. 2020.