



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E
COMUNICAÇÃO

Yuri Crotti

**Impacto da utilização das novas tecnologias da informação e comunicação na
qualidade de frutas conservadas em atmosfera controlada**

Araranguá
2020

Yuri Crotti

**Impacto da utilização das novas tecnologias da informação e comunicação na
qualidade de frutas conservadas em atmosfera controlada**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador: Prof. Roderval Marcelino, Dr.

Coorientador: Prof. Vilson Gruber, Dr.

Araranguá
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Crotti, Yuri

Impacto da utilização das novas tecnologias da informação e comunicação na qualidade de frutas conservadas em atmosfera controlada / Yuri Crotti ; orientador, Rodeval Marcelino, coorientador, Vilson Gruber, 2020.

86 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação, Araranguá, 2020.

Inclui referências.

1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2. Novas Tecnologias da Informação e Comunicação. 3. Agricultura de Precisão. 4. Atmosfera Controlada. 5. Tecnologia Pós Colheita. I. Marcelino, Rodeval. II. Gruber, Vilson . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação. IV. Título.

Yuri Crotti

**Impacto da utilização das novas tecnologias da informação e comunicação na
qualidade de frutas conservadas em atmosfera controlada**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.a Eliane Pozzebon, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Anderson Luiz Fernandes Perez, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Bruno Pansera Espíndola, Dr.
Instituto Federal Catarinense

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de "Mestre".

Fernando Jose Spanhol, Dr.
Coordenador do Programa

Prof. Roderval Marcelino, Dr.
Orientador

Araranguá, 28 de fevereiro de 2020.

Este trabalho é dedicado aos meus familiares e a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Meu muito obrigado primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades. Aos meus pais Agenor Crotti e Sandra Crotti e a minha irmã Fernanda Crotti, por todo apoio, compreensão e paciência para o desenvolvimento deste trabalho. Ao meu professor e orientador Dr. Prof. Roderval Marcelino, por todo suporte, pelas suas correções e incentivos fornecidos ao longo desta jornada. Ao professor Dr. Bruno Pansera Espíndola pelo apoio, incentivos na elaboração deste trabalho e pela oportunidade do desenvolvimento deste trabalho em conjunto com Instituto Federal Catarinense. Meus agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalhos que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza. A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a realização deste trabalho.

*“A melhor maneira de nos prepararmos para o futuro
é concentrar toda a imaginação e entusiasmo
na execução perfeita do trabalho de hoje.”
(Dale Carnegie)*

RESUMO

A inserção das Tecnologias da Informação e Comunicação está presente nas mais diversas áreas do conhecimento, dentre elas a agricultura. Entre as técnicas existentes para agricultura, uma que vem ganhando destaque nos últimos anos é a Agricultura de Precisão. Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o impacto da aplicação de novas tecnologias da informação e comunicação na qualidade e tempo de conservação de frutas em atmosfera controlada. Para isso, foi desenvolvido um protótipo utilizando sistemas computacionais embarcados, Raspberry Pi, sensores e atuadores, onde é possível monitorar e controlar câmaras de armazenamento. Estes componentes foram instalados em um sistema refrigerado para armazenamento de frutas, com o intuito de implementar 5 tratamentos no armazenamento. Os 5 tratamentos utilizados neste trabalho foram: ambiente refrigerado, atmosfera controlada com controle estático (2% de O₂ e 7% de CO₂), atmosfera controlada dinâmica com quociente respiratório estático, atmosfera controlada dinâmica com quociente respiratório dinâmico, atmosfera controlada com controle inteligente (2% de O₂ e 7% de CO₂). Para validação da pesquisa, foi avaliado o armazenamento de banana 'prata' em todos os tratamentos para fins de comparação de quesitos técnicos e qualidade do fruto. Ao final da pesquisa, conclui-se que a utilização das novas tecnologias da informação e comunicação traz vantagens no armazenamento de frutas. O trabalho obteve a comprovação no impacto na qualidade e tempo de conservação das frutas por meio da utilização novas tecnologias da informação e comunicação.

Palavras-chave: Novas Tecnologias da Informação e Comunicação. Agricultura de Precisão. Atmosfera Controlada. Tecnologia Pós-Colheita.

ABSTRACT

The implementation of Information and Communication Technologies is present in the most diverse areas of knowledge, among them agriculture. Among the existing techniques for agriculture, one that has been gaining prominence in recent years is Precision Agriculture. In this way, this research aims to evaluate the impact of the application of new information and communication technologies quality and time of conservation of fruits in controlled atmosphere. For this, a prototype was developed using embedded computer systems, Raspberry Pi, sensors and actuators, where it is possible to monitor and control storage chambers. These components were installed in a refrigerated system for fruit storage, in order to implement 5 treatments in storage. The 5 treatments used in this work were: refrigerated environment, controlled atmosphere with static control (2% of O₂ and 7% of CO₂), dynamic controlled atmosphere with respiratory quotient static, dynamic controlled atmosphere with dynamic respiratory quotient, controlled atmosphere with intelligent control (2% of O₂ and 7% of CO₂). To validate the research, the storage of 'silver' bananas was evaluated in all treatments for the purpose of comparing technical requirements and fruit quality. At the end of the research, it is concluded that the use of new information and communication technologies has advantages in the storage of fruits. The work proved the impact on the quality and conservation time of fruits through the use of new information and communication technologies.

Keywords: New Information and Communication Technologies. Precision agriculture. Controlled Atmosphere. Post Harvest Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de um controlador fuzzy.	30
Figura 2 – Pesquisas relacionadas à atmosfera dinâmica controlada.	34
Figura 3 – Pesquisas relacionadas à atmosfera dinâmica controlada e tecnologia.	34
Figura 4 – Pesquisas relacionadas à atmosfera dinâmica controlada, tecnologia e frutas.	35
Figura 5 – Tipos de documentos.	35
Figura 6 – Número de publicações por ano.	36
Figura 7 – Publicação por país de origem.	36
Figura 8 – Etapas de aplicação da pesquisa.	40
Figura 9 – Diagrama geral do protótipo.	41
Figura 10 – Bombona de armazenamento e cooler	43
Figura 11 – Painel analisador	45
Figura 12 – Painel mecânico e elétrico.	46
Figura 13 – Painéis do sistema.	47
Figura 14 – Câmaras de armazenamento.	48
Figura 15 – Processo controlador estático.	50
Figura 16 – Processo controlador fuzzy	52
Figura 17 – Processo controlador QR estático.	54
Figura 18 – Processo controlador QR dinâmico.	55
Figura 19 – Exemplo de coloração.	58
Figura 20 – Setpoints do tratamento AC.	60
Figura 21 – Setpoint do tratamento ACi.	61
Figura 22 – Setpoint e QR do tratamento ACD.	61
Figura 23 – Setpoint e QR do tratamento ACDi.	62
Figura 24 – Valor de hue° no primeiro período.	64
Figura 25 – Evolução do índice de cor primeiro período	66
Figura 26 – Valor de hue° no segundo período.	70
Figura 27 – Evolução do índice de cor segundo período	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informação sensores.	42
Tabela 2 – Controle Atmosfera.	48
Tabela 3 – Duração controlador estático atmosfera.	49
Tabela 4 – QR estático.	53
Tabela 5 – QR dinâmico.	56
Tabela 6 – Valores Médios O ₂ e CO ₂	60
Tabela 7 – Valores de Injeção.	62
Tabela 8 – Análise 1 do primeiro período.	63
Tabela 9 – Análise 2 do primeiro período.	65
Tabela 10 – Análise 3 do primeiro período	67
Tabela 11 – Análise 1 do segundo período.	69
Tabela 12 – Análise 2 do segundo período.	71
Tabela 13 – Análise 3 do segundo período	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO ₂	Gás Carbônico
N ₂	Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
AC	Atmosfera Controlada
ACD	Atmosfera Controlada Dinâmica
AE	Absorção de Etileno
AM	Atmosfera Modificada
AP	Agricultura de Precisão
AR	Armazenamento Refrigerado
ATP	Adenosina Trifosfato
CIAP	Congresso de Internacional de Agricultura de Precisão
FC	Fluorescência de Clorofila
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NTIC	Novas Tecnologias da Informação e Comunicação
PPGTIC	Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação
QR	Quociente Respiratório
RSL	Revisão Sistemáticas da Literatura
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
SST	Sólidos Solúveis Totais
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DE PESQUISA	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	ADERÊNCIA DO OBJETO DE PESQUISA AO PPGTIC	17
1.4	METODOLOGIA	18
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2	FRUTICULTURA	20
2.1	O PROCESSO RESPIRATÓRIO	20
2.2	ATMOSFERA CONTROLADA	22
2.3	ATMOSFERA CONTROLADA DINÂMICA	23
2.3.1	Quociente de Respiração	23
2.4	BANANA 'PRATA'	24
3	AGRICULTURA DE PRECISÃO	26
3.1	DEFINIÇÃO	26
3.2	APLICAÇÃO	27
3.3	SISTEMAS EMBARCADOS	27
3.3.1	Plataformas	28
3.3.2	Sensores e atuadores	28
3.3.3	Controlador fuzzy	29
4	ESTADO DA ARTE	32
4.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	32
4.2	PROCEDIMENTOS ADOTADOS	32
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICAS	33
4.4	ANÁLISE DESCRITIVA	37
5	METODOLOGIA DESENVOLVIDA	40
5.1	ARQUITETURA DO PROTÓTIPO	40
5.1.1	Tecnologias Envolvidas	41
5.1.1.1	Sensores e Atuadores	42
5.1.2	Câmara de Armazenamento	43
5.1.3	Plataforma de monitoramento	43
5.2	MONTAGEM PROTÓTIPO	44
5.2.1	Concepção	44
5.2.2	Ambiente	44
5.3	SOFTWARE DESENVOLVIDO	45

5.3.1	Controladores da Atmosfera	47
5.3.2	Controle do quociente de respiração	51
5.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	56
6	RESULTADOS E AVALIAÇÕES	59
6.1	RESULTADOS TÉCNICOS CONTROLADORES	59
6.2	RESULTADOS PRIMEIRO PERÍODO	61
6.3	RESULTADOS SEGUNDO PERÍODO	68
7	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

No contexto mundial atual, a humanidade busca cada vez mais a manutenção da qualidade das frutas. Ao serem colhidas, as frutas ainda continuam respirando e transpirando como qualquer ser vivo. Como elas não podem mais se abastecer de nutrientes providos da terra, devem sobreviver com base em suas próprias reservas acumuladas ao longo do tempo (LIDSTER *et al.*, 1990). Após serem colhidas, as frutas mantêm partes de seus tecidos vivos e não apresentam as mesmas respostas de quando ainda estavam na terra. Basicamente, as frutas passam a consumir oxigênio e liberar gás carbônico mesmo depois de removidas da terra.

Essas perdas de nutrientes entre o período da colheita e o consumo são muito importantes, pois isso irá influenciar na qualidade e quantidade do produto. Analisando a qualidade das frutas frescas sem nenhum tipo de controle, elas se deterioram proporcionalmente à sua respiração. Para controlar esse processo de manutenção de qualidade das frutas após serem colhidas algumas condições podem ser reguladas. Segundo Smock (2011), as condições ambientais que regulam a intensidade respiratória, e, por consequência, a conservação dos frutos, são: a temperatura, a umidade relativa, a concentração de Oxigênio (O_2), o Gás Carbônico (CO_2) e o etileno.

Uma das principais maneiras de conservação das frutas são as câmaras frias, que devem suprir as temperaturas exigidas, bem como o grau higrométrico para cada fruta. De forma geral, as câmaras de resfriamento devem ter basicamente três funcionalidades, que são elas, reduzir a atividade biológica do fruto, retardar o processo de maturação e diminuir a atividade dos microrganismos (FLORES; VICTOR *et al.*, 2000).

O controle de atmosfera é um processo responsável pela conservação em câmaras frias, neste processo é aplicado uma técnica denominada Atmosfera Controlada (AC). A Atmosfera controlada é uma técnica que complementa o armazenamento refrigerado de frutas, permitindo que, além da temperatura e umidade, controle-se a concentração dos gases no ambiente da câmara. Segundo Brackmann, Streif e Bangerth (1993), por meio da AC, geralmente o nível de oxigênio é reduzido a uma média entre 1% e 3% e o gás carbônico é elevado para níveis entre 2% e 20%, sendo que o etileno pode ser eliminado da atmosfera.

Neste contexto, este trabalho visa aplicar Novas Tecnologias da Informação e Comunicação (NTIC) em um sistema de monitoramento e controle de atmosfera empregadas em câmaras frias. Esse estudo foi realizado em parceria com Instituto Federal Catarinense no Campus Santa Rosa do Sul com o auxílio de professores da área agrícola.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DE PESQUISA

Com os avanços tecnológicos no Brasil e no mundo, nos últimos anos tem surgido ferramentas que auxiliam os agricultores nos processos de monitoramento e tomadas de decisões para o plantio de diversas culturas (RAY, 2016). Observando este aumento da produção agrícola brasileira e mundial no decorrer dos anos, ficou evidente que o uso da tecnologia tem sido um dos grandes responsáveis por este crescimento. A tecnologia pode ser empregada em diversos setores do agronegócio, sempre buscando proporcionar ao agricultor a expansão da sua produção e qualidade (DIAZ *et al.*, 2011).

Segundo Navarro (2017), o sucesso na produção agrícola brasileira não está mais relacionada à expansão de terras, mas sim pelo incremento e avanços tecnológicos ao longo dos anos na área. Ainda de acordo com relatórios apresentados, a variável terra cresceu 18,1% em 1995, e 9,6% em 2006, já a tecnologia, aumentou 50,6% em 1995 e 68,1% em 2006. Observando à balança comercial agrícola no Brasil, dos anos de 1990 a 2013, houve um salto de US\$ 7 bilhões para US\$ 76 bilhões em receita.

A utilização de AC no Brasil ainda é recente, ela se iniciou em 1982, com as primeiras instalações em Nova Fraiburgo no estado de Santa Catarina. Atualmente, conforme apresenta o Brackmann (2017), o Brasil já dispõe de capacidade para armazenamento em AC em torno de 500 mil toneladas, utilizada principalmente para culturas de maçãs. Analisando essa utilização de AC no país, pode-se dizer que ainda é inexpressiva comparadas com países desenvolvidos, ou até mesmo, comparada com capacidade produtiva brasileira.

O processo de modificar e controlar a atmosfera em alguns produtos alimentícios, com o intuito de aumentar a vida útil, se transformou em tecnologias aplicadas comercialmente na conservação diversos produtos. Esses produtos podem ser dos mais diversos tipos, como: carnes, aves, pescado, frutas e hortaliças (FAGUNDES *et al.*, 2013; SANDHYA, 2010). Segundo Brackmann (2017), a utilização de AC pode prolongar em cerca de 50% a 70% o período de conservação e pode manter uma superior qualidade das frutas por meio de:

- Retardamento do amadurecimento;
- Redução de ocorrência de podridões e distúrbios fisiológicos;
- Diminuição da perda de peso e murchamento de frutas;
- Aumento a vida de prateleira das frutas;
- Viabilização de uma colheita num estado mais avançado de maturação, quando as frutas apresentam melhor qualidade.

Um componente fundamental para controle e monitoramento desses ambientes são os analisadores de gases. Para análise da concentração de O_2 e CO_2 utilizam-se atualmente analisadores eletrônicos de fluxo contínuo de diferentes fabricantes, procedentes grande parte de fora do Brasil. Esses analisadores utilizam basicamente o princípio da luz infravermelha para realizar as análises. Esse princípio baseia-se na absorção seletiva da radiação, modulada de raios infravermelhos, que provoca uma vibração da molécula do CO_2 .

Conforme apresentado por Falagàn e Terry (2018) e Das, Gurakan e Bayindrli (2006), a utilização de AC ainda apresenta algumas desvantagens, segundo os autores, algumas da desvantagens são :

- Investimento mais elevado na instalação das câmaras;
- Exigir muito manuseio da parte do usuário;
- Maior necessidade de mão de obra qualificada para o acompanhamento diário das câmaras;
- Necessidade de um rígido controle de qualidade tanto da matéria-prima como do acondicionamento.

No mercado brasileiro, ainda não se encontram soluções nacionais, os equipamentos existentes são apenas encontrados por meio de representantes das diversas empresas internacionais, as quais fabricam e montam analisadores de O_2 e CO_2 . Por serem produtos importados, normalmente grande parte dos equipamentos se tornam inacessíveis economicamente para grande parte dos produtores. Isso faz com que apenas os grandes produtores tenham acesso a tal tipo de tecnologia.

Para o sucesso do armazenamento em AC, é fundamental dispor de um adequado e eficiente equipamento de medição das condições de temperatura e concentração de gases (O_2 , CO_2) dentro da câmara. A correção das condições pode ser feita de forma manual, semi-automática, com o uso de temporizadores (*timers*), e de forma totalmente automática. Ainda são poucos os equipamentos que realizam o controle e monitoramento de forma totalmente automática, além de existir uma carência de equipamentos que possam dar um *feedback* ao usuário em uma plataforma em tempo real.

No contexto deste trabalho buscou-se analisar o impacto da utilização das NTICs na qualidade de frutas conservadas em atmosfera controlada. Por meio do desenvolvimento de uma solução completa utilizando NTICs, foi utilizada uma plataforma com monitoramento em tempo real e desenvolvido um controlador automático inteligente. Esse controlador fez uso de inteligência artificial, o que permitiu serem aplicados diferentes tipos de métodos, sendo eles métodos estático e dinâmico.

O panorama aqui apresentado contribuiu para o surgimento da seguinte pergunta de pesquisa: "Qual o impacto da implementação das novas tecnologias da informação e comunicação na qualidade de frutas conservadas por controle de atmosfera?".

1.2 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem por objetivo avaliar o impacto da aplicação de novas tecnologias da informação e comunicação visando aumentar a qualidade e tempo de conservação de frutas em atmosfera controlada .

1.2.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado os seguintes objetivos específicos foram elencados:

- Estudar os fundamentos teóricos, técnicos e científicos de agricultura de precisão aplicados na conservação de frutas;
- Desenvolver sistema embarcado integrado com ambiente web para controle das variáveis;
- Desenvolver um sistema dinâmico de controle baseado em inteligência artificial;
- Avaliar a influência da aplicação do sistema na manutenção da qualidade e prolongamento da vida útil de frutas.

1.3 ADERÊNCIA DO OBJETO DE PESQUISA AO PPGTIC

O Programa de Pós-Graduação em Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação (PPGTIC) tem como área de concentração Tecnologia e Inovação, dividida em três linhas de pesquisa, são elas: Tecnologia Computacional, Tecnologia Educacional e Tecnologia, Gestão e Inovação.

A linha de pesquisa em que este trabalho se adequou foi a de Tecnologia Computacional. De acordo com PPGTIC (2018), o objetivo dos trabalhos que estão nessa linha de pesquisa é “desenvolver modelos, técnicas e ferramentas computacionais auxiliando na resolução de problemas de natureza interdisciplinar”. Aplicações nas áreas de agricultura de precisão são norteadoras para o desenvolvimento destas novas soluções tecnológicas computacionais.

Ainda assim, as evidências encontradas em todos os capítulos desta dissertação, os capítulos 5 e 6 são esclarecedores quanto ao alinhamento deste trabalho com os objetivos da linha de pesquisa Tecnologias Computacionais. Pode-se observar o desenvolvimento de uma sistema computacional com a finalidade de realiza o controle e monitoramento de atmosfera aplicadas às câmaras frutíferas.

Mesmo este trabalho tendo uma aderência maior na linha computacional, pode-se dizer que na área de gestão, a realização deste trabalho auxiliará pessoas que utilizam câmaras frutíferas na gestão de suas culturas.

Alguns trabalhos já realizados no PPGTIC abordaram temas a área de agricultura ou até mesmo agricultura de precisão. Mesmo sendo trabalhos na área de agricultura de precisão, nenhum dos trabalhos propostos abordaram o tema onde se apresenta um sistema de controle e monitoramento de atmosfera aplicadas às câmaras frutíferas.

1.4 METODOLOGIA

Este trabalho é de caráter interdisciplinar, pois está contido nas áreas da engenharia de computação, agricultura e tecnologias da informação e comunicação. No que se refere à abordagem, neste estudo predomina a quantitativa, pois busca a medição de variáveis, estatísticas e comparações. Quanto a sua natureza, a pesquisa é classificada como aplicada, pois utiliza recursos computacionais para manutenção da qualidade de frutas.

Em relação aos objetivos, esta pesquisa é considerada explicativa, pois explica a causa e efeito através de medição e controle de variáveis, normalmente realizando testes, buscando obter respostas para problemas com base em resultados experimentais. Com relação aos procedimentos, o trabalho é de caráter bibliográfico, no que se refere à fundamentação teórica, e experimental.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em sete capítulos e lista de referências bibliográficas.

O Capítulo 1 faz uma contextualização do tema de forma a emergir a pergunta da pesquisa e seus objetivos, além de apresentar a justificativa, a delimitação, a metodologia e a aderência ao PPGTIC da pesquisa. Finaliza com a estruturação do trabalho.

Os Capítulos 2, 3 e 4 são dedicados a revisão bibliográfica sobre os conhecimentos necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 2 faz um estudo dos conceitos relacionados ao domínio da fruticultura em armazenamento em atmosfera controlada, uma vez que trata-se de uma área do conhecimento eminentemente interdisciplinar.

No Capítulo 3 é abordado os conceitos da técnica de Agricultura de Precisão e as variedades de aplicações possíveis para a agricultura.

O Capítulo 4 explana sobre o estado da arte sobre os temas tecnologias computacionais aplicadas, armazenamento de frutas.

O Capítulo 5 relata os procedimentos metodológicos empregados na condução das tarefas realizadas no percursos deste trabalho.

No Capítulo 6 os dados colhidos através do instrumento de pesquisa são tratados, tabulados e analisados a fim de prover subsídios para responder a pergunta formulada na Seção 1.1.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões, baseadas na análise dos dados, e as sugestões para trabalhos futuros, seguido do referencial bibliográfico.

2 FRUTICULTURA

A fruticultura tem sido definida como a ciência do cultivo de plantas frutíferas de modo geral, visando produzir economicamente e racionalmente frutos, com o intuito de comercializar os mesmos. A medida que as dietas nutricionais passaram a incluir frutas como alimento e não como sobremesa, o segmento agroindustrial frutícola começou a desenvolver-se vertiginosamente, sobressaindo-se as frutas tropicais (PASSOS; SOUZA, 1994).

De acordo com Almeida (2018), a fruticultura contribui de quatro maneiras importantes para o crescimento da economia brasileira. Primeira e principal é ser fonte de alimentação para a população. Segunda, é a geração de emprego para a população, que podem chegar em até 5 milhões de empregos diretos. A terceira é a geração de divisas, como por exemplo, exportações de suco de laranja o país consegue divisas da ordem de 2 bilhões de dólares. Quarta, o valor econômico da produção da fruticultura que passa de 10 bilhões de reais anuais.

No Brasil, o setor da fruticultura se tornou um dos mais importantes no país. Oficialmente os últimos dados consolidados são de 2016, os números do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresentam que a área colhida no Brasil foi de 61.842 hectares e valor de produção estimado em R\$ 788,351 milhões. O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas de China e Índia, o que mostra a relevância do setor para a economia brasileira. De acordo com IBGE (2016), seis frutas concentraram 73,2% do valor total produzido: laranja (25,1%), banana (25%), abacaxi (7,3%), uva (6,4%), maçã (5%) e mamão (4,4%). Em relação aos principais estados produtores de frutas no Brasil, segundo dados do IBGE (2016) os 5 principais estados são: São Paulo, Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Já para bananas que é a segunda fruta mais produzida no Brasil, de acordo com os dados da EMBRAPA (2016), no mundo foram produzidos cerca de 5.494.005 hectares, totalizando 113.280.302 toneladas de bananas. Os cinco maiores países produtores de banana são Índia (29.124.000 t), China (416.439 t), Indonésia (7.007.125 t), Brasil (6.764.324 t) e Equador (6.529.676 t). O Brasil não se encontra entre os maiores países exportadores de bananas, que são eles, Equador, Guatemala, Costa Rica, Bélgica e Colômbia. Os estados que se destacam como maiores produtores de banana no Brasil são São Paulo (1.084.514 t), Bahia (866.591 t), Santa Catarina (712.775 t), Minas Gerais (685.471 t) e Pará (514.205 t).

2.1 O PROCESSO RESPIRATÓRIO

Após a colheita dos frutos, a respiração torna-se a principal fonte de nutrientes de uma fruta. Essa energia liberada pela fruta no processo respiratório da continuidade

aos processos de sínteses necessários para sua sobrevivência. Para preservar a qualidade dos frutos por um período maior, a respiração deve ser mantida a uma taxa mínima (BOTH *et al.*, 2012). Segundo Kader (1986), a degradação após a colheita de frutas é causada por vários fatores em conjunto, sendo um deles as mudanças bioquímicas associadas com metabolismo respiratório. Essa respiração celular pode ocorrer de duas maneiras nas frutas, sendo elas: aeróbica (quando tem presença de O_2) ou anaeróbica (na ausência de O_2).

No processo de respiração aeróbica compostos orgânicos são mobilizados e posteriormente oxidados. Durante a respiração, energia livre é liberada e parte é incorporada em forma de Adenosina Trifosfato (ATP), uma fonte de energia que pode ser prontamente utilizada na manutenção e no crescimento da planta. A respiração aeróbica é aquela que utiliza oxigênio como aceptor final, tendo em vista que há uma quebra de glicose completa. Ela pode ser dividida em três etapas básicas: glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa. Na respiração aeróbica é liberado cerca de 19 vezes mais energia do que na respiração anaeróbica da mesma quantidade de glicose (TAIZ *et al.*, 2017).

Já na respiração anaeróbica, a glicose se decompõe sem oxigênio. A reação química transfere energia da glicose para a célula, sendo assim, é utilizada como a maior fonte de energia. A respiração anaeróbica produz energia dividindo a glicose e outros açúcares em compostos de aldeído e álcool. Esses processos na respiração anaeróbica são chamados de fermentações (TAIZ *et al.*, 2017).

No processo de armazenamento de atmosfera controlada, os frutos utilizam da respiração aeróbica com início da via fermentativa. Já no armazenamento controlado dinâmico, onde são alterados valores de O_2 e CO_2 , o equilíbrio desloca-se mais para via fermentativa. Esse deslocamento acontece, pois normalmente por utiliza níveis de O_2 mais baixos. Com um nível de O_2 baixo e o aumento do CO_2 nas câmaras, segundo P.J. de Wild, Woltering e Peppelenbos (1999), o CO_2 afeta a produção de etileno pela redução da produção de ATP, como resultado da inibição da respiração pelo alto CO_2 .

De acordo com Both *et al.* (2012), a diminuição do valor de oxigênio provoca uma redução na respiração. Com essa diminuição desta concentração deste gás, o sistema pode atingir o valor denominado de ponto de compensação anaeróbico, que é a concentração de O_2 em que a produção de CO_2 é mínima, também chamado de limite mínimo de oxigênio (GRAN; BEAUDRY, 1993)(KADER, 1986). Ainda de acordo com Kader (1986), armazenamento em ambientes com baixo oxigênio por um período maior que o tolerável provoca danos frutos, como por exemplo nas maçãs, que podem ocorrer o amadurecimento anormal, escurecimento de polpa, além do aumento da produção de etanol e acetaldeído.

2.2 ATMOSFERA CONTROLADA

Atmosferas controladas (AC) é um dos tratamentos pós-colheita não químicos comuns utilizados na indústria frutífera para conservação. Ela baseia-se no princípio da modificação da concentração de gases na atmosfera natural, ou seja, a concentração de CO₂ e O₂. Semelhante à atmosfera modificada, a atmosfera controlada é uma técnica com um controle mais rigoroso e preciso das concentrações dos gases no ambiente onde os frutos estão armazenados, que devem ser monitoradas e corrigidas durante todo o período de armazenamento (BRACKMANN, 2017). A AC é uma importante técnica para prolongar a vida e a qualidade das frutas após a colheita (THEWES *et al.*, 2016).

Segundo autores como Brackmann, Weber *et al.* (2008) e Lumpkin *et al.* (2015), a atmosfera controlada é mais eficiente em manter a qualidade dos frutos do que o armazenamento refrigerado, podendo haver uma melhor eficiência em aspectos como maior firmeza de polpa e acidez, menor produção de etileno, respiração e distúrbios fisiológicos. De acordo com Brackmann, Steffens André e Giehl Hettwer (2003) o armazenamento em atmosfera controlada na Europa e nos Estados Unidos é utilizada normalmente no armazenamento de frutas de caroço. Já no Brasil, o armazenamento em atmosfera controlada é muito utilizado comercialmente no armazenamento de maçãs e kiwi.

Para algumas frutas como a maçã 'Gala', em sistemas de armazenamento refrigerados, onde apenas a temperatura e a umidade relativa são controladas, o período de conservação é de até quatro meses. Já em condições onde atmosfera controlada é aplicada, em que, além do controle da temperatura e da umidade, são monitoradas e controladas as concentrações de O₂ e CO₂, o período de armazenamento pode ser estendido para oito meses (BRACKMANN; WEBER *et al.*, 2008).

Em Brackmann, Steffens *et al.* (2006), os autores propuseram um estudo com objetivo de avaliar o efeito da absorção do etileno e de pressões parciais de O₂ e CO₂ sobre a qualidade da banana 'Prata'. Neste trabalho foram avaliados alguns tipos de tratamento, sendo eles Armazenamento Refrigerado (AR), Absorção de Etileno (AE) e Atmosfera Modificada (AM).

De acordo com os resultados apresentados por Brackmann, Steffens *et al.* (2006), a absorção do etileno mantém uma melhor qualidade da banana 'Prata', tanto no armazenamento a 25 °C como a 12 °C, o efeito é melhorado na presença do alto CO₂ em atmosfera controlada ou atmosfera modificada. A banana 'Prata' pôde ser armazenada em atmosfera modificada durante 14 e 21 dias, a 25 °C e 12 °C, respectivamente, e por 28 dias em atmosfera controlada a 12 °C, sempre com absorção do etileno.

2.3 ATMOSFERA CONTROLADA DINÂMICA

Diferente da atmosfera controlada, a Atmosfera Controlada Dinâmica (ACD) permite o controle da pressão parcial de O₂ e CO₂ de forma dinâmica, adaptando aos limites de oxigênio e CO₂ tolerado pelos frutos, reduzindo assim as reações oxidativas e processo de senescência, diminuindo o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e perda de qualidade (BOTH *et al.*, 2015). A ACD pode ser considerada também um método de armazenamento de frutos não destrutivo, pois permite o monitoramento do metabolismo dos frutos sem nenhum tipo de danificação ou destruição dos mesmos.

Segundo Both *et al.* (2015), existem poucos trabalhos relacionados com a concentração adequada de CO₂, a grande maioria dos trabalhos dão uma maior atenção para os limites críticos O₂. Neuwald *et al.* (2012) também afirmam que não há uma recomendação unânime para nível de CO₂, mas sugerem que na atmosfera controlada dinâmica sejam mantidos níveis mais baixos que os utilizados na atmosfera controlada convencional. Esta ação tem por objetivo evitar o escurecimento da polpa causada pelo alto CO₂ para frutas como maçã.

O uso do controle de CO₂ no armazenamento pode ser benéfico ou prejudicial ao fruto, dependendo da sensibilidade do tecido, concentração e período de exposição ao CO₂. Na ACD a redução do CO₂, nos últimos meses de armazenamento, evitaria a ocorrência de distúrbios fisiológicos pela alta concentração de CO₂ em cultivares sensíveis (WATKINS, 1996). Assim, conforme apresenta Santos *et al.* (2016) existem três formas possíveis de acompanhar e monitorar o limite crítico de O₂ e CO₂ durante o armazenamento em ACD, que são pela detecção do nível de etanol na polpa do fruto e/ou na câmara de armazenamento, pelo monitoramento por meio da Fluorescência de Clorofila (FC) ou Quociente Respiratório (QR).

2.3.1 Quociente de Respiração

Entre os métodos de monitoramento do limite mínimo de oxigênio destaca-se o quociente de respiração. Durante o armazenamento é realizada a medição da quantidade de CO₂ produzida e de O₂ consumido, a razão dessa medição resulta em um valor QR. O QR pode ser calculado pela Equação (1). O quociente respiratório é um valor da respiração aeróbica ou anaeróbica, por meio da medição do QR é possível identificar o momento em que a respiração aeróbica é substituída pela anaeróbica (SANTOS *et al.*, 2016).

$$QR = \frac{\Delta CO_2}{\Delta O_2} \quad (1)$$

De acordo com Goyette *et al.* (2012), quando o RQ é igual 1.0 está acontecendo a respiração aeróbica, onde para cada molécula de oxigênio consumido há a liberação de uma molécula de CO₂. Já para valores maiores que 1.0, segundo Goyette *et al.*

(2012), é indicado que pode estar acontecendo uma mudança da respiração aeróbica para anaeróbica, tendo em vista que alguns componentes com um alto teor de O₂ estão sendo utilizados na respiração.

O controle do quociente de respiração irá identificar o momento em que a fruta utiliza a via fermentativa como principal rota respiratória, que pode ser prejudicial para o tecido da fruta. Após a detecção, a pressão parcial de O₂ é aumentada afim de manter o valor do quociente de respiração previamente estabelecido, mantendo o mínimo de fermentação, sem causar danos aos frutos. Deve-se levar em consideração que o ponto de compensação anaeróbico pode variar nas frutas e nas diferentes cultivares (SANTOS *et al.*, 2016).

Segundo o que apresentaram Heydari *et al.* (2010), a taxa de respiração de bananas é pouco influenciada pelo aumento da concentração de CO₂. Com relação ao efeito da concentração de O₂, Heydari *et al.* (2010) analisaram a taxa respiratória de bananas e verificaram que o quociente de respiração é consideravelmente influenciado pela taxa de O₂.

2.4 BANANA 'PRATA'

A bananeira (*Musa spp.*) é uma planta monocotiledônea e herbácea, ou seja, parte aérea é cortada pós colheita (BORGES; SILVA SOUZA, 2004). No Brasil, os principais cultivares de bananeiras são: Ouro (AA), Nanica (AAA), Nanicão (AAA), Grande Naine (AAA), Maçã (AAB), Mysore (AAB), Prata (AAB), Pacovan (AAB), Terra (AAB), D'Angola (AAB) e Figo (AAB). No subgrupo das bananas Prata, pode-se encontrar frutas vigorosas, com poucas manchas escuras, são praticamente retas e apresentam seção transversal pentagonal, extremidades bem pronunciadas, pontiagudas e sem restos florais, casca de espessura média, cor amarela quando maduros, polpa creme a rósea pálida e sabor ligeiramente ácido (LIMA; SILVA; FERREIRA, 2003).

Segundo Cordeiro (2000), a banana é a fruta mais consumida no mundo e no Brasil, constituindo parte importante da renda dos pequenos produtores e da alimentação das camadas mais carentes da população. A produção nacional de banana é voltada quase que exclusivamente para o mercado doméstico.

A banana é considerada como fruto climatérico, ou seja, no período de maturação apresentam um marcante aumento na taxa respiratória, provocado pelo aumento na produção de etileno. A banana é considerada uma fruta altamente perecível, apresentando elevada taxa respiratória e produção de etileno que desencadeiam rapidamente o amadurecimento (PRILL *et al.*, 2012).

Alguns problemas ainda afetam os produtores de bananas, de acordo com apresentado por Brasil (2010), os principais problemas na produção de bananas estão o baixo nível de organização dos produtores, baixa adoção de tecnologia, pouco acesso de agricultores a informações da cadeia produtiva, venda sem diferenciação pela qua-

lidade e perdas pós-colheita. Em relação pós-colheita, de acordo com Alberto, Vilas Boas e Dias (1999), 60% das perdas ocorrem nesta fase. Para combater essas perdas até existem técnicas para reduzi-las, porém muitas delas não são adotadas em virtude de não haver uma valorização do produto de maior qualidade.

3 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Este capítulo contextualiza o tema Agricultura de Precisão. Esta etapa do trabalho busca elucidar conceitos referentes a temática proposta, bem como as tecnologias envolvidas. Este capítulo também aborda os sistemas embarcados, sensores, dispositivos e lógica fuzzy que fazem parte desta temática.

3.1 DEFINIÇÃO

O termo Agricultura de Precisão (AP) surgiu há 30 anos, especificamente na Europa e nos Estados Unidos. Nessa época, algumas pessoas já apresentavam trabalhos onde demonstravam a utilidade de se gerenciar lavouras de forma detalhada e específica. Além do processo gerencial foram realizadas aplicações práticas de mapas de produtividade e taxas variáveis de aplicações de adubos para as culturas. Esses movimentos auxiliaram na criação das bases para prática de AP, na qual foi tema no Congresso de Internacional de Agricultura de Precisão (CIAP) no ano de 1980. Foi através de congressos, como o CIAP, que conseguiram afirmar a relevância nos meios técnicos e científico sobre o tema AP em âmbito mundial.

Já no Brasil, as atividades voltadas para AP surgiram de forma dispersa, nos anos de 1990 iniciaram-se as primeiras ações neste tema através da importação de máquinas agrícolas que realizavam colheitas com monitores de produção acoplados. Em 2000, começaram a aparecer máquinas, que realizavam aplicações com taxa variável de corretivos e adubos. Em relação a eventos, no Brasil aconteceu o primeiro simpósio sobre AP em 1996 na Universidade de São Paulo, Campus da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, a partir do surgimento de diversos eventos sobre AP resultou-se na formalização da AP pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2012.

Segundo a portaria N^o 852, criado pelo MAPA, definiu-se o termo Agricultura de Precisão como: “um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva, na qual visa o aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (MAPA, 2012). Sendo assim, AP representa a integração de sistemas de informação e tecnologias em um sistema de manejo, trabalhando com a premissa que as variabilidades de espaço e tempo influenciam nos rendimentos dos cultivos.

A definição de AP pode variar bastante, segundo Bramley e Trengove (2009), AP é um conjunto de tecnologias que promovem melhorias na gestão de sistemas de produção agrícolas, onde essas melhorias são baseadas no reconhecimento potencial de respostas das lavouras. Respostas essas que podem variar consideravelmente, mesmo em pequenos tamanhos.

A AP, é uma forma de gerenciar uma lavoura metro a metro, levando em conta

o fato de que cada pedaço da fazenda tem propriedades diferentes (ROZA, 2000). Tschiedel e Ferreira (2002) dizem que a agricultura de precisão combina as novas tecnologias sustentando a era da informação com a agricultura industrial madura.

3.2 APLICAÇÃO

Hoje pode-se encontrar os mais diversos os tipos de aplicações na AP, analisando-as pode-se observar que as tecnologias que estão em maior evidencia são as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e veículos inteligentes.

Atualmente, os VANTs são as ferramentas mais avançadas e utilizadas na AP. Por meio deles podem ser gerados mapas precisos de crescimento, ervas daninhas, infestações de insetos, deficiências de nutrientes e outras condições de culturas e solo (ZHANG; KOVACS, 2012). Os VANTs surgem como uma alternativa para o desenvolvimento de aplicações mais eficientes e baratas em relação as imagens de satélite e fotos aéreas

Já as RSSF, surgiram diante dos avanços tecnológicos nas áreas de comunicação e eletrônica, e fizeram que se tornasse possível o desenvolvimento de redes de baixo custo, baixa potência e com característica multifuncional. Sensores são utilizados para realizar o levantamento de informação para o monitoramento e controle de cultivos (SRBINOVSKA *et al.*, 2015).

No cenário atual também pode-se encontrar os veículos inteligentes, neles são possíveis encontrar diversas aplicação e soluções para AP. Entre as aplicações estão as aplicação insumos por taxa variável, de acordo com Coelho (2005), apresentam as vantagens de economia de insumos, aumento da produtividade e menor impacto ambiental. Outra aplicação com utilização de veículos inteligentes estão os veículos autônomos, esses veículos são capazes de realizar tarefas nas lavouras sozinho, sem a necessidade de operadores.

3.3 SISTEMAS EMBARCADOS

Os sistemas embarcados estão presentes em praticamente todas as atividades dos seres humano e, tendem aumentar ainda mais a sua presença no cotidiano das pessoas. Um sistema embarcado é um sistema computacional projetado para uma tarefa dedicada ou para uma finalidade, usualmente esse sistema embarcado é composto por componentes de hardware e software. De acordo com Kaisti *et al.* (2013), desenvolvimento de sistemas embarcados consiste em desenvolvimento de software e hardware comumente parte de um sistema ou dispositivo maior.

Na agricultura, os sistemas embarcados podem trazer enormes benefícios, o principal deles, segundo Mello e Caimi (2008), é a integração de sistemas embarcados

que combinam hardware e software, com equipamentos de manejo agrícola. Um sistema também é classificado como embarcado quando ele interage com um ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores (BALL, 2002). Hoje pode-se encontrar os mais diversos tipos de sensores e atuadores para agricultura, esses sensores podem variar de acordo com a aplicação desenvolvida.

3.3.1 Plataformas

Atualmente existem inúmeras plataformas de desenvolvimento de sistemas embarcados, por meio dessas plataformas é possível desenvolver diversos tipos de aplicações, por exemplo, aplicações para internet das coisas, automações residenciais e industriais. As grandes vantagens desses tipos de plataformas são seu baixo custo e sua facilidade no desenvolvimento de soluções. Na AP essas plataformas são muito utilizadas, elas servem como base de desenvolvimento para diversas soluções.

As principais plataformas de prototipação disponíveis no mercado segundo Jamieson e Herdtner (2015) são: Placas de prototipação FPGA Aletera, como Terasic DE2. Similarmente, uma placa relacionada a FPGA de código aberto chamada, NetFPGA. Placas DSP, como TMS320C6713 da Texas Instrument. Placas de microprocessadores, Arduino, Raspberry Pi e BeagleBoard.

Lançado em 2011, o Raspberry Pi trouxe ao mercado uma plataforma de baixo custo baseada em Linux para sistemas embarcados. A placa começou a ser desenvolvida em meados de 2006 pelo britânico Eben Upton, ele e sua equipe tinham como objetivo desenvolver um minicomputador do tamanho de um cartão de crédito. A plataforma Raspberry Pi contém um processador e chip gráfico, memória de programa (RAM) e várias interfaces e conectores para dispositivos externos.

Na AP diversos trabalhos utilizam da plataforma Raspberry Pi como um sistema embarcado. Em Ferraz Filho *et al.* (2018), o autor utilizou o Raspberry Pi como intermediário entre o Arduino e uma aplicação web pra o controle de uma casa de vegetação. Os autores Flores, Butaslac *et al.* (2016) também utilizaram o Raspberry Pi na agricultura, neste trabalho o Raspberry Pi foi utilizado em uma RSSF como um nodo central para comunicação. Já em Agrawal e Singhal (2015), os autores utilizaram o Raspberry Pi para o desenvolvimento de um sistema inteligente de irrigação por gotejamento. Inúmeros outros trabalhos podem ser encontrados como em (LAKSHMISUDHA *et al.*, 2011) (KUMAR; RAJASEKARAN, 2016) (PRATHIBHA; HONGAL; JYOTHI, 2017).

3.3.2 Sensores e atuadores

Os sensores são utilizados para coletar informações sobre aspectos físicos e atributos ambientais enquanto atuadores são empregados para reagir e ter controle sobre algumas situações. A aquisição dos dados tem valiosa contribuição na modelagem de situações de domínios que possuem variedade de atributos variantes de tempo.

Na agricultura vários parâmetros podem ser coletados sobre o clima, safra e solo. Dentre os parâmetros que podem ser coletados estão a temperatura, umidade e luminosidade do ambiente, umidade e Ph do solo, e níveis de CO₂ e O₂. Existe uma enorme quantidade de sensores no mercado que efetuam a leitura de diversas variáveis, possibilitando assim o desenvolvimento de inúmeros projetos.

Para coleta de dados de temperatura e umidade de ambientes usualmente é utilizado o sensor DHT11, conforme apresentado por Gondchawar e Kawitkar (2016), o DHT11 é um sensor de baixo custo que coleta dados de temperatura e umidade. Ele fornece como saída um valor digital e, portanto, não à necessidade de utilizar um conversor ADC. Outro sensor utilizado para realizar leituras de temperatura é o LM35, esse sensor produz uma saída analógica diretamente proporcional ao valor de temperatura. Tendo em vista que são sensores baratos e de fácil utilização, esses tipos de sensores são grandes opções para o desenvolvimento de protótipos de soluções para AP.

Sensores de CO₂ e O₂ também são muito utilizados na AP, principalmente em casas de vegetação e analisadores de gases. Os autores como Faris e Mahmood (2014) utilizaram o sensor MG-811 para coletar dados de CO₂ em uma casa de vegetação, esse sensor tem como princípio de funcionamento químico. Os dados de CO₂ foram um dos gases utilizados para avaliar o efeito de um ambiente controlado em plantações. Já no trabalho de Murphy *et al.* (2015), os autores utilizam o sensor SK-25 para realizar a leitura de O₂ em um estudo de RSSF para análise de colmeias de abelhas, esse sensor também apresenta como um princípio de funcionamento químico

Já para atuadores, podemos encontrar diversos tipos para AP. Dentre os principais atuadores podemos observar os motores, exaustores, ventiladores e válvulas pneumáticas e hidráulicas. Esses atuadores recebem informações de algum tipo controlador e exercem algum tipo de atividade sobre uma variável (FERRAZ FILHO *et al.*, 2018). As válvulas são um dos principais atuadores utilizados em sistemas de controle. Segundo o Van Varseveld e Bone (1997), as válvulas oferecem vantagens como baixo custo e facilidade de manutenção.

3.3.3 Controlador fuzzy

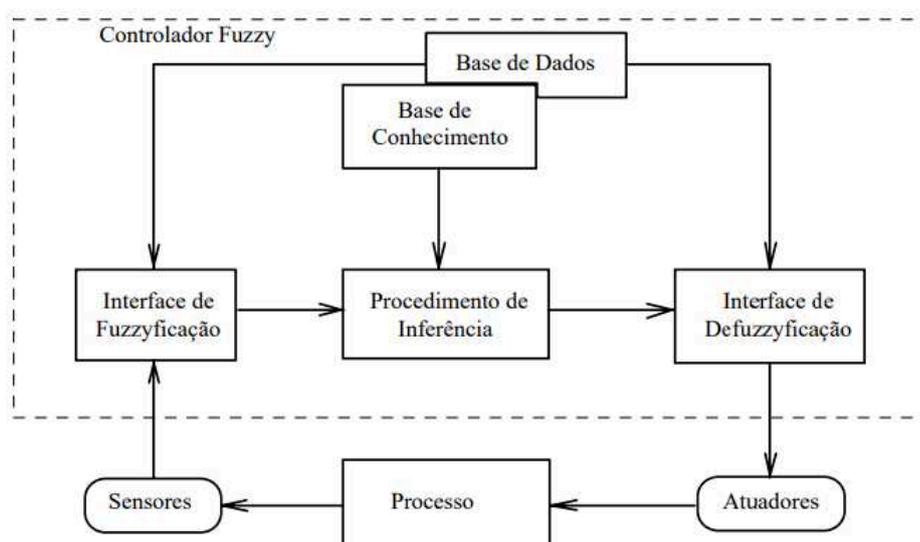
Nos últimos anos tem sido notável o crescente desenvolvimento e utilização de softwares embarcados, eles tem sido empregados nas mais diversas áreas. De acordo com Taurion (2005), um software embarcado nada mais é que um software embutido em um equipamento. Esses equipamentos passam atuar com uma maior funcionalidade e flexibilidade. Hoje o sistemas embarcados podem ser encontrados desde sistemas mais complexos como sistemas industriais e aeronaves, até em sistemas mais simples e comuns como geladeiras e fornos.

No setor industrial, a computação embarcada tem sido fonte de incremento na produção e inovação. Hoje temos sistemas muito complexos e inteligentes, nos quais fazem uso de inteligência artificial. Esses sistemas devem trabalhar em condições extremas, geralmente com intuito de monitorar e controlar alguma tarefa. O processo de controle e automação cresceu muito nos últimos anos visando o desenvolver sistemas que trazem produtos e serviços com menor tempo de produção e maior eficiência.

Um sistema de controle está baseado na união de componentes de software e hardware integrado ao processo de controle do ambiente (TERUEL, 2010). Dentre os controladores, podemos encontrar controles mais tradicionais como controladores proporcionais integrativos (PI), controlador proporcional integral derivativo (PID), e também controles mais novos, como controladores que utilizam lógica fuzzy e redes neurais artificiais.

Na lógica fuzzy, como o próprio nome em inglês já diz, fuzzy representa o incerto, duvidoso e nebuloso. Por meio da lógica fuzzy é possível representar variáveis que não têm equivalência matemática definida. Na lógica fuzzy uma variável é tratada com vários estados possíveis, tendo em cada um dos estados um grau de associação ou pertinência. Um sistema de controle fuzzy é composto por quatro elementos principais: base de regras fuzzy, interface de fuzificação, máquina de inferência fuzzy, e interface de defuzzificação (WEBER; KLEIN, 2003). Esse processo da lógica fuzzy é pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Processo de um controlador fuzzy.



Fonte: Gomide e Gudwin (1994)

Sistemas de controles processam os sinais de entrada e converte estes sinais em uma ação ao qual foi programado. Em um sistema de controle baseado em lógica

fuzzy não é diferente, a ação de controle é totalmente dependente do sinal de saída, sensores leem o estado atual do dispositivo a ser controlado e por meio deste valor é comparado com valor de referência predefinido. Desta comparação resultará em um erro, ao qual o sistema de controle fuzzy fará os ajustes necessários para que o erro seja reduzido a zero (NISE; SILVA, 2002).

De acordo com Vale (2007), as principais vantagens da utilização da lógica fuzzy está em :

- Uso de variáveis linguísticas (heurística);
- Menor esforço computacional;
- Simplifica a solução de problemas usando a experiência do especialista humano;
- Não requer cálculos e equações complicadas.

Nos últimos anos o controle de lógica difusa, ou mais conhecido como controlador fuzzy, foi aplicado com sucesso em uma ampla variedade de problemas. Segundo Castro (1995), as aplicações mais notáveis dos controladores fuzzy estão em controle da temperatura de água, robôs inteligentes, sistemas de troca de calor, velocidade do automóvel, torneamento, sistema de potência e reator nuclear, etc. Na AP, controladores de lógica difusa podem ser empregados em diversas soluções. As principais soluções estão na irrigação (ZHANG; WU; TILT, 1996) (BAHAT *et al.*, 2000) (KOK-KONIS; KONTOGIANNIS; TOMTSIS, 2017), casas de vegetação (LAFONT; BALMAT, 2002) (SALGADO; CUNHA, 2005) (HAHN, 2011).

4 ESTADO DA ARTE

Este capítulo é dedicado a explorar as produções científicas relacionadas a utilização das NTICs em atmosfera modificada aplicada no armazenamento de frutas. Para tanto, é realizada uma revisão sistemática da literatura a fim de elucidar em que patamar os estudos estão sendo realizados nesta área e que tipos de tecnologias e técnicas vêm sendo aplicadas a nível global.

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Quando necessário estudar um determinado tema, deparamos com alguns resultados que muitas vezes são contraditórios. Uma das alternativas para solucionar esse tipo de problema é de basear-se em produções científicas de qualidade sobre o tema. Partindo desse princípio, surgiu um novo delineamento de pesquisa: a revisão sistemática da literatura.

A Revisão Sistemáticas da Literatura (RSL) é definida como uma técnica de investigação científica, essa investigação é realizada sobre um tema central, no qual utiliza de procedimentos e critérios bem definidos para buscar resultados de produção científicas (COOK; MULROW; HAYNES, 1997). Segundo Cordeiro *et al.* (2007), as RSL também permite ao pesquisador, de uma maneira efetiva, o reunir, avaliar criticamente e conduzir uma síntese dos resultados de múltiplos estudos primários.

Nas próximas seções, são identificados os procedimentos adotados para realizar a RSL. Na seção 4.2, é apresentado os procedimentos adotados propriamente dito. Já na seção 4.3 é apresentado as análises estatísticas da revisão. Por último, na seção 4.4 é apresentado as análises descritivas dos trabalhos.

4.2 PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Para explorar os dados da pesquisa, foram utilizadas como fonte de informação três bases de dados: Web of Science, IEEE Xplore e Scopus. O acesso a estas bases foi efetuado através do Portal Capes, ela se encontra disponível no endereço eletrônico www.periodicos.capes.br, estando conectado a rede da Universidade Federal de Santa Catarina.

A Web of Science é uma base de dados para pesquisa, na qual permite ao usuário acessar uma variedade trabalhos de pesquisa de classe mundial vinculada a um núcleo de periódicos rigorosamente selecionado e descobrir novas informações com exclusividade por meio de conexões de metadados e citações meticulosamente capturadas (WEB OF SCIENCE, 2018).

A biblioteca digital IEEE Xplore é um recurso poderoso para a descoberta e acesso a conteúdo científico e técnico publicado pelo IEEE (Instituto de Engenhei-

ros Elétricos e Eletrônicos) e seus parceiros de publicação. Nela pode-se encontrar mais de 195 periódicos, 1.400 processos de conferências, 5.100 padrões técnicos e aproximadamente 2.000 livros (IEEE XPLORE, 2018).

A Scopus é base de dados de resumos e citações, ela abrange cerca de 36.377 títulos de 11.678 editores, dos quais 34.346 são revisados por pares periódicos de nível superior. Nesta base, pode-se encontrar trabalhos das áreas: ciências da vida, ciências sociais, ciências físicas e ciências da saúde (SCOPUS, 2018).

Objetiva-se com essa pesquisa, identificar produções científicas que apliquem a conservação de frutas por meio de atmosfera modificada, buscando reconhecer tecnologias e técnicas empregadas. Durante o processo de pesquisa nas bases de dados acima citadas, foram utilizados alguns termos para conseguir filtrar estudos relacionados ao que a pesquisa propõe. Sendo assim, as palavras-chave (em língua inglesa, pois as bases são internacionais) empregadas durante a pesquisa nas três bases foram: *dynamic controlled atmosphere*, *technology* e *fruit*, buscando estes conceitos nos resumos, títulos e palavras-chave das produções disponíveis.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICAS

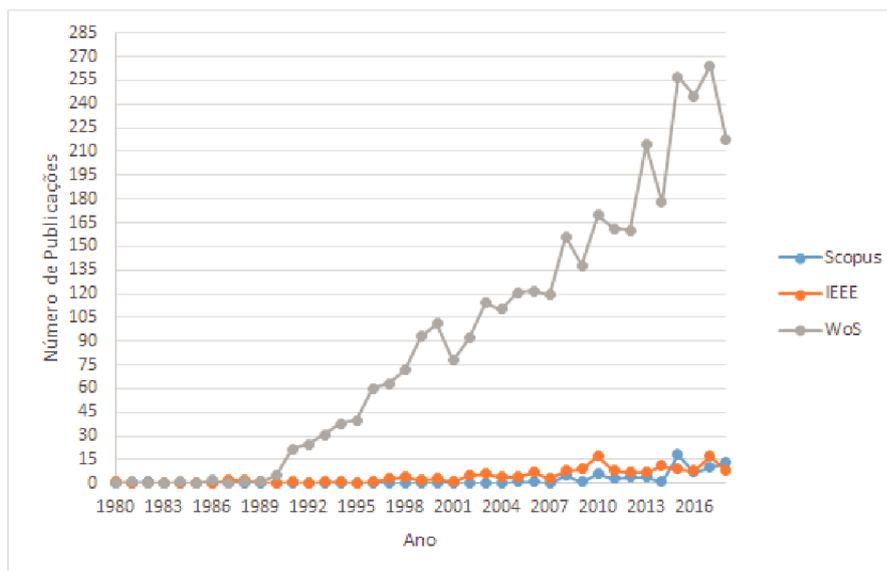
A primeira etapa para o levantamento das produções relacionadas a temática, foi inserido o termo “dynamic controlled atmosphere” (atmosfera dinâmica controlada) nas três bases de dados. Obteve-se um total de 3.708 pesquisas relacionadas ao assunto, sendo 75 na Scopus, 3472 na Web of Science e 161 na IEEE Xplore. A evolução das produções nesta área pode ser observada na Figura 2, separadas por base.

É possível observar no gráfico da Figura 2 que o tema teve suas primeiras publicações em 1980 e nos próximos anos, totalizando cerca de 3708 publicações. Nota-se que o ano que mais ocorreram produções somando as três bases foi em 2017. Neste ano, somando o resultado das três bases, obteve-se um total de 291 produções. Analisando os anos de 2013, 2015, 2016 e 2018 os números de publicações estiveram próximo do ano de 2017, com respectivamente 225, 284, 260 e 238 publicações.

A próxima etapa da revisão, foi adicionar o segundo termo. Para tanto foi inserido nas bases a palavra “technology”(tecnologia), relacionando as tecnologias utilizadas. Este termo combinado a atmosfera dinâmica controlada, resultaram em um total de 254 publicações, na base de dados Scopus foram 35, 166 na Web of Science e 53 na IEEE Xplore. Nota-se que o número de publicação diminuíram consideravelmente. Na Figura 3, é possível observar que somente em 1988 é que surgiram publicações.

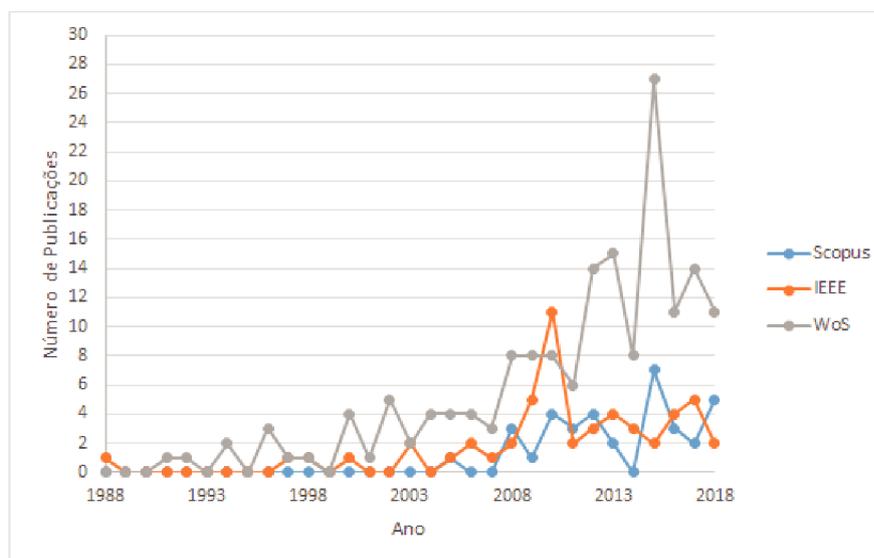
A última etapa da revisão, foi adicionar o terceiro termo para direcionar a pesquisa para o foco principal. Para tanto foi inserido nas bases as palavras “fruits”(frutas), relacionado as frutas. Estes termos combinados a atmosfera dinâmica controlada e tecnologias, resultaram em 31 documentos encontrados na base de dados Scopus,

Figura 2 – Pesquisas relacionadas à atmosfera dinâmica controlada.



Fonte: do autor.

Figura 3 – Pesquisas relacionadas à atmosfera dinâmica controlada e tecnologia.

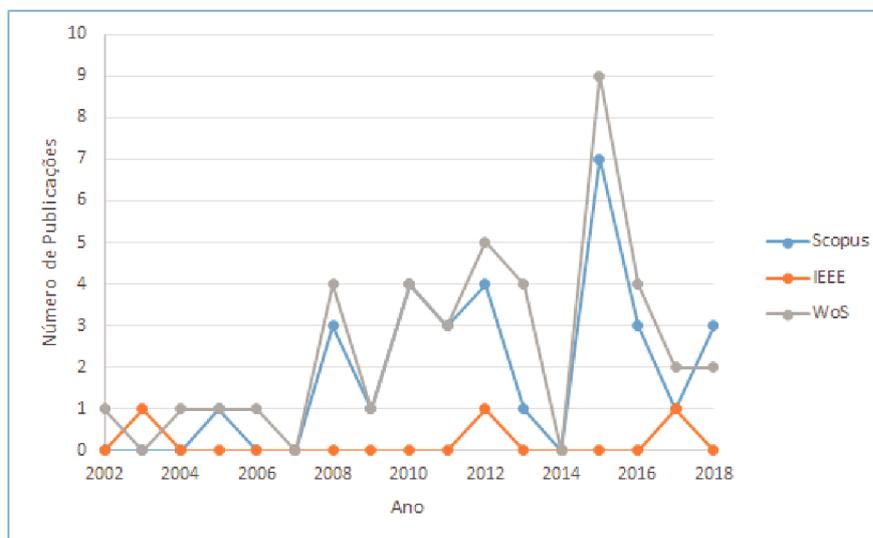


Fonte: do autor.

42 na Web of Science e 3 na IEEE Xplore, totalizando 76 publicações. Nota-se como diminuiriam drasticamente o número de pesquisas quando os termos atmosfera dinâmica controlada e tecnologias foram adicionados. Na Figura 4, é possível observar que somente em 2002 é que surgiram publicações que tratavam do tema específico da pesquisa.

Entre os trabalhos resultantes do último filtro da pesquisa, os tipos de trabalhos

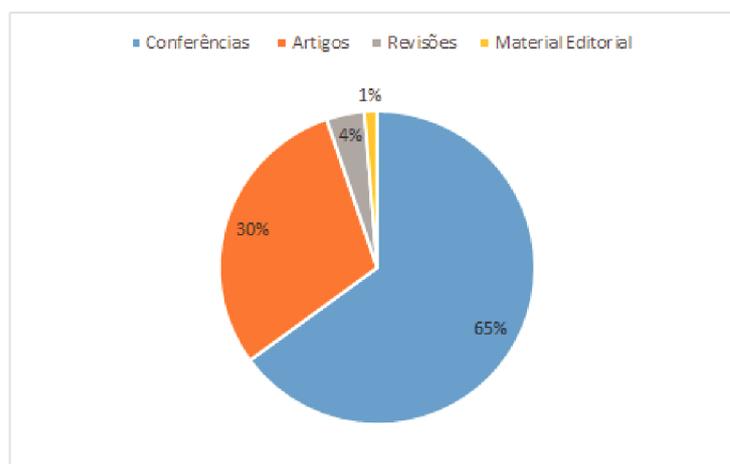
Figura 4 – Pesquisas relacionadas à atmosfera dinâmica controlada, tecnologia e frutas.



Fonte: do autor.

identificados que retornaram das três bases, podem ser observados na Figura 5. É possível observar a predominância de trabalhos publicados em conferências e artigos em revista, somando um total de 95% dos trabalhos.

Figura 5 – Tipos de documentos.

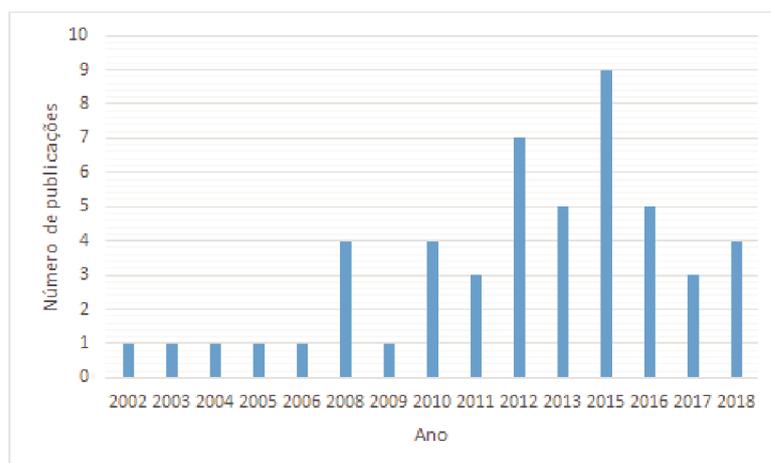


Fonte: do autor.

Aplicando estes últimos filtros, as produções científicas encontradas nas três bases exportadas para o software gerenciador de referências EndNote, onde os trabalhos duplicados foram excluídos. Os trabalhos restantes, totalizando 50, são utilizados nas próximas etapas da análise. As 50 produções restantes foram classificadas por ano de publicação e exibidas na Figura 6. É possível observar no gráfico da Figura 6

que o ano de 2015 teve um destaque em relação aos outros anos.

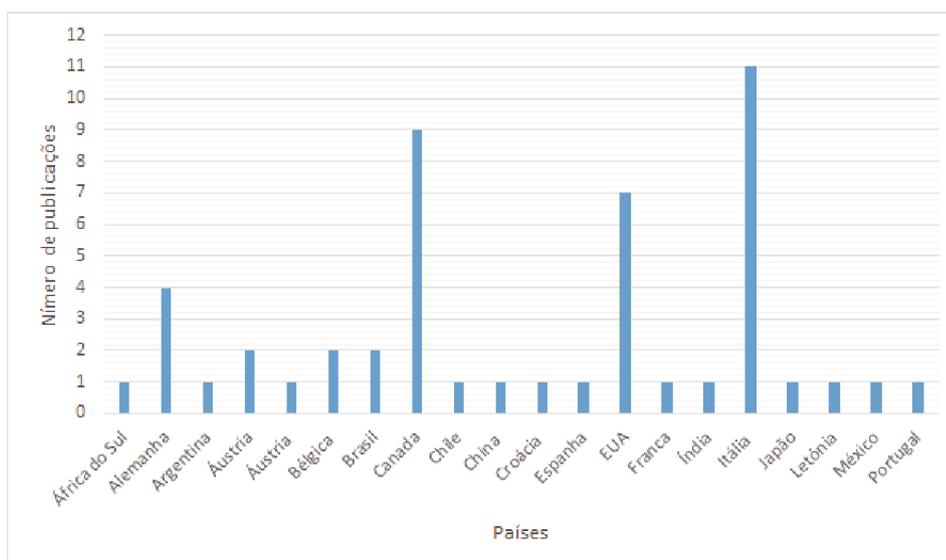
Figura 6 – Número de publicações por ano.



Fonte: do autor.

Para a próxima análise, são exibidos os países de maior destaque de publicações da área da pesquisa. Analisando a Figura 7, o país mais proeminente no assunto é a Itália, totalizando 11 produções científicas. O Canadá aparece em segundo lugar, com 9 publicações, seguindo os Estados Unidos com cerca de 7 publicações.

Figura 7 – Publicação por país de origem.



Fonte: do autor.

Analisando todos os 50 trabalhos, foram analisadas as palavras-chave (keywords) de maior predominância nos textos. As palavras que têm maior destaque são Oxigênio

(Oxygen), Dinâmica (Dynamic), Qualidade (Quality) e Frutas (Fruits). Termos relacionados a tecnologias não aparecem com evidência, isso se dá pela carência de soluções e trabalhos que envolvem atmosfera dinâmica controlada, tecnologias e frutas.

4.4 ANÁLISE DESCRITIVA

Esta seção apresenta a análise descritiva dos artigos com maior relevância. Para isto, foram efetuadas as leituras dos resumos dos 50 trabalhos explorados na seção anterior. Após as leituras das pesquisas, as dez publicações que mais se enquadraram com a temática foram separadas e são comentadas a seguir, considerando uma ordem de maior relevância.

Com esta análise descritiva, objetiva-se elucidar o estado da arte das pesquisas relacionadas as quais tecnologias estão sendo empregadas no controle de atmosfera dinâmica para frutas.

O trabalho de Watkins (2018) nomeado "*A novel type of dynamic controlled atmosphere storage based on the respiratory quotient (RQ-DCA)*", tem como objetivo desenvolver um sistema autônomo para realizar armazenamento dinâmico por meio de AC com base na medição do quociente respiratório, e investigar se o quociente respiratório é benéfico para armazenamento a longo prazo para maçãs. Neste trabalho os autores utilizam de novas tecnologias da informação e comunicação para o desenvolvimento do sistema, a câmara de medição continha um sensor de oxigênio tipo célula galvânica (Figaro KE50, Figaro USA), um sensor de dióxido de carbono não dispersivo (NDIR) (GE Telaire T6615-50KF 50.000 ppm, TELAIRE, EUA) e um sensor de pressão digital (MEAS MS561101BA03, MEAS, Suíça). Para o controle do sistema foram implementados algoritmos em um micro controlador CHIPKIT MAX 32 (Digilent Inc. Pullman, WA, Estados Unidos). O software de controle foi desenvolvido em C++ e no ambiente Arduino de código aberto.

Em seu artigo "*Respiratory quotient: innovative method for monitoring 'Royal Gala' apple storage in a dynamic controlled atmosphere*", A. Weber *et al.* (2015), que tem como objetivo avaliar a qualidade de maçãs "Royal Gala" expostas à nova tecnologia de atmosfera dinâmica controlada e quociente respiratório, sujeitas a níveis quociente respiratório e duas temperaturas, e compará-las com uma atmosfera estática controlada. A temperatura foi controlada por sensores termostatos e verificado por termômetros de bulbo Hg (com uma resolução de 0,1 ° C). A umidade relativa foi monitorada usando psicrômetros com termômetros de mercúrio nas câmaras e mantida a 96% +/- 2%. A concentração de gás na câmara foi monitorada e corrigido por um dispositivo Kronenberger da Siemens® para controle automático. Este equipamento pode ser considerado uma das soluções que englobam as tecnologias da informação e comunicação. Este equipamento corrigiu a pressão parcial de O₂ injetando ar atmosférico e absorvendo o excesso de CO₂ através da circulação de ar em um absorvedor

de CO₂ contendo cal hidratada.

O trabalho de Watkins (2018) nomeado *"New technologies for storage of horticultural products – there is more to adoption than availability!"*, tem como objetivo discutir as razões que podem influenciar a adoção de tecnologias pós-colheita usando alguns exemplos. Neste trabalho é comparado a utilização 1-Metilciclopropeno (1-MCP) e atmosfera dinâmica controlada. Para a análise do estresse de oxigênio das frutas os autores fizeram um uso de uma nova tecnologia da comunicação e informação chamada HarvestWatch™. Essa nova tecnologia é composta por um sensor denominado sensor FIRM, o qual realiza a leitura fluorescência de clorofila, e também faz parte desta solução um software de gerenciamento e controle das leituras dos dados.

A pesquisa de Mditshwa, Fawole e Opara (2018) nomeado *"Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples—A review"*, tem como objetivo apresentar uma revisão sobre os desenvolvimentos recentes no armazenamento por ACD. Os autores apresentam novas tecnologias e sensores da atmosfera dinâmica controlada. Para leitura de fluorescência de clorofila (CF), o autores apresenta a solução tecnológica da HarvestWatch™. Para monitorar o quociente de respiração, é apresentada algumas soluções tecnologias como SafePod da Storage Control Systems Inc e Dynamic Control Respiration da Van Amerongen CA Technology, que são utilizados para monitorar o quociente respiratório de frutas durante o armazenamento. Para leitura do etanol é apresentado o sensor DCS™ da Storex.

Em seu artigo *"Dynamic controlled atmosphere (DCA): interaction between DCA methods and 1-methylcyclopropene on 'Fuji Suprema' apple quality"*, de Anderson Weber *et al.* (2017), que tem como objetivo investigar um valor quociente de respiração apropriado e avaliar a eficiência e interação da aplicação de 1-MCP com os métodos DCA em maçãs. Para a ACD foi utilizada a solução tecnológica HarvestWatch™ para monitorar. Para injeção de alguns gases é utilizado algumas soluções tecnológicas como DaniR da Dani Instruments e Varian gas chromatograph Star CX 3400 model da Varian.

No documento *"Role of Ethylene in Fruits Ripening Process"* de Srividhya e Sujatha (2017), os autores apresentam uma solução para detectar a qualidade no amadurecimentos de mangas. A solução proposta faz uso processamento de imagem, de acordo com a cor das imagens dos frutos, são tomadas as medidas necessárias para aumentar ou diminuir o fornecimento de gás C₂H₄. Para classificação dessas imagens foram utilizadas redes neurais artificiais treinadas com algoritmos genéticos, essas técnicas são muito utilizadas em soluções de novas tecnologias da informação e comunicação, principalmente em soluções para agricultura como contagem de plantas e detecção de falhas em lavouras.

A pesquisa de Tran *et al.* (2015) nomeado *"Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of 'Greenstar' apples using chlorophyll fluorescence"*, tem

como objetivo avaliar o armazenamento em oxigênio extremamente baixo para atmosfera controlada de maçãs 'Greenstar' usando fluorescência de clorofila. Para medição da resposta interativa por fluorescência os autores utilizaram sistema HarvestWatch™ que hoje é comercialmente encontrado, este sistema é baseada na tecnologia de fluorescência para realizar a leitura. Para medição das cores das maçãs, os autores utilizaram a tecnologia denominada Espectrofotômetro Minolta CM-2500D.

No documento "*Ripening Management and Postharvest Fruit Quality*" de Streif (2010), o autor examina o impacto e as perspectivas de amadurecimento da regulamentação sobre a qualidade alimentar das maçãs e, conseqüentemente, seus efeitos sobre as expectativas dos consumidores. Para analisar o impacto o autor apresenta do sensor de fluorescência de clorofila HarvestWatch™, que é capaz de indicar a presença de baixo estresse de O₂ em frutas contendo clorofila. Outro autor que utiliza do sensor de fluorescência de clorofila é Zanella *et al.* (2005). Em seu artigo "*Fruit Fluorescence Response to Low Oxygen Stress: Modern Storage Technologies Compared to 1-MCP Treatment of Apple*", Zanella *et al.* (2005), apresenta um sistema tecnológico composto por sensores de fluorescência HarvestWatch™, aplicado dinamicamente definir o nível de O₂ da AC.

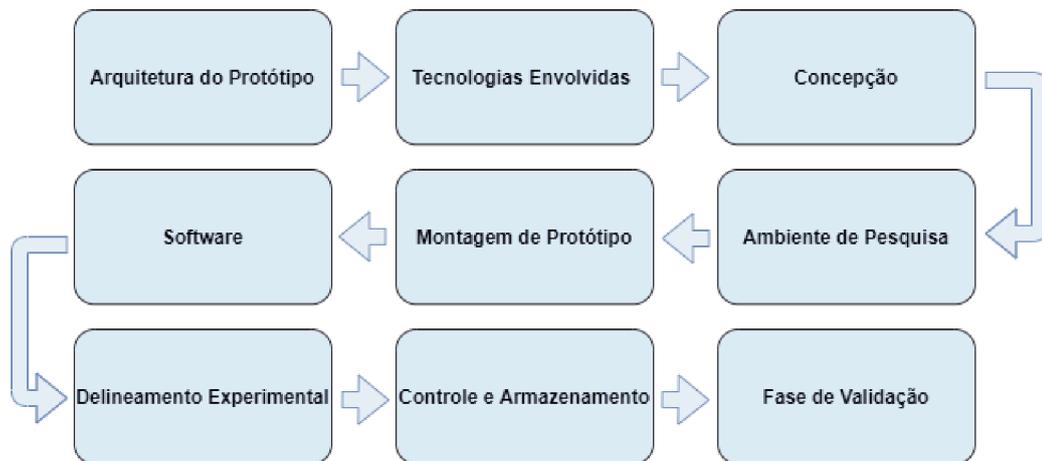
No trabalho "*A New Technology That Determines Low-oxygen Thresholds in Controlled-atmosphere-stored Apples*" de DeLong *et al.* (2004), os autores apresentam uma tecnologia que determina limites baixos de oxigênio em maçãs armazenadas sob AC. Eles apresentam a tecnologia HarvestWatch™ como uma tecnologia rápida, não destrutiva, que permite ao operador monitorar a condição da fruta armazenada sem a inconveniência de quebrar a atmosfera da câmara. O método HarvestWatch facilita uma abordagem dinâmica para estabelecer o O₂ mais baixo tolerável. A identificação de baixo O₂ é baseado unicamente em uma resposta imediata da fruta, a solução não apresenta dados históricos.

Sendo assim, analisados os trabalhos aqui apresentados, esta dissertação propõe analisar o impacto da utilização das NTICs na qualidade de frutas conservadas por câmaras frias. Essa análise foi realizada por meio do desenvolvimento de uma solução completa utilizando NTICs, diferente de grande parte dos trabalhos aqui apresentados será composta por um controlador inteligente e por um ambiente de monitoramento e controle. Esse controlador trabalhou utilizando inteligência artificial, no qual permitiu ser aplicado diferentes tipos de métodos de forma inteligente, sendo eles método AC com controle estático e inteligente, e ACD com RQ estático e RQ dinâmico. Já no ambiente de trabalho, o usuário é capaz de criar diversas tarefas para conservação das frutas, podendo assim monitorar e analisar o resultados obtidos.

5 METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do trabalho. De acordo com a natureza de pesquisa, ela é classificada como tecnológica aplicada, logo se fez necessário o desenvolvimento e aplicação do protótipo a fim de alcançar os objetivos propostos no Capítulo 1. A Figura 8 exemplifica os passos que serão seguidos a fim de explicar todas as etapas no desenvolvimento do protótipo e da aplicação da pesquisa.

Figura 8 – Etapas de aplicação da pesquisa.



Fonte: do autor.

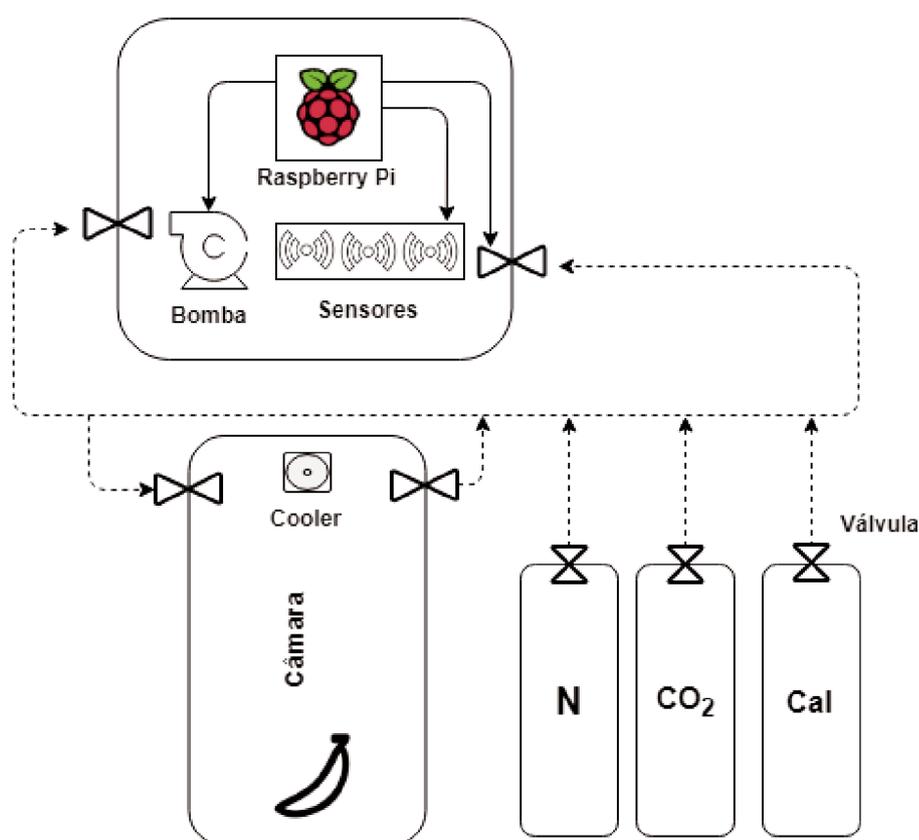
5.1 ARQUITETURA DO PROTÓTIPO

Para atingir os objetivos apresentados no Capítulo 1 e responder à pergunta de pesquisa, foi criado um protótipo visando aumentar a qualidade e tempo de conservação de frutos em AC. A intenção deste trabalho foi de construir um protótipo de um sistema inteligente, utilizando das novas tecnologias da informação e comunicação, de forma que fosse possível monitorar e controlar o armazenamento de frutas. Sendo assim, foram empregados os seguintes componentes:

- Sistema Embarcado: Raspberry Pi;
- Sensores: O₂, CO₂, temperatura e pressão;
- Atuadores: relés, bomba, válvulas e coolers;
- Sistema Web.

A Figura 9 apresenta uma visão geral do protótipo desenvolvido. O sistema pode ser dividido em 3 partes distintas. A primeira parte é o analisador de gases, ele é composto pelos sensores de O_2 , CO_2 , temperatura e pressão, bomba, além de conter um sistema embarcado utilizando Raspberry Pi. O analisador é responsável de realizar as leituras, tomar decisões inteligentes e realizar o chaveamento das câmaras das frutas e atuadores. A segunda parte são as câmaras onde as frutas ficam armazenadas, elas possuem válvulas de chaveamento e um cooler para homogeneização da atmosfera interna. Já a terceira e última parte são os cilindros de Nitrogênio (N_2) e CO_2 , e um adsorvedor composto por cal virgem. //

Figura 9 – Diagrama geral do protótipo.



Fonte: do autor.

5.1.1 Tecnologias Envolvidas

Na construção do protótipo foi utilizado a plataforma de prototipagem Raspberry Pi 3 model B. A placa Raspberry Pi é uma placa de prototipagem de baixo custo, utilizada comumente para o desenvolvimento de protótipos de sistemas embarcados. Desde o seu lançamento, vem sendo lançadas diversas versões da placa Raspberry Pi, hoje as principais placas são Raspberry Pi 2 model A, Raspberry 2 Pi model B, Raspberry Pi 3 Model A e Raspberry Pi 3 Model B (MONK, 2016).

O Raspberry Pi 3 model B, que foi utilizado neste trabalho, tem como especificações um processador Quad Core 1.2GHz Broadcom, 1GB de memória RAM, conexões com internet via wireless e ethernet, 40 pinos digitais e 4 portas USBs. Também foi utilizado no protótipo uma placa de expansão de número de saídas digitais. A placa utilizada foi a IO Pi Plus, ela é uma placa de expansão digital com 32 canais projetada para uso no Raspberry Pi. A comunicação entre o Raspberry Pi e a placa de expansão é realizada pelo canal I₂C (ABELECTRONICS, 2019).

5.1.1.1 Sensores e Atuadores

Como apresentado na seção 3.3.2, sensores são dispositivos que recebem estímulos e geram uma resposta por meio de sinais elétricos. Os sensores podem ser usados para monitorar os mais diversos tipos de ambientes, no qual podem ser dos mais diversos tipos, capazes de medir tensão, temperatura, luminosidade, gases, pressão, entre outros tipos. Na construção do sistema foram elencadas quatro variáveis para serem monitoradas, que são elas, níveis de O₂ e CO₂, pressão e temperatura. Para realizar as leituras destas variáveis foram utilizados os sensores UV Flux Oxygen e COZIR WR CO₂. O sensor UV Flux Oxygen é responsável por realizar a leitura de O₂, temperatura e pressão. Já o sensor COZIR WR CO₂ é responsável por realizar apenas a leitura de CO₂. Ambos os sensores tem como princípio de funcionamento a fluorescência.

Na Tabela 1 é possível observar maiores informações sobre os sensores utilizados neste trabalho.

Tabela 1 – Informação sensores.

Sensor	Comunicação	Variáveis	Faixa	Resolução	Precisão
UV Flux Oxygen	UART	O ₂	0.1 até 25%	0.01%	Melhor que 2% em escala completa +- 2 °C +- 5mbar
		Temperatura	-30 °C até +60 °C	0.1 °C	
		Pressão	500 até 1200 mbar	1mbar	
COZIR WR CO ₂	UART	CO ₂	0.1 até 20%	0.01%	+70 ppm

Fonte: do autor.

Já os atuadores podem ser definidos como dispositivos que exercem um caminho inverso aos sensores, ele transforma um sinal elétrico em uma grandeza física, podendo ser movimento, magnetismo, calor entre outros. Os atuadores são utilizados para controlar e modificar variáveis de um determinado ambiente. Como atuadores, o protótipo desenvolvido contou com:

- Relés (que receberão os sinais do Raspberry Pi e acionarão os outros atuadores);

- Válvula comutadora de gases (Válvula do tipo solenoide 220V);
- Cooler (realizar a homogeneização dentro das câmaras);
- Bomba de ar (realizar a circulação das atmosferas no sistema).

5.1.2 Câmara de Armazenamento

O armazenamento em AC consiste em armazenar frutas dentro de câmaras de armazenamento e controle dos gases do seu interior. Neste trabalho utilizou-se bombonas plásticas com capacidade 200 litros com tampa removível, que ficaram dentro da câmara refrigerada. Acopladas dentro da câmaras de armazenamento também foram fixado coolers para realizar a homogeneização da atmosfera. A Figura 10 representa a bombona utilizada como câmara de armazenamento e o cooler para homogeneização da atmosfera.

Figura 10 – Bombona de armazenamento e cooler



Fonte: do autor.

5.1.3 Plataforma de monitoramento

Para armazenar as informações dos sensores e atuadores, o sistema embarcado utilizará o Banco de Dados MySQL. O MySQL é um banco de dados completo, robusto e extremamente rápido, com todas as características existentes nos principais bancos de dados disponíveis no mercado (MILANI, 2007). Os dados armazenados pelo sistema embarcado serão apresentadas em um aplicação web padrão de monitoramento desenvolvida pelo Laboratório de Pesquisa Aplica da Universidade Federal de

Santa Catarina. Essa aplicação foi desenvolvida utilizando das tecnologias Node.JS, REACT e bootstrap.

Nesta plataforma o usuário pode cadastrar as frutas em que será realizado o armazenamento. Também é possível cadastrar as atividades de armazenamento, podendo ser selecionado o tipo de tratamento em cada uma delas. E por fim, é possível acompanhar o monitoramento das variáveis em cada uma das atividades.

5.2 MONTAGEM PROTÓTIPO

Utilizando os componentes citados anteriormente, nesta etapa serão elencados os passos metodológicos para o desenvolvimento e implantação do protótipo na câmara de armazenamento refrigerado.

5.2.1 Concepção

Em um primeiro momento, o protótipo foi concebido e montado em dois painéis elétricos. Em um dos painéis foi montado o sistema embarcado composto pelo Raspberry Pi, sensores de O₂ e CO₂, fonte de alimentação, placa de expansão para os relés e uma bomba para auxiliar a circulação da atmosfera pelos sensores. Na Figura 11 é possível observar o painel montado com seus componentes.

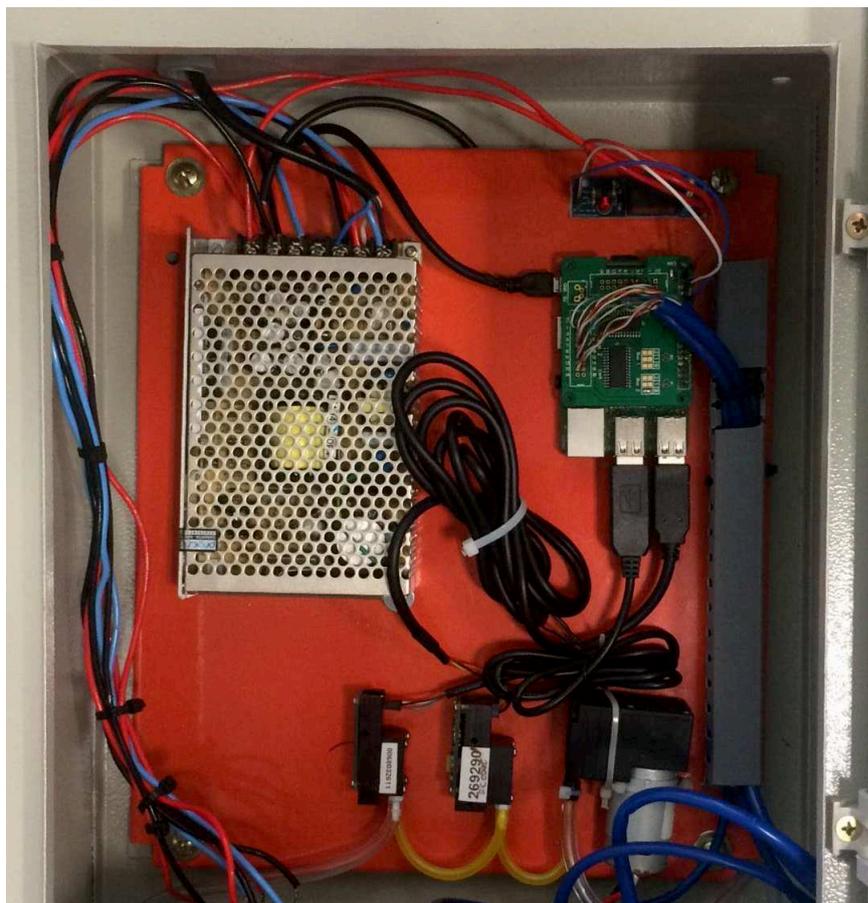
No segundo painel foi montado o sistema pneumático, mecânico e elétrico. Nele contem as válvulas eletromecânicas, essas válvulas são responsáveis por todo controle mecânico do sistema. Para o acionamento destas válvulas foram anexados ao painel módulos relés, esses módulos recebem informações do Raspberry Pi para o controle e acionamento das válvulas. No painel também foi anexado uma bomba para auxiliar na circulação das atmosferas pelo sistema. Na Figura 12 é possível observar o painel montado seus componentes.

Além dos painéis, foram montadas 4 câmaras de armazenamento para as frutas. Essas câmaras possuem uma capacidade de 200 litros cada e possuem entrada e saída para circulação da atmosfera pelo sistema. As câmaras também possuem um sifão para controle e segurança da pressão interna.

5.2.2 Ambiente

O protótipo foi montado na agroindústria de processamento vegetal com sistema refrigerado para armazenamento de frutas, localizada no IFC – Campus Santa Rosa do Sul o ambiente foi totalmente preparado com a temperatura média de armazenamento de 14°C. No interior da agroindústria e externamente ao sistema de refrigeração deu-se início a montagem do protótipo. Primeiramente foi realizada uma instalação elétrica para fornecer energia para os equipamentos e posteriormente foram acoplados os

Figura 11 – Painel analisador



Fonte: do autor.

dois painéis na parede. Na Figura 13 é possível visualizar a instalação dos painéis juntamente a câmara de refrigeração.

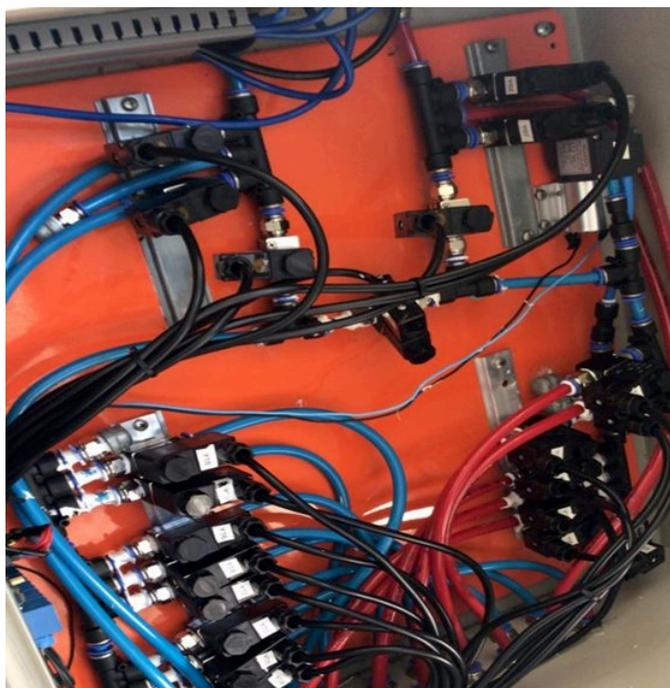
Na próxima etapa, foram instaladas as 4 câmaras de armazenamento no interior do sistema de refrigeração, sendo cada uma delas conectada ao segundo painel. Na Figura 14 é possível observar as 4 câmaras instaladas no interior do sistema de refrigeração.

Por fim, conforme apresentado foram realizadas a montagem do adsorvedor de CO₂ com cal virgem e instalados os cilindros de N₂ e CO₂. Os cilindros de N₂ e CO₂ foi configurado com uma baixa pressão de saída.

5.3 SOFTWARE DESENVOLVIDO

Como visto anteriormente, o software de um sistema embarcado é de suma importância para o sistema como um todo. Ele é responsável por gerenciar vários dispositivos e sistemas de hardware. Neste trabalho podemos dividir o software do sistema em duas partes, a primeira é o sistema operacional nele embarcado e o segundo

Figura 12 – Painel mecânico e elétrico.



Fonte: do autor.

é o software inteligente desenvolvido para monitorar e controlar o armazenamento das frutas.

Para o Raspberry Pi é possível encontrar diversos sistemas operacionais compatíveis com a sua arquitetura. Os principais sistemas operacionais disponíveis são Raspbian, Ubuntu Mate, Windows 10 IoT e OSMC. No protótipo foi utilizado o sistema operacional Raspbian, pois é o sistema operacional oficial do Raspberry Pi e é uma distribuição Linux. Nele é possível realizar programação em diversas linguagens como Python, C, Sonic Pi, Java e entre outros.

Para o software embarcado de controle e monitoramento foi utilizado a linguagem de programação Python. Nesta parte do software podemos dividir o sistema em duas partes, a primeira seria os controladores das atmosferas e a segunda os métodos de controlar e monitorar o limite crítico respiratórios das frutas. Para o controle das atmosferas foram desenvolvidos dois tipos de controladores, um denominado controle estático e outro controle inteligente.

Os softwares desenvolvidos foram aplicados nos seguintes tratamentos: AC - Atmosfera Controlada (controle estático), ACD - Atmosfera Controlada Dinâmica com QR (estático), ACDi - Atmosfera Controlada Dinâmica com QR (dinâmico) e ACi - Atmosfera Controlada (controle inteligente).

Figura 13 – Painéis do sistema.



Fonte: do autor.

5.3.1 Controladores da Atmosfera

Os controladores de atmosferas tem como objetivo monitorar a atmosfera por meio dos sensores de O_2 e CO_2 e atuar até que o valor desejado (setpoint) seja atingido. A atuação dos controladores de atmosferas acontecem de acordo com a Tabela 2. Em ambos os controladores a saída nos atuadores são realizadas em tempo (segundos), ou seja, em cada uma das situações os controladores definem a duração de inserção de N_2 , ar atmosférico, cal vigem (adsorvedor) ou CO_2 .

Para o controlador estático a duração de cada inserção é fixa. A duração de cada saída pode ser observada na Tabela 3. Os valores de inserção para este controlador foram definidas de acordo com testes experimentais realizados em laboratório.

Na Figura 15 é possível observar o diagrama de funcionamento do tratamento AC, tratamento este que utiliza um controlador estático para o controle da atmosfera.

Figura 14 – Câmaras de armazenamento.



Fonte: do autor.

Tabela 2 – Controle Atmosfera.

Atmosfera	Controlador
O ₂ acima do desejado	Inserir Nitrogênio
O ₂ abaixo do desejado	Inserir ar atmosférico
CO ₂ acima do desejado	Recirculação Cal Virgem (adsorvedor)
CO ₂ abaixo do desejado	Inserir CO ₂

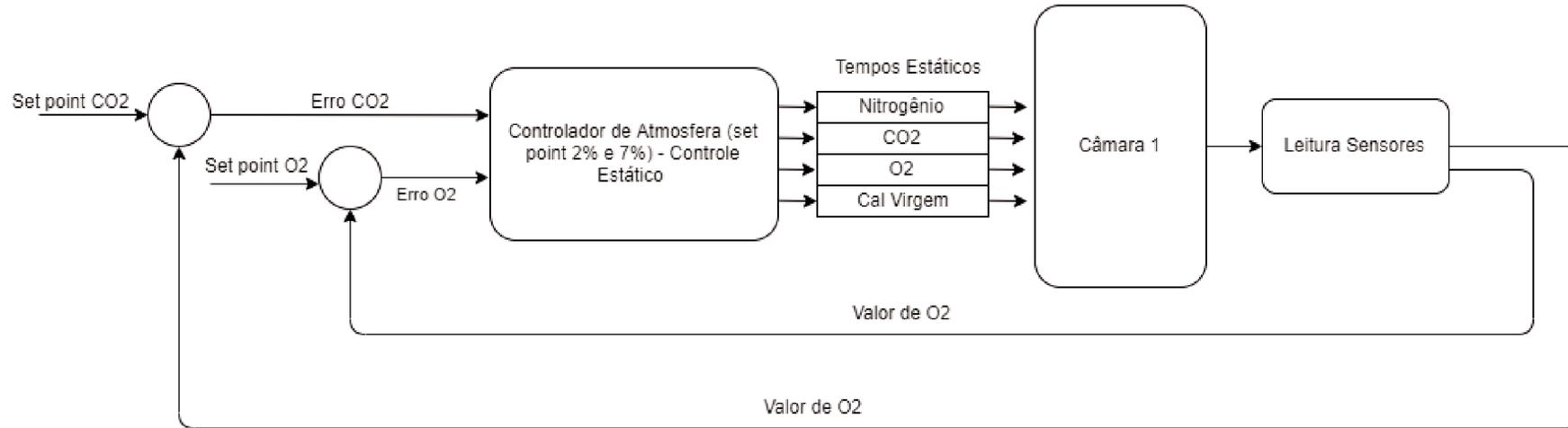
Fonte: do autor.

Tabela 3 – Duração controlador estático atmosfera.

Saída	Tempos (s)
Nitrogênio	600
Ar Atmosférico	60
Cal Virgem	60
CO ₂	60

Fonte: do autor.

Figura 15 – Processo controlador estático.



Fonte: do autor.

Neste tratamento os setpoints para O_2 e CO_2 , são de 2% e 7%, respectivamente.

Já o controlador inteligente foi desenvolvido baseado em lógica fuzzy. Neste controlador as entradas são o erro de O_2 e o erro de CO_2 , esse erro é a diferença entre o valor desejado e o valor atual da atmosfera. As saídas de N_2 , ar atmosférico, cal virgem (adsorvedor) e CO_2 são variáveis de acordo com as regras definidas no controlador fuzzy. Na Figura 16 é possível observar o funcionamento do controlador inteligente. O tratamento ACi utiliza deste controlador para o controle de atmosfera, neste tratamento os setpoints para O_2 e CO_2 , são de 2% e 7%, respectivamente.

Conforme apresentado por Souza (2008), sistemas especialista são programas que solucionam problemas em determinadas áreas, uma de suas características é a de monitorar comportamentos e ter a capacidade de emissão ou auxílio de tomadas de decisão baseadas em conhecimento humano especialista. Utilizou-se conhecimento de especialistas das áreas de agricultura e computação para o desenvolvimento das regras do controlador fuzzy.

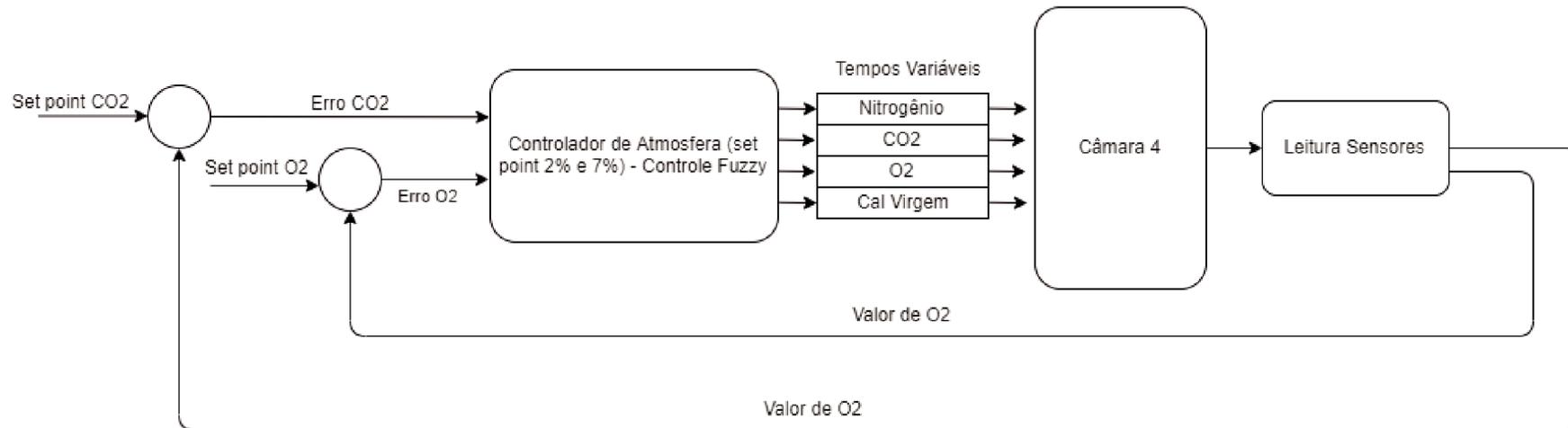
Os conjuntos de entrada do controlador fuzzy são os erros de CO_2 e erros de O_2 . Os erros de entrada podem variar de -300 até 300. Na entrada do erro de CO_2 , caso ela for negativa, ou seja, variar -300 até 0, o sistema definirá o tempo de saída de inserção de cal virgem. Caso o erro de CO_2 for positivo, variando de 0 até 300, o sistema definirá o tempo de saída para CO_2 . Foram definidas um total de 16 conjuntos para entrada erro de CO_2 . Já para o erro de O_2 , se o erro for negativo, ou seja, variar -300 até 0, o sistema definirá o tempo de saída de inserção de ar atmosférico. Caso o erro de O_2 for positivo, variando de 0 até 300, o sistema definirá o tempo de saída para N_2 . Foram definidas um total de 16 conjuntos para entrada erro de O_2 no sistema inteligente.

Também foram definidas os conjuntos para saídas do controlador fuzzy. Os limites da saída de O_2 , podem variar de 0 até 60 segundos. Para a saída de CO_2 foram definidos pelo especialista os limites para inserção de CO_2 de 0 até 200 segundos. Na saída de Cal Virgem (adsorvedor) foram criados os conjuntos com os limites para inserção de Cal de 0 até 600 segundos. Por fim, para N_2 , foram criados os conjuntos de saídas com os limites para inserção de Cal de 0 até 600 segundos. Aliando as entradas com as saídas temos as regras Fuzzy, para o sistema todo, ou seja, 2 entradas e 4 saídas, foram definidas 32 regras fuzzy.

5.3.2 Controle do quociente de respiração

Para detectar o limite crítico respiratório das frutas foram desenvolvidos dois sistemas de controle e monitoramento. Esses sistemas realizam o controle dinâmico de oxigênio por meio de medições do quociente respiratório nas câmaras. O quociente respiratório foi calculado levando em consideração o consumo e a produção de O_2 e CO_2 , respectivamente, pelo fruto. O cálculo do QR é dado pela Equação (1). Os

Figura 16 – Processo controlador fuzzy



Fonte: do autor.

sistemas desenvolvidos para controle dinâmico de oxigênio por meio do QR seguiram as seguintes regras:

- Inicialmente os valores de O_2 e CO_2 foram regulados para 2% e 7% respectivamente;
- Os valores de O_2 e CO_2 são monitorados durante um período de 5 horas, sem ações de controle. O QR é calculado com base nas mudanças medidas nas frações de O_2 e CO_2 . Alguns critérios são verificados para que o QR calculado seja válido:
 - A mudança de O_2 em função do tempo deve ser negativa;
 - A mudança de CO_2 em função do tempo deve ser positiva;
 - O valor de QR deve ser maior que 0,3.

No primeiro sistema desenvolvido, denominado controle dinâmico de oxigênio por quociente respiratório estático, é realizado os ajustes no setpoint de O_2 de forma fixa. Na Tabela 4 é possível observar o funcionamento do controle estático do QR e seus valores de ajuste.

Tabela 4 – QR estático.

QR	Novo setpoint O_2
QR > 1.6	setpoint atual O_2 + 0.4%
QR < 1.3	setpoint atual O_2 - 0.6 %
QR inválido	setpoint atual O_2

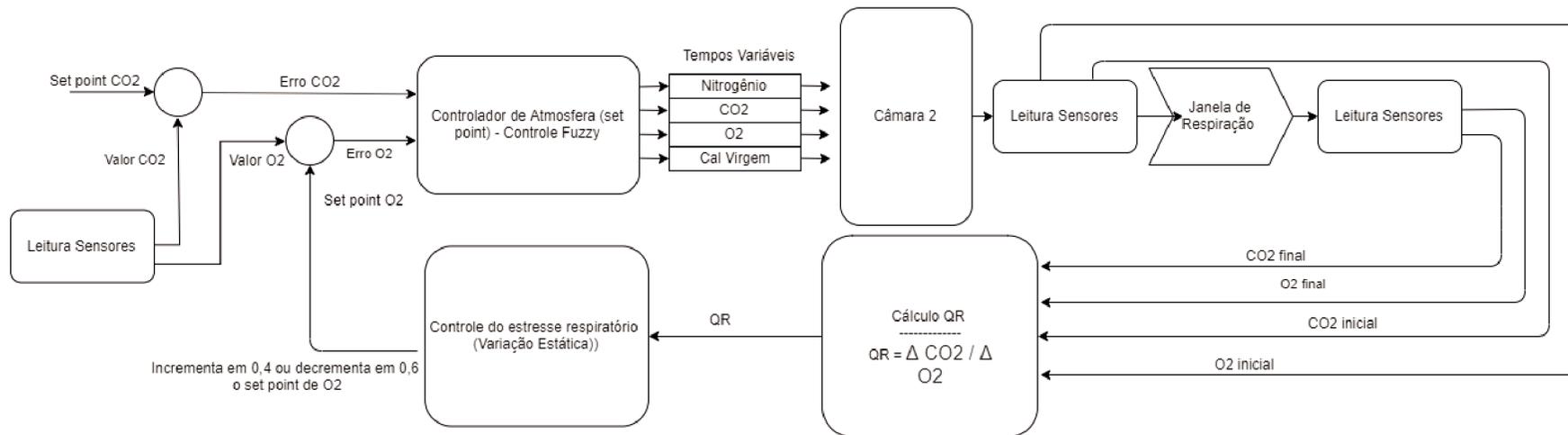
Fonte: do autor.

Na Figura 17 é possível observar o sistema que detecta o estresse respiratório do tratamento ACD. Além de utilizar o controlador inteligente para o controle de atmosfera, neste tratamento o setpoint de O_2 é alterado de forma estática.

Já para o segundo sistema desenvolvido para detectar o estresse respiratório, denominado controle dinâmico de oxigênio por quociente respiratório variável, os ajustes no setpoint de O_2 são realizados de forma variável. O controle dinâmico de oxigênio por quociente respiratório variável é composto por um sistema inteligente, pois faz uso da lógica fuzzy para apresentar a resposta de quanto o setpoint de O_2 será alterado. Na Figura 18 é possível observar o sistema que detecta o estresse respiratório do tratamento ACDi Além de utilizar o controlador inteligente para o controle de atmosfera, neste tratamento os setpoints para O_2 e CO_2 são alterados de forma dinâmica.

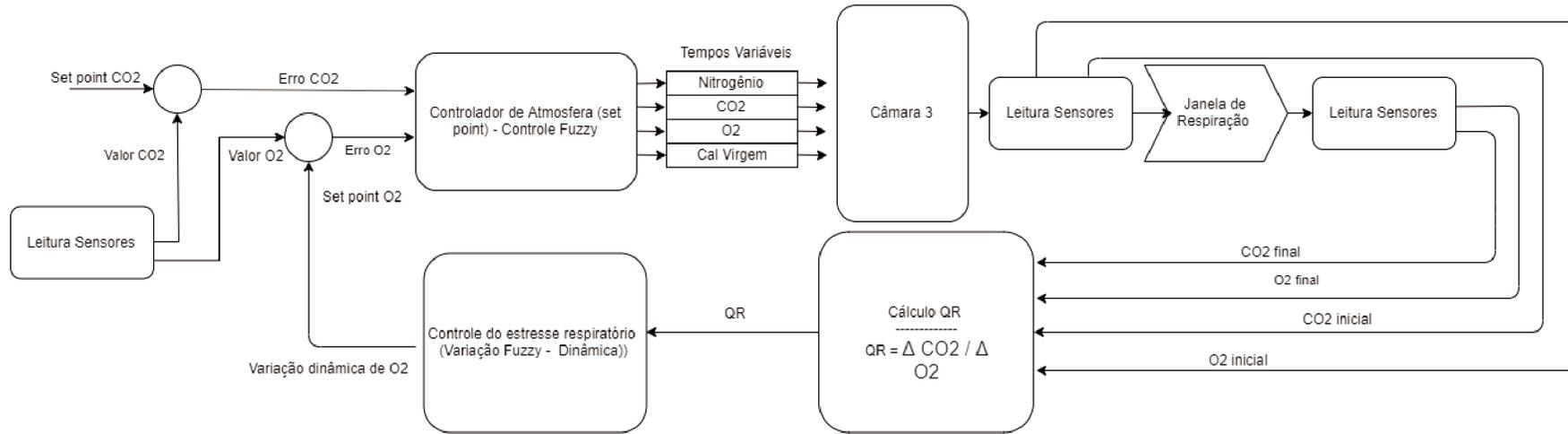
Como conjunto de entrada do sistema fuzzy, temos o valor do QR, o conjunto possui uma "lacuna" entre os valores 1.3 e 1.6, pois esse valor é considerando um valor ideal para o sistema. Para o conjunto da saída temos o fator de ajuste de setpoint O_2 .

Figura 17 – Processo controlador QR estático.



Fonte: do autor.

Figura 18 – Processo controlador QR dinâmico.



Fonte: do autor.

Unindo a entrada (QR) com a saída (fator de alteração do setpoint de O_2) temos as regras Fuzzy. Na Tabela 5 é representada o funcionamento do controle variável do QR.

Tabela 5 – QR dinâmico.

QR	Novo setpoint O_2
QR > 1.6	setpoint atual O_2 + fator variável (%)
QR < 1.3	setpoint atual O_2 - fator variável (%)
QR inválido	setpoint atual O_2

Fonte: do autor.

5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida com bananas do cultivar Prata do tipo comum. Os frutos analisados foram coletados em bananais no município de Jacinto Machado, SC, cujo os dados apresentados pelo Município de Jacinto Machado (2019) em seu plano de desenvolvimento do turismo sustentável integrado, a altitude do município é de 50 metros, e a pluviosidade média anual na região é de 1366mm. O clima do município de Jacinto Machado é classificado como clima temperado (Cfb) “mesotérmico úmido e verão ameno” nas áreas de maior altitude e como clima subtropical (Cfa) “mesotérmico úmido e verão quente” nas demais áreas. As bananas foram fornecidas pela Associação dos Bananicultores da Sanga da Curva, no total foram coletadas cerca de 100kg de bananas.

Utilizou-se como critério para classificação os dados apresentados pela Federação da Agricultura do Estado do Paraná (2019), onde foram selecionadas as bananas do padrão do tipo A. Onde o diâmetro está entre 32 a 36cm e comprimento de 18 a 22cm. E todas as frutas estavam totalmente verdes segundo a classificação de Von Loesecke (1950).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, compreendendo 5 tratamentos. Cada tratamento consistiu de 5 repetições, sendo a unidade experimental formada por 3 buquês de 3 dedos, totalizando 450 frutos no experimento todo. Os frutos foram armazenados em câmara fria e mantidos em temperatura média de 14°C e umidade relativa de 75% até atingirem o período final de análise.

Os tratamentos foram denominados como :

- AR - Ambiente Refrigerado;
- AC - Atmosfera Controlada (AC com controle estático - 2% de O_2 e 7% de CO_2);
- ACD - Atmosfera Controlada Dinâmica (ACD com QR estático);
- ACDi - Atmosfera Controlada Dinâmica (ACD com QR dinâmico);

- ACi - Atmosfera Controlada (AC com controle inteligente - 2% de O₂ e 7% de CO₂).

Os atributos de qualidade avaliados foram a massa fresca(g) dos frutos antes e após os tratamentos. As pesagens foram realizadas com uso de uma balança da marca DIGIPESO e modelo DP 15/30. Também foram analisadas a firmeza e resistência de despencamento do fruto, que foram determinadas através de penetrômetro digital (marca Turoni 53205). Para análise da firmeza, foi utilizado uma ponteira de 8 mm, fazendo-se a leitura no centro de cada fruto após a retirada da casca. Ambos os resultados foram expressos em Newton.

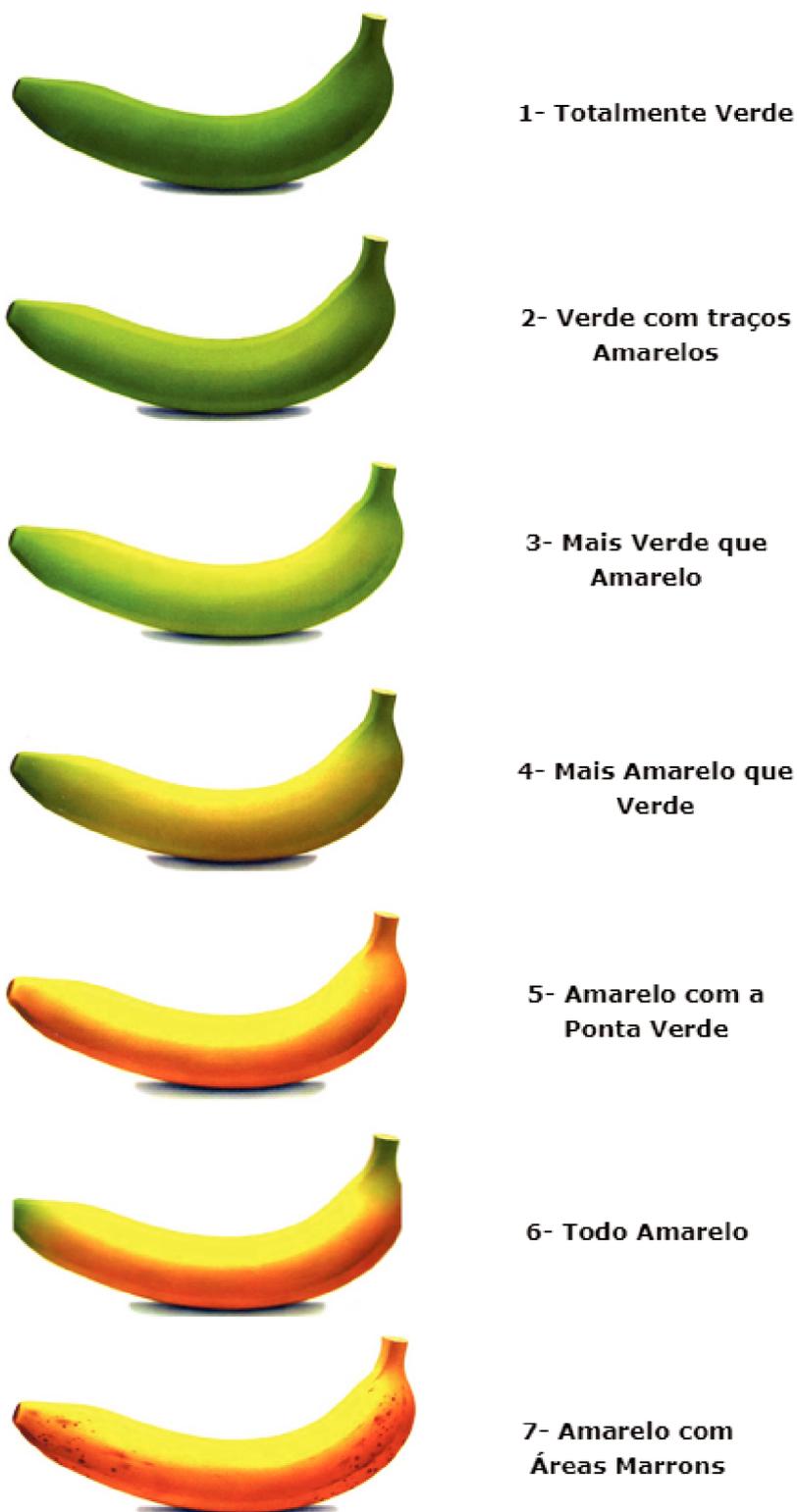
Foram também avaliadas as colorações das bananas por dois métodos. No primeiro método foi utilizado um espectrofotômetro, que é um tipo comum de equipamento apropriado para descrever numericamente elementos da composição de uma cor em superfícies (GONÇALEZ *et al.*, 2001). O modelo de cor utilizado foi o CIE LCH, ele representa as cores em um valor absoluto em três coordenadas independentes: luminosidade, saturação e tom. A marca e modelo do espectrofotômetro é Delta Vista 450G. No segundo método, foram avaliadas as colorações das bananas quanto as cores, sendo parametrizado as seguintes colorações: 1 - totalmente verde ; 2 - verde com traços amarelos; 3 - mais verde que amarelo; 4 - mais amarelo do que verde; 5 - amarelo com ponta verde; 6 - todo amarelo; e 7 - amarelo com áreas marrons, de acordo com a escala de cores de Von Loesecke (1950). Na Figura 19 é possível observar o exemplo da escala de cor em bananas.

Para as avaliações químicas, os frutos foram descascados e amostras de porções de polpa foram retiradas da parte central do fruto. O conteúdo de Sólidos Solúveis Totais (SST) foi determinado no suco homogeneizado, na proporção de 10g de polpa para 100ml de água deionizada. Uma gota do suco foi transferida para um refratômetro digital portátil, modelo RTP 20 ATC. A mesma amostra do suco foi utilizada para a medição do pH, feita diretamente em aparelho PHmetro PH-009. A acidez foi medida por titulometria de neutralização com NaOH 0,1 N até pH 8,1 e os valores foram expressos em volume gasto de NaOH (ml).

Além de serem avaliados após o armazenamento (30 e 45 dias de armazenamento), foram avaliados também algumas características dos frutos após 5 e 7 dias armazenados em 20 °C. Essas duas posteriores avaliação são realizadas para simular o tempo de transporte e prateleira dos frutos.

Em todos os tratamentos foram colocados 10g de permanganato de potássio em sachês dentro das câmaras, utilizou-se o permanganato, pois ele é um adsorvedor de etileno. Inicialmente todos os tratamentos foram submetidos por 4 dias a uma atmosfera de 2% de O₂ e 4% de CO₂. Isso foi necessário para que os frutos se aclimataram a uma atmosfera de baixo nível de O₂ e um nível médio de CO₂.

Figura 19 – Exemplo de coloração.



Fonte: Federação da Agricultura do Estado do Parana (2019).

6 RESULTADOS E AVALIAÇÕES

Este presente capítulo é dedicado a análise dos dados coletados durante todo experimento, aplicando 5 tratamentos visando aumentar a qualidade e tempo de conservação de frutas: AR - Ambiente Refrigerado, AC - Atmosfera Controlada, ACD - Atmosfera Controlada Dinâmica, ACDi - Atmosfera Controlada Dinâmica Inteligente e ACi - Atmosfera Controlada Inteligente. O experimento faz uso da fruta Banana do cultivar Prata. Durante as sessões do capítulo, são discutidos os resultados provenientes da pesquisa divididos por etapas, evidenciando a aplicação da NTICs visando o aumento da qualidade e tempo de conservação de frutas.

6.1 RESULTADOS TÉCNICOS CONTROLADORES

Nesta seção será apresentado os dados técnicos dos controladores desenvolvidos neste trabalho. Para os tratamentos, AC, ACD, ACDi e ACi, podem ser analisados os valores médios de O_2 e CO_2 e o tempos de injeção (valor gasto) durante todo o experimento. Nos tratamentos T3 e T4, também podem ser analisados os valores médios de QR.

A Figura 20 apresenta a ação de controle do tratamento AC, nele é utilizado um controlador estático de atmosfera. Na Tabela 6, podemos observar que os valores médios O_2 e CO_2 foram de 2.5 % e 6.71 %, respectivamente. E também na Tabela 7 é possível observar os tempos de injeção neste tratamento, para nitrogênio, CO_2 , O_2 e Cal, foram de 4,91, 0,35, 0,53 e 0,1 horas, respectivamente.

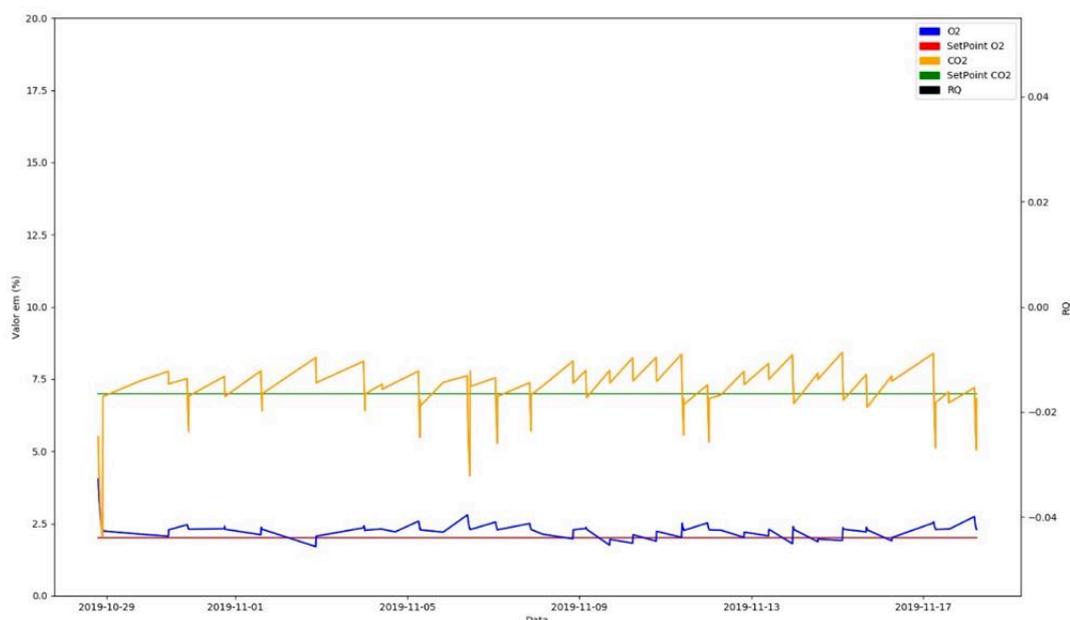
Já a Figura 21 apresenta a ação de controle do tratamento ACi, nele é utilizado um controlador atmosfera inteligente. Na Tabela 6, podemos observar que os valores médios O_2 e CO_2 foram de 2.1 % e 6.7 %, respectivamente. Na Tabela 7 é possível observar os tempos de injeção neste tratamento, para nitrogênio, CO_2 , O_2 e Cal, foram de 4,10, 0,20, 1,31 e 0,20 horas, respectivamente.

A Figura 22 apresenta a ação de controle do tratamento ACD, nele é utilizado um controle de atmosfera dinâmica (QR estático) . Na Tabela 6, podemos observar que os valores médios O_2 , CO_2 e RQ, foram de 2.9 % e 7.01 % e 2.34, respectivamente. E também na Tabela 7 é possível observar os tempos de injeção neste tratamento, para nitrogênio, CO_2 , O_2 e Cal, foram de 4,08, 0,21 ,1,17 e 0,09 horas, respectivamente.

Por fim, na Figura 23 é apresentado a ação de controle do tratamento ACDi, nele é utilizado um controle de atmosfera dinâmica inteligente (RQ dinâmico) . Na Tabela 6, podemos observar que os valores médios O_2 , CO_2 e RQ, foram de 2.37 % e 7.09 % e 1.86, respectivamente. E também na Tabela 7 é possível observar os tempos de injeção neste tratamento, para nitrogênio, CO_2 , O_2 e Cal, foram de 2,34, 0,08 , 0,80 e 0,07 horas, respectivamente.

Analisando os valores médios de O_2 e CO_2 em cada tratamento apresentado na

Figura 20 – Setpoints do tratamento AC.



Fonte: do autor.

6, pode-se observar que para os controladores AC (AC e ACi) os valores mais próximos do setpoint ficaram no tratamento ACi. Este controle é composto por uma inteligência artificial para controle de atmosfera, diferente do tratamento AR que é composto por um controle estático para os ajuste de setpoints. Já nos controladores ACD e ACDi, o principal fator a ser analisado é o valor de RQ, pois valores de O₂ e CO₂ são variados dinamicamente conforme o valor de RQ. Entre este dois, o tratamento que mais se aproximou do valor de RQ ideal (1.3 até 1.6) foi o tratamento ACDi. Neste tratamento é utilizado um controlador com inteligência artificial para o RQ e também no controle da atmosfera.

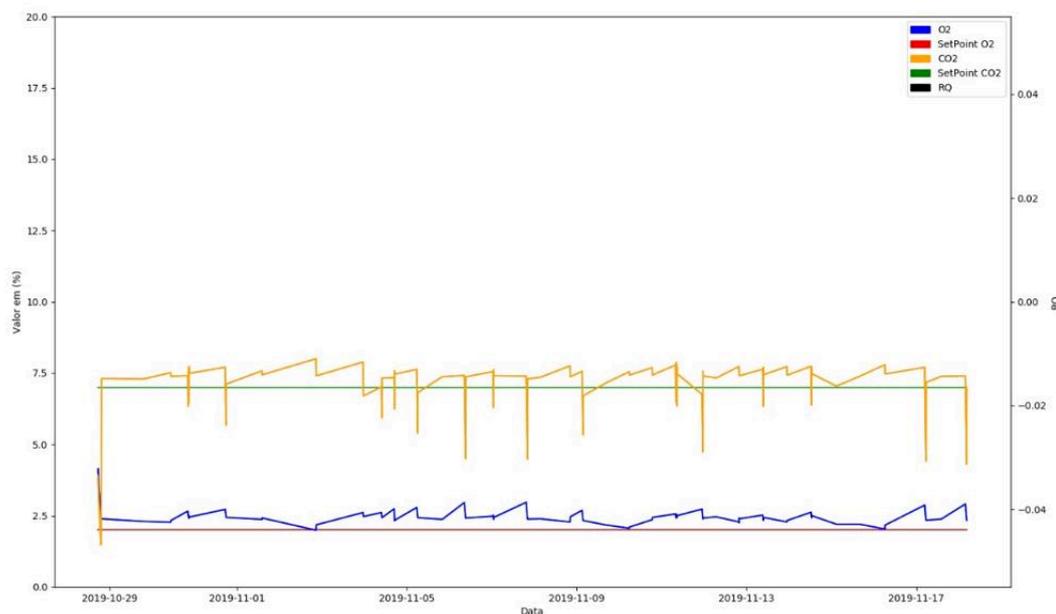
Tabela 6 – Valores Médios O₂ e CO₂.

Tratamento	Média O ₂ (%)	Média CO ₂ (%)	Média RQ
AC	2.50	6.71	-
ACD	2.90	7.01	2.34
ACDi	2.37	7.09	1.86
ACi	2.10	6.70	-

Fonte: do autor.

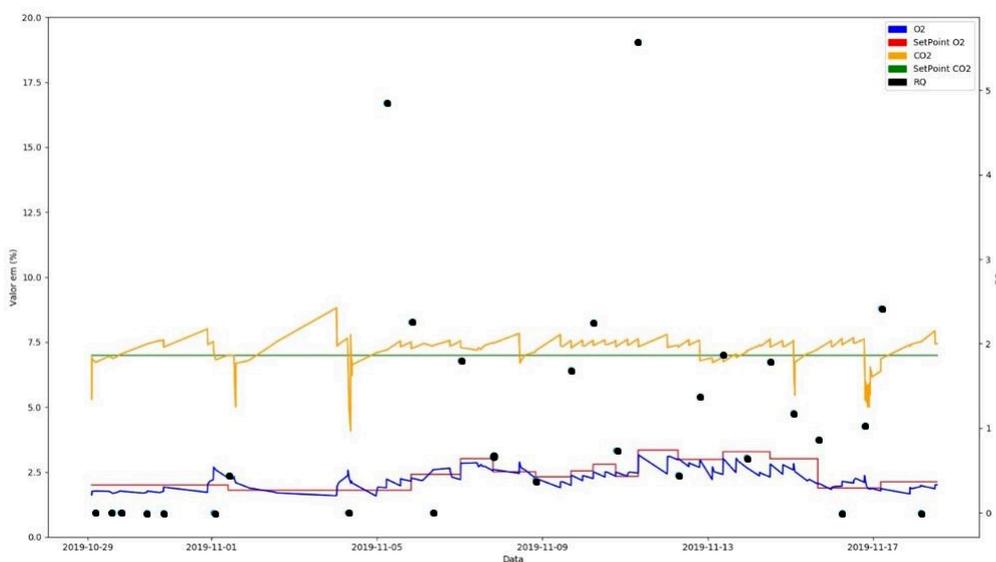
Em relação os custos de injeção de cada tratamento apresentado na tabela 7, os principais valores a serem analisados são os nitrogênio e CO₂. Fica evidente que o tratamento ACDi obteve o melhor custo em relação aos outros. Para nitrogênio ele utilizou praticamente a metade em relação a AC, ACi e ACD. Para o CO₂ ele também

Figura 21 – Setpoint do tratamento ACi.



Fonte: do autor.

Figura 22 – Setpoint e QR do tratamento ACD.



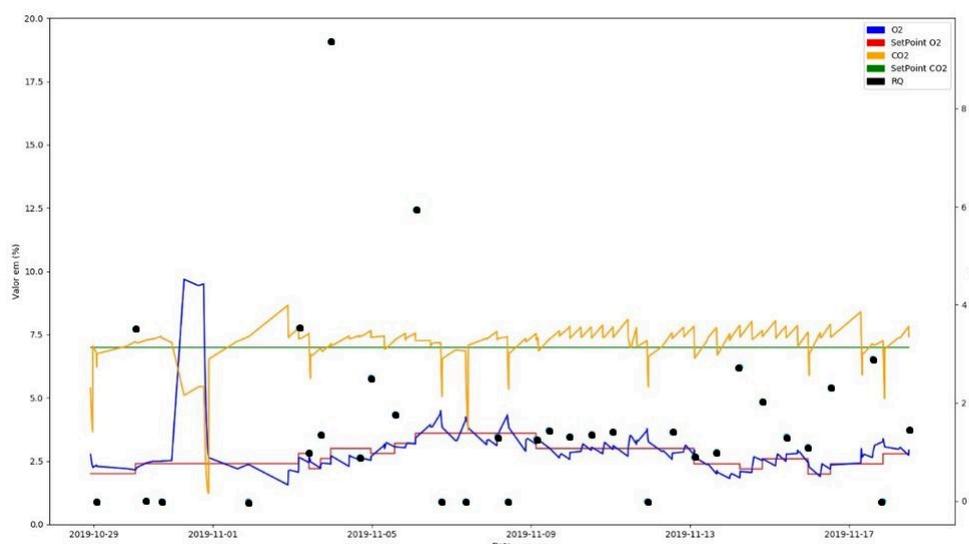
Fonte: do autor.

obteve o tempo de injeção, injetando apenas 0.08 horas de CO₂.

6.2 RESULTADOS PRIMEIRO PERÍODO

Nesta seção será apresentado os dados relacionados a qualidade das frutas do primeiro período. Este primeiro período tem como início do armazenamento em

Figura 23 – Setpoint e QR do tratamento ACDi.



Fonte: do autor.

Tabela 7 – Valores de Injeção.

Tratamento	N (hr)	CO ₂ (hr)	O ₂ (hr)	Cal (hr)
AC	4.92	0.35	0.53	0.10
ACD	4.08	0.21	1.17	0.09
ACDi	2.34	0.08	0.80	0.07
ACi	4.10	0.2	1.31	0.20

Fonte: do autor.

24/10/2019 até 22/11/2019. A primeira análise foi realizada no dia 22/11/2019, logo após a retirada do fruto da câmara de armazenamento. Outras duas análises foram realizadas no dia 26/11/19 e 29/11/19 para simular o tempo de prateleira da fruta.

Na tabela 8 é possível observar os valores da primeira análise realizada neste período. Os atributos avaliados foram : Cor (índice de cor e LCH), Podridão (água, banana e pedúnculo) e perda de peso.

Em relação ao índice de cor, pode-se observar a grande diferença entre o tratamento AR e os demais (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as frutas apresentaram o pior índice, tendo elas o valor próximo de 7, que representa a fruta totalmente amarela com áreas marrons. Os melhores valores ficaram para os tratamentos ACDi, AC e ACi, esses tratamentos ficaram com um índice próximo de 1, sendo assim, as frutas ainda estavam totalmente verdes. Já o tratamento ACD obteve um índice 2, indicando que as frutas estavam verdes com traços amarelos.

Já para o atributo LCH, analisando o H (hue°), nota-se grande diferença entre o tratamento AR e os demais (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as frutas apresentaram os valores mais próximos do amarelo. Os demais tratamentos ficaram

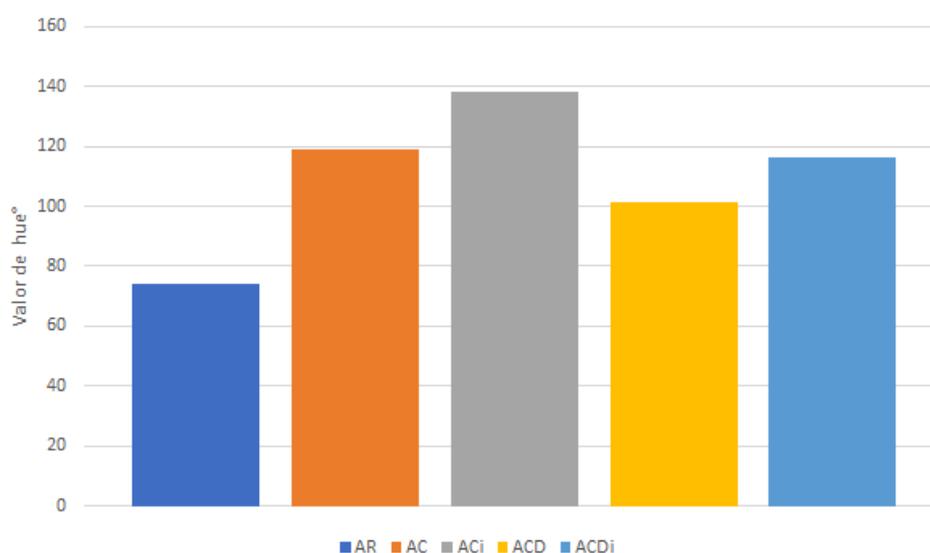
Tabela 8 – Análise 1 do primeiro período.

22/11/2019															
Tratamento	iCor		L		C		hue		Podridão por Água (%)	Podridão da Banana (%)	Podridão Pedúnculo (%)		Perda de Peso (%)		
AR	6,80a		51,19a		40,46a		74	b	0,00a	40,00a	60,00a		7,71a		
AC	1,20	b c	51,25	b	38,58a	b c	118,76a	b	20,00a	0,00	b	0,00	b	0,62	b
ACi	1,31	b c	52,69	b	36,53	b c	138,38a		21,11a	0,00	b	0,00	b	1,43	b
ACD	1,91	b	53,66a	b	39,73a	b	101,45a	b	21,11a	6,67a	b	0,00	b	1,07	b
ACDi	1,15	b c	53,48a	b	35,57	c	116,19a	b	6,67a	0,00	b	0,00	b	0,96	b
D.M.S	0,74		3,05		3,58		49,07		36,85	33,49		32,31		1,23	

Fonte: do autor.

com valor de hue próximos de verde. É possível observar o valor de hue de cada tratamento na Figura 24.

Figura 24 – Valor de hue° no primeiro período.



Fonte: do autor.

Em relação a podridão das bananas, o tratamento AR apresentou o pior valor em relação os demais tratamentos (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as 40% das frutas estavam podres. Já no tratamento ACD, 6% das frutas estavam podres. Nos tratamentos AC, ACi e ACDi, não tiveram nenhuma banana podre. No atributo podridão do pedúnculo, o tratamento AR apresentou novamente o pior valor em relação os demais tratamentos. No tratamento AR as 60% dos pedúnculos das frutas estavam podres. Nos tratamentos AC, ACi, ACD e ACDi, não tiveram nenhum pedúnculo podre.

No atributo perda de peso, o tratamento que teve uma maior perda de peso foi o AC, tendo uma perda de 7,71% do peso inicial das frutas. Os demais tratamento apresentaram uma pequena perda de peso, sendo elas 1,43%, 1,07%, 0,96% e 0,62%, respectivamente para os tratamentos ACi, ACD, ACDi, e AC.

Já na tabela 9 é possível observar os valores da segunda análise realizada neste período. Os atributos avaliados foram : Cor (índice de cor), Podridão (água, banana e pedúnculo).

No atributo índice de cor, novamente pode-se observar a grande diferença entre o tratamento AR e os demais (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as frutas apresentaram o pior índice, tendo elas o valor próximo de 7, que representa a fruta totalmente amarela com áreas marrons. Os melhores valores ficaram para os tratamentos ACDi e AC, esses tratamentos ficaram com um índice próximo de 4, as frutas ainda estavam mais amarelas que verdes. Já o tratamento ACD e ACi obtiveram um índice

Tabela 9 – Análise 2 do primeiro período.

26/11/2019				
Tratamento	iCor	Podridão por Água (%)	Podridão da Banana (%)	Podridão Pedúnculo (%)
AR	7,00a	20,00a	56,57a	43,33a
AC	4,17 c	2,22a	10,67 b	32,00a
ACi	4,87 b	0,00a	0,00 b	25,00a
ACD	5,13 b	15,55a	8,89 b	4,44a
ACDi	4,00 c	0,00a	2,22 b	0,00a
D.M.S	0,67	20,87	33,33	45,39

Fonte: do autor.

próximo de 5, indicando que as frutas já estavam amarelas com a pontas verdes.

Para o atributo podridão de banana, o tratamento que teve uma maior número de bananas podres de peso foi o AC, tendo uma perda de 56.57% das bananas podres. Os demais tratamentos AC, ACD e ACDi, apresentaram uma pequena quantidade de bananas podres, sendo elas 10,67%, 8,89% e 2,22%, respectivamente. O tratamento ACi não apresentou nenhuma banana podre.

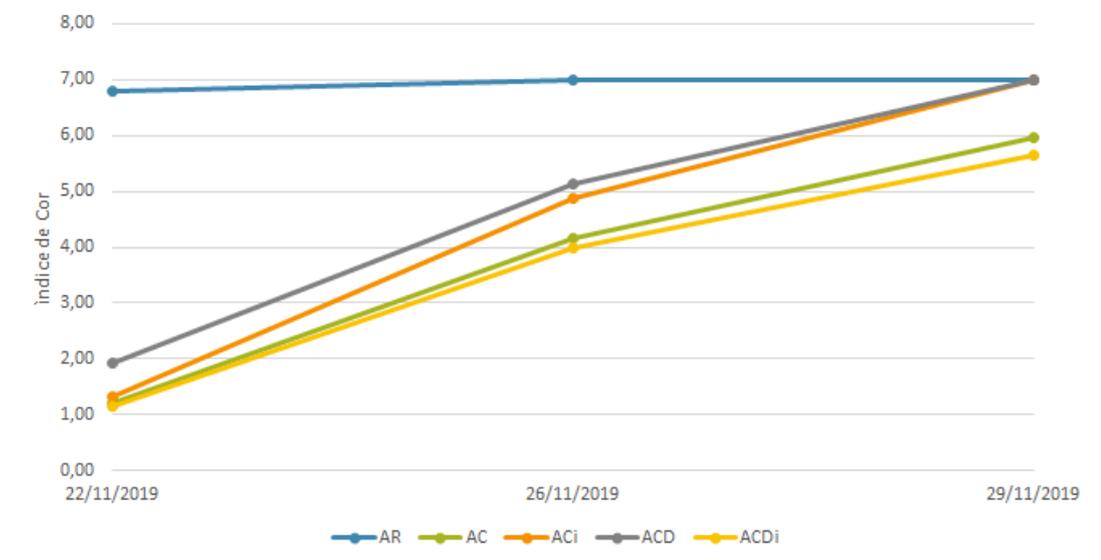
No atributo podridão do pedúnculo, o tratamento AR apresentou novamente o pior valor em relação os demais tratamentos. No tratamento AR, 43.33% dos pedúnculos das frutas estavam podres. Nos tratamentos AC, ACi e ACD, a podridão do pedúnculo foi de 32%, 25% e 4,44%, respectivamente. O tratamento ACDi não apresentou nenhum pedúnculo podre.

Na tabela 10 é possível observar os valores da terceira análise realizada neste período. Os atributos avaliados foram: Cor (índice de cor), Senescência, Podridão (banana e pedúnculo), Despencamento, Firmeza, mINaOH e SST.

Em relação ao índice de cor, pode-se observar que os tratamentos AR, ACD e ACi apresentaram o pior índice, tendo eles o valor do índice igual a 7, que representa a fruta totalmente amarela com áreas marrons. Os melhor valor ficou com os tratamento ACDi, esse tratamento ficou com um índice de 5,66, sendo assim, as frutas ainda estavam amarelas com a ponta verde. Já o tratamento AC obteve um índice próximo de 6, indicando que as frutas estavam totalmente amarelas. A evolução do índice de cor de cada tratamento durante o primeiro período de análise é representada na Figura 25. É possível observar que os melhores resultados foram para o tratamento ACDi e o pior resultado de forma geral ficou para o tratamento AR.

No atributo senescência, que é o termo para envelhecimento natural das frutas, pode-se observar que os tratamentos AR apresentou o maior número de senescência. O tratamento AR teve 76,18% de senescência nas frutas armazenadas. Os tratamentos que apresentaram os melhores valores em relação a senescência foram ACi e ACDi, com um valor de 2,22% cada. Os tratamentos AC e ACD obtiveram 6,66% e 5,25% de senescência respectivamente.

Figura 25 – Evolução do índice de cor primeiro período



Fonte: do autor.

Tabela 10 – Análise 3 do primeiro período

29/11/2019													
Tratamento	iCor	Senescência (%)		Podridão da Banana (%)		Podridão Pedúnculo (%)		Despencamento (N)		Firmeza (N)	mINaOH	SST	
AR	7,00a	76,18a		39,05a		23,57a		5,43	c	10,82	b	0,45a	1,52a
AC	5,95	b	6,66	b	5,57	b	11,11a	42,44a	b	12,86a	b	0,57a	1,46a
ACi	7,00a	2,22		b	23,30a	b	19,50a	29,29	b	14,21a	0,60a		1,62a
ACD	7,00a	5,55		b	20,83a	b	12,50a	30,17	b	15,56a	0,55a		1,65a
ACDi	5,66	b	2,22	b	6,67	b	0,00a	51,95a	9,87		b	0,56a	1,72a
D.M.S	1,14	20,81		27,94		29,38		13,65	3,02		0,35		0,53

Fonte: do autor.

Em relação a podridão das bananas, o tratamento AR apresentou o pior valor em relação os demais tratamentos (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as 39.05% das frutas estavam podres. Nos tratamentos ACi, ACD, ACDi e AC, a podridão da banana foi de 23,30%, 20,83%, 6,67% e 5,57%, respectivamente. No atributo podridão do pedúnculo, o tratamento AR apresentou novamente o pior valor em relação os demais tratamentos. No tratamento AR as 23.57% dos pedúnculos das frutas estavam podres. Nos tratamentos AC, ACi e ACD, a podridão do pedúnculo foi de 11,11%, 19,50% e 12,5%, respectivamente. Para o tratamento ACDi, nenhuma fruta apresentou podridão do pedúnculo nesse período.

Nos testes de despencamento, o teste esse que mede a força mínima para necessária para o despencamento da banana. O tratamento que obteve o menor valor de força foi o AR, nele a força necessária para o despencamento foi de 5,43 N. O tratamento que precisou mais força para o despencamento, apresentando o melhor resultado, foi o tratamento ACDi com força de 51.95 N. As demais forças foram 42.44 N, 30.27 N e 29.29 N, para os tratamentos respectivos tratamentos AC, ACD e ACi.

Para o testes de firmeza dos frutos, as polpas que tiveram menor firmeza foram do tratamento ACDi, tendo uma força 9,87 N para penetração da polpa. O melhor tratamento em relação a firmeza foi o ACD, com 15.56 N. A demais forças foram 10,82 N, 12,86 N e 14,21 N, nos respectivos tratamentos AR, AC e ACi.

Em relação ao atributos de qualidade mINaOH (acidez titulável total) e SST (conteúdo de açúcar), pode-se observar que não possuíram diferenças significativas entre os tratamentos. No atributo mINaOH os resultados mostram que em todos os tratamentos apresentaram uma boa acidez titulável total, todos próximos de zero. Em relação ao SST, os dados apresentados ficaram proporcionalmente dentro dos valores padrões aprestados pela literatura, que oscilam entre 15,73% e 22,35% (ANDRADE *et al.*, 2019)(NASCIMENTO JUNIOR *et al.*, 2008)(FRANCISCO, 2011).

6.3 RESULTADOS SEGUNDO PERÍODO

Nesta seção será apresentado os dados relacionados a qualidade das frutas do segundo período. Este segundo período tem como início do armazenamento em 24/10/2019 até 05/12/2019. A primeira análise foi realizada no dia 05/12/2019, logo após a retirada dos frutos da câmara de armazenamento. Outras duas análises foram realizadas no dia 10/12/19 e 12/12/19 para simular o tempo de prateleira da fruta.

Na tabela 11 é possível observar os valores da primeira análise realizada no segundo período. Os atributos avaliados foram: Cor (índice de cor e LCH), Podridão (água, banana e pedúnculo) e perda de peso.

Em relação ao índice de cor, pode-se observar novamente a grande diferença entre o tratamento AR e os demais (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as frutas apresentaram o pior índice, tendo elas o valor próximo de 7, que representa a fruta

Tabela 11 – Análise 1 do segundo período.

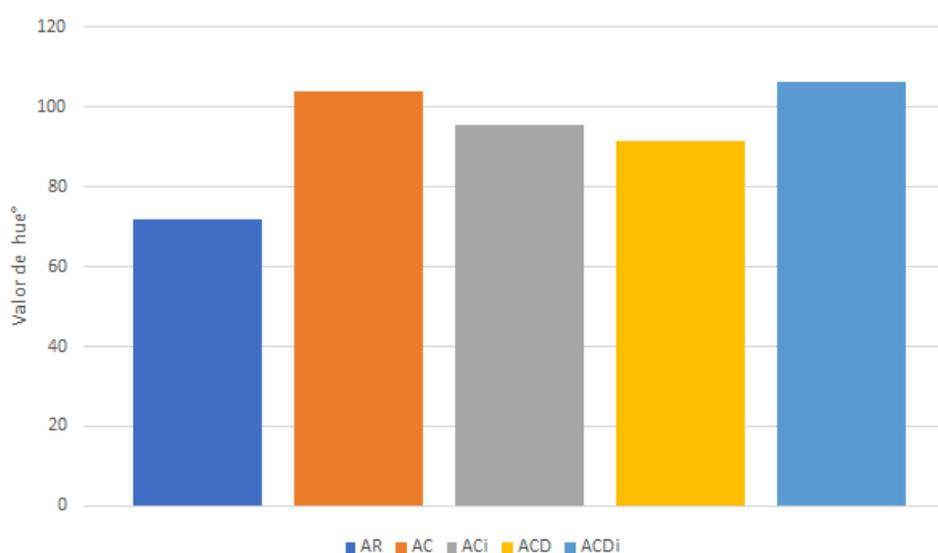
05/12/2019											
Tratamento	iCor		L		C		hue	Podridão por Água (%)	Podridão da Banana (%)	Podridão Pedúnculo (%)	Perda de Peso (%)
AR	7,00a		53,06a	b	43,14a	72,00	c	8,89a	58,33a	82,22a	12,15a
AC	2,00	d	50,89	c	37,55	103,93a		22,22a	16,67	20,00	2,69
ACi	2,79	c	55,60a		42,95a	95,53	b	26,66a	0,00	0,00	1,97
ACD	3,43	b	54,67a	b	43,13a	91,67	b	36,66a	48,89a	13,33	3,51
ACDi	2,06	d	48,70	b c	35,90	106,55a		8,89a	0,00	0,00	2,75
D.M.S	0,59		3,05		4,54	4,34		27,92	4,54	25,55	4,34

Fonte: do autor.

totalmente amarela com áreas marrons. Os melhores valores ficaram para os tratamentos ACDi e AC, esses tratamentos ficaram com um índice próximo de 2, sendo assim, as frutas ainda estavam verdes com traços amarelos. Já o tratamento ACD e ACi obtiveram um índice de 2,79 e 3,43 respectivamente, podendo considerar que as frutas estavam mais verdes que amarelas.

Já para o atributo LCH, analisando o H (hue°), nota-se grande diferença entre o tratamento AR e os demais (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as frutas apresentaram os valores mais próximos do amarelo. Os demais tratamentos ficaram com valor de hue mais distante do amarelo. É possível observar o valor de hue de cada tratamento na Figura 26.

Figura 26 – Valor de hue° no segundo período.



Fonte: do autor.

Em relação a podridão das bananas, o tratamento AR apresentou o pior valor em relação os demais tratamentos (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as 58,33% das frutas estavam podres. Já no tratamento ACD, 48,89% das frutas estavam podres. Nos tratamentos ACi e ACDi não tiveram nenhuma banana podre. No atributo podridão do pedúnculo, o tratamento AR apresentou novamente o pior valor em relação os demais tratamentos. No tratamento AR as 82,22% dos pedúnculos das frutas estavam podres. Nos tratamentos ACi e ACDi, não tiveram nenhum pedúnculo podre. Por fim, os tratamentos AC e ACD apresentaram 20% e 13,33% pedúnculos podres respectivamente.

No atributo perda de peso, o tratamento que teve uma maior perda de peso foi o AC, tendo uma perda de 12,15% do peso inicial das frutas. Os demais tratamentos apresentaram uma pequena perda de peso, sendo elas 1,97%, 2,69%, 2,75% e 3,51%,

respectivamente para os tratamentos ACi, AC, ACDi e ACD.

Já na tabela 12 é possível observar os valores da segunda análise realizada neste período. Os atributos avaliados foram : Cor (índice de cor), Podridão (água, banana e pedúnculo).

Tabela 12 – Análise 2 do segundo período.

10/12/2019				
Tratamento	iCor	Podridão por Água (%)	Podridão da Banana (%)	Podridão Pedúnculo (%)
AR	8,00a	6,66a	43,11a	100a
AC	5,49 b	0,00a	0,00 b	12,50a
ACi	6,28 b	0,00a	20,00a b	6,60a
ACD	5,75 b	0,00a	29,17a b	6,20a
ACDi	5,57 b	0,00a	0,00 b	10,66a
D.M.S	0,92	9,79	36,83	20

Fonte: do autor.

No atributo índice de cor, novamente pode-se observar a grande diferença entre o tratamento AR e os demais (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as frutas apresentaram o pior índice, foi adicionado o valor 8 ao índice, que representa a fruta estavam quase por total marrons. Os demais tratamentos ficaram muito próximos, podendo considerar as bananas amarelas com a pontas verdes ou todas amarelas.

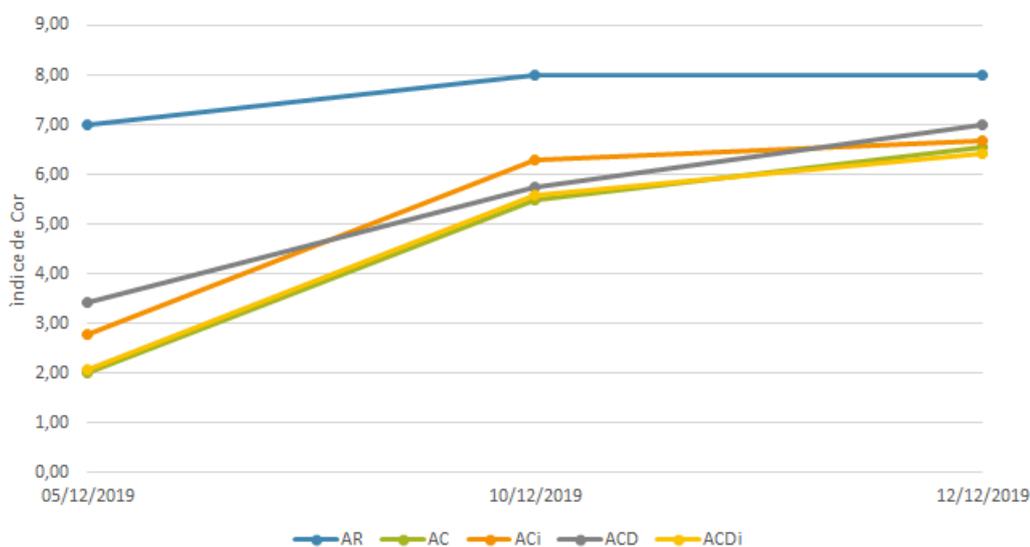
Para o atributo podridão de banana, o tratamento que teve uma maior número de bananas podres de peso foi o AC, tendo uma perda de 43.11% das bananas podres. Os demais tratamentos ACi e ACD, apresentaram cerca de 20% e 29,17% de bananas podres respectivamente. O tratamento ACDi e AC não apresentaram nenhuma banana podre.

No atributo podridão do pedúnculo, o tratamento AR apresentou novamente o pior valor em relação os demais tratamentos. No tratamento AR, 100% dos pedúnculos das frutas estavam podres. Nos tratamentos AC, ACDi, ACD e ACi, a podridão do pedúnculo foi de 12.50%, 10.66%, 6.66% e 6.60%, respectivamente.

Na tabela 13 é possível observar os valores da terceira análise realizada neste período. Os atributos avaliados foram : Cor (índice de cor), Senescência, Podridão (banana e pedúnculo), Despencamento, Firmeza, mINaOH e SST.

No índice de cor, pode-se observar que o tratamento AR continuou com pior resultado, foi adicionado o valor 8 ao índice, que representa a fruta estavam quase por total marrons. O segundo pior valor ficou para o ACD, que apresentou um índice igual a 7, que representa a fruta totalmente amarela com áreas marrons. Os demais índices ficaram muito próximos, os tratamentos ACi, AC e ACDi apresentaram os respectivamente os índices 6.68, 6.55 e 6.42. A evolução do índice de cor de cada tratamento durante o segundo período de análise é representada na Figura 27. É possível observar que os melhores resultados novamente foram para o tratamento ACDi e o pior

Figura 27 – Evolução do índice de cor segundo período



Fonte: do autor.

resultado de forma geral ficou para o tratamento AR.

No atributo senescência, pode-se observar que os tratamentos AR apresentou o maior número de senescência. O tratamento AR teve 100% de senescência nas frutas armazenadas. O tratamento que apresentou o melhor valor em relação a senescência foi ACDi, com 0% de senescência. Os tratamentos ACi, AC e ACD, obtiveram 34,68%, 11,11% e 4,44% de senescência respectivamente.

Em relação a podridão das bananas, o tratamento AR apresentou o pior valor em relação os demais tratamentos (AC, ACi, ACD, ACDi). No tratamento AR as 100% das frutas estavam podres. Os demais tratamentos não apresentaram podridão. No atributo podridão do pedúnculo, o tratamento AR apresentou novamente o pior valor em relação os demais tratamentos. No tratamento AR as 100% dos pedúnculos das frutas estavam podres. Nos tratamentos AC e ACD, a podridão do pedúnculo foi de 8,33% e 60%, respectivamente. Para o tratamento ACDi e ACi, nenhuma fruta apresentou podridão do pedúnculo nesse período.

Nos testes de despencamento, o tratamento que obteve o menor valor de força foi o AR, nele a força necessária para o despencamento foi de apenas 0,5 N. O tratamento que precisou mais força para o despencamento, apresentando o melhor resultado, foi o tratamento ACi com força de 26,78 N. As demais forças foram 24,48 N, 20,93 N e 18,16 N, para os tratamentos respectivos tratamentos ACD, AC e ACDi.

Para o testes de firmeza dos frutos, as polpas que tiveram menor firmeza foram do tratamento AR, tendo uma força 0,05 N para penetração da polpa. O melhor tratamento em relação a firmeza foi o AC, com 17,35 N. A demais forças foram 17,09 N,

14,72 N e 8,58 N, nos respectivos tratamentos ACD, ACDi e ACi.

Neste período, conforme apresenta BOTREL *et al.* (2002), há um acréscimo da acidez total titulável para a banana com o seu amadurecimento. No atributo SST observar que os tratamentos AC, ACDi e ADC ficaram dentro dos valores ideais apresentados pela literatura. Já o tratamento ACi ficou com um valor proporcional abaixo do ideal. No tratamento AR não foi possível realizar essas análises, pois as polpas dos frutos não estavam em condições de análise. Então, analisando os dois períodos de análise dos atributos mINaOH e SST, os dados mostraram que em todos os tratamentos houve uma maturação dos frutos.

Tabela 13 – Análise 3 do segundo período

12/12/2019												
Tratamento	iCor	Senescência (%)		Podridão da Banana (%)		Podridão Pedúnculo (%)		Despencamento (N)	Firmeza (N)	mINaOH		SST
AR	8,00a	100,00a		100,00a		100,00a		0,5 b	0,05 c	.		.
AC	6,55 b	11,11	b c	0,00	b	8,32	c	20,93a	17,35a	0,76	b	1,73 b
ACi	6,68 b	34,68	b	0,00	b	0,00	c	26,78a	8,58 b	0,75	b	1,05 d
ACD	7,00 b	4,44	c	0,00	b	60,00	b	24,48a	17,09a	0,92	b	1,50 c
ACDi	6,42 b	0,00	c	0,00	b	0,00	c	18,16a	14,72a b	1,48a		2,04a
D.M.S	1,14	20,81		27,94		29,38		13,65	3,02	0,35		0,53

Fonte: do autor.

7 CONCLUSÃO

O intuito deste trabalho foi de contextualizar o tema agricultura de precisão na área de armazenamento de frutas, o tema agricultura de precisão vem sendo uma tendência impulsionada pela alta demanda alimentícia mundial e pela necessidade novas soluções para área agrícola. Desta forma, o trabalho associou as novas tecnologias da informação e comunicação ao armazenamento de frutas por AC, mostrando a viabilidade de inserir essas tecnologias ao armazenamento de frutas.

Durante o estudo foi comprovado as vantagens de utilizar uma solução baseada nas novas tecnologias da informação e comunicação no armazenamento de frutas, essas que normalmente são armazenadas somente em sistemas refrigerados. Também pode-se comprovar que através da utilização das novas tecnologias da informação e comunicação é possível armazenar frutas sem qualquer utilização de produtos químicos ou agrotóxicos, e assim podendo preservar a qualidade da fruta e evitar possíveis danos ao meio ambiente.

Para tanto, foi desenvolvido um protótipo com o intuito de controlar as atmosferas em câmaras de armazenamento, essa solução foi capaz de controlar os níveis de O_2 e CO_2 em cada um dos tratamentos. Foi aplicado no experimento 5 tipos de tratamentos utilizando a mesma fruta (banana 'prata') para fins de comparação.

Como resultado, pode-se observar que todos os tratamentos que fizeram uso do protótipo desenvolvido obtiveram resultados melhores do que o tratamento tradicional (armazenamento refrigerado). Em todos os atributos apresentados, como colorações (índice de cor e Ângulo hue), podridões da banana, pedúnculo e água, senescência, testes físicos (despencamento e firmeza) e teste químicos (acidez total titulável e sólidos solúveis totais), o tratamento com atmosfera refrigerada (apenas no ambiente refrigerado) apresentou piores resultados.

Dentre os tratamentos que fizeram uso das novas tecnologias da informação e comunicação, o que apresentou os melhores resultados de forma geral foi o ACDi. Neste tratamento foi utilizado de técnicas de inteligência artificial para realizar o controle dos níveis O_2 e CO_2 , além de ter sido implementado com inteligência artificial o método de quociente respiratório para alteração dinâmica da atmosfera. Em relação aos insumos utilizados nesses tratamentos, novamente o ACDi se apresentou como a melhor solução, utilizando praticamente metade do principal insumo (nitrogênio) comparado com os demais.

Assim, a questão levantada pela pesquisa teve uma resposta positiva, corroborando que as novas tecnologias da informação e comunicação podem influenciar de forma positiva nas qualidades e tempo das frutas armazenadas.

Por fim, o estudo realizado evidenciou a possibilidade da utilização das tecnologias em práticas agrícolas, salientando a importância de trabalhar de forma interdisci-

plinar, aproximando áreas do conhecimento distintas.

Refletindo sobre a evolução da pesquisa deste trabalho, podem ser apontados para trabalhos futuros a modificação do sistema do protótipo para algo mais robusto, com maior proximidade ao que se utilizaria em sistemas comerciais. Essa modificação no protótipo ajudaria no maior problema encontrado na realização deste trabalho, que foi os vazamentos de gases. Outras modificações poderiam ser realizadas, como incremento no número maior de câmaras e instalação de outros sensores, por exemplo, o sensor de etileno.

REFERÊNCIAS

- ABELECTRONICS. **IO Pi Plus**. 2019. Disponível em: <http://www.abelectronics.co.uk/p/54/io-pi-plus>. Acesso em: 6 ago. 2019.
- AGRAWAL, Nikhil; SINGHAL, Smita. Smart drip irrigation system using raspberry pi and arduino. *In*: IEEE. INTERNATIONAL Conference on Computing, Communication & Automation. [S.l.: s.n.], 2015. p. 928–932.
- ALBERTO, L; VILAS BOAS, EVB; DIAS, MSC. Colheita e pós-colheita da banana. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 20, n. 196, p. 73–90, 1999.
- ALMEIDA, Clovis Oliveira de. **Fruticultura brasileira em análise**. 2018. Disponível em: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/artigo/fruticultura-brasileira-em-analise>. Acesso em: 3 dez. 2018.
- ANDRADE, George Wads de *et al.* Análise do efeito de óleo vegetal na maturação de frutos de bananeira (musa spp). Universidade Federal de Campina Grande, 2019.
- BAHAT, M *et al.* A fuzzy irrigation controller system. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Elsevier, v. 13, n. 2, p. 137–145, 2000.
- BALL, Stuart. **Embedded microprocessor systems: real world design**. [S.l.]: Elsevier, 2002.
- BORGES, Ana Lúcia; SILVA SOUZA, Luciano da. **O cultivo da bananeira**. [S.l.]: Embrapa Mandioca e Fruticultura Cruz das Almas, 2004.
- BOTH, Vanderlei *et al.* **Atmosfera controlada dinâmica monitorada pelo quociente respiratório: efeito do manejo do etileno, temperatura e níveis de co2 sobre compostos voláteis e conservação de maçãs**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria.
- BOTH, Vanderlei *et al.* Estresse inicial e condicionamento ao baixo oxigênio no armazenamento em atmosfera controlada de maçãs royal gala. Universidade Federal de Santa Maria, 2012.
- BOTREL, NEIDE *et al.* Inibição do amadurecimento da banana-’Prata-Anã’ com a aplicação do 1-metilciclopropeno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, SciELO Brasil, v. 24, n. 1, p. 53–56, 2002.
- BRACKMANN, A; STREIF, J; BANGERTH, F. Relationship between a reduced aroma production and lipid metabolism of apples after long-term controlled-atmosphere storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, American Society for Horticultural Science, v. 118, n. 2, p. 243–247, 1993.

BRACKMANN, Auri. **Uso da atmosfera controlada é recente no Brasil**. Mar. 2017. Disponível em:

<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va07-armazenamento03.pdf>.

BRACKMANN, Auri; STEFFENS ANDRÉ, Cristiano; GIEHL HETTWER, Ricardo Fabiano. Armazenamento de pêssego Chimarrita em atmosfera controlada e sob absorção de etileno. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 33, n. 3, 2003.

BRACKMANN, Auri; STEFFENS, C *et al.* Armazenamento em atmosfera modificada e controlada de banana'Prata'com absorção de etileno. **Ciência e Agrotecnologia**, SciELO Brasil, v. 30, n. 5, 2006.

BRACKMANN, Auri; WEBER, Anderson *et al.* Manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs' Royal Gala'e'Galaxy'sob armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência rural**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 38, n. 9, 2008.

BRAMLEY, Robert; TRENGOVE, Sam. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development and adoption as a guide to its appropriate application. **Engenharia Agrícola**, Crop e Pasture Science, v. 60, n. 3, p. 197–2017, jun. 2009.

BRASIL, Fundação Banco do. **Fruticultura - Banana**. [S.l.]: Fundação Banco do Brasil, 2010.

CASTRO, Juan Luis. Fuzzy logic controllers are universal approximators. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, IEEE, v. 25, n. 4, p. 629–635, 1995.

COELHO, Antônio Marcos. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)**, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005., 2005.

COOK, Deborah J; MULROW, Cynthia D; HAYNES, R Brian. Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. **Annals of internal medicine**, Am Coll Physicians, v. 126, n. 5, p. 376–380, 1997.

CORDEIRO, Alexander Magno *et al.* Revisão sistemática: uma revisão narrativa. SciELO Brasil, 2007.

CORDEIRO, Zilton José Maciel. Banana. **Produção: aspectos técnicos**. Brasília: **Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia**, 2000.

DAS, Elif; GURAKAN, G. Candan; BAYINDRLI, Alev. Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival

of Salmonella Enteritidis on cherry tomatoes. **Food Microbiology**, Elsevier BV, v. 23, n. 5, p. 430–438, ago. 2006. DOI: 10.1016/j.fm.2005.08.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.08.002>.

DELONG, J. M. *et al.* A new technology that determines low-oxygen thresholds in controlled-atmosphere-stored apples. **Horttechnology**, v. 14, n. 2, p. 262–266, 2004. ISSN 1063-0198. Disponível em: %3CGo%20to%20ISI%3E://WOS:000220630900018.

DIAZ, Soledad Escolar *et al.* A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier BV, v. 76, n. 2, p. 252–265, mai. 2011. DOI: 10.1016/j.compag.2011.02.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.004>.

EMBRAPA. **Base de Dados dos Produtos**. 2016. Disponível em: http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/. Acesso em: 6 jul. 2019.

FAGUNDES, Cristiane *et al.* Estudo de cobertura comestível com propriedades antifúngicas e atmosfera modificada na manutenção da qualidade de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme), 2013.

FALAGÀN, Natalia; TERRY, Leon A. Recent Advances in Controlled and Modified Atmosphere of Fresh Produce. **Johnson Matthey Technology Review**, Johnson Matthey, v. 62, n. 1, p. 107–117, jan. 2018. DOI: 10.1595/205651318x696684. Disponível em: <https://doi.org/10.1595/205651318x696684>.

FARIS, Diaa Mehdi; MAHMOOD, Diaa Mehdi Faris Mahmood Basil. Data acquisition of greenhouse using Arduino. **Journal of University of Babylon**, Babylon University, v. 22, n. 7, p. 1908–1916, 2014.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANA. **Cartilha de classificação bananas**. 2019. Disponível em: <http://www.faeap.com.br/comissoes/frutas/cartilhas/frutas/banana.htm>. Acesso em: 11 abr. 2019.

FERRAZ FILHO, Braz da Silva *et al.* Agricultura de precisão em casas de vegetação: controle e gestão de cultivo em produção de mudas, 2018.

FLORES, Kristoffer O; BUTASLAC, Isidro M *et al.* Precision agriculture monitoring system using wireless sensor network and Raspberry Pi local server. *In*: IEEE. 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON). [S.l.: s.n.], 2016. p. 3018–3021.

FLORES, R; VICTOR, J *et al.* **Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.)** [S.l.]: Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Agronomía, 2000.

FRANCISCO, Maria Sueli. Diagnóstico da Produção e Qualidade de Frutos de Banana (*Musa spp*), Cultivada no Município de Bananeiras–PB. **Maria Sueli Francisco.-Bananeiras**, 2011.

GOMIDE, Fernando Antonio Campos; GUDWIN, Ricardo Ribeiro. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **SBA controle e Automação**, v. 4, n. 3, p. 97–115, 1994.

GONÇALEZ, Joaquim Carlos *et al.* Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, v. 20, n. 72, p. 47–58, 2001.

GONDCHAWAR, Nikesh; KAWITKAR, RS. IoT based smart agriculture. **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering (IJARCCE)**, v. 5, n. 6, p. 177–181, 2016.

GOYETTE, Bernard *et al.* Hyperbaric Treatment on Respiration Rate and Respiratory Quotient of Tomato. **Food and Bioprocess Technology - FOOD BIOPROCESS TECHNOL**, v. 5, p. 3066–3074, nov. 2012. DOI: 10.1007/s11947-011-0671-y.

GRAN, Christopher D.; BEAUDRY, Randolph M. Determination of the low oxygen limit for several commercial apple cultivars by respiratory quotient breakpoint. **Postharvest Biology and Technology**, Elsevier BV, v. 3, n. 3, p. 259–267, out. 1993. DOI: 10.1016/0925-5214(93)90061-7. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(93\)90061-7](https://doi.org/10.1016/0925-5214(93)90061-7).

HAHN, Federico. Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 77, n. 1, p. 21–27, 2011.

HEYDARI, AMIR *et al.* Studies on the respiration rate of banana fruit based on enzyme kinetics. **Int. J. Agric. Biol**, v. 12, n. 1, p. 145–149, 2010.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2016. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica>. Acesso em: 6 jul. 2019.

IEEE XPLORE. **About IEEE Xplore Digital Library**. 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/aboutUs.jsp>. Acesso em: 3 dez. 2018.

JAMIESON, P.; HERDTNER, J. More missing the Boat — Arduino, Raspberry Pi, and small prototyping boards and engineering education needs them. *In*: 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). [S.l.: s.n.], out. 2015. p. 1–6. DOI: 10.1109/FIE.2015.7344259.

KADER, AA. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food technology (USA)**, 1986.

- KAISTI, Matti *et al.* Agile methods for embedded systems development-a literature review and a mapping study. **EURASIP Journal on Embedded Systems**, Nature Publishing Group, v. 2013, n. 1, p. 15, 2013.
- KOKKONIS, George; KONTOGIANNIS, Sotirios; TOMTSIS, Dimitrios. A Smart IoT Fuzzy Irrigation System. **Power (mW)**, v. 100, n. 63, p. 25, 2017.
- KUMAR, R; RAJASEKARAN, M Pallikonda. An IoT based patient monitoring system using raspberry Pi. *In*: IEEE. 2016 International Conference on Computing Technologies and Intelligent Data Engineering (ICCTIDE'16). [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–4.
- LAFONT, Frédéric; BALMAT, J-F. Optimized fuzzy control of a greenhouse. **Fuzzy sets and systems**, North-Holland, v. 128, n. 1, p. 47–59, 2002.
- LAKSHMISUDHA, K *et al.* Smart Precision Based Agriculture Using Sensors. **International Journal of Computer Applications**, v. 9758887, 2011.
- LIDSTER, P.D. *et al.* **Controlled-atmosphere Disorders of Commercial Fruits and Vegetables**. [S.l.]: Communications Branch, Agriculture Canada, 1990. (Agriculture Canada. Publication 1847/E). ISBN 9780662181170.
- LIMA, Marcelo Bezerra; SILVA, S de O; FERREIRA, Cláudia Flortes. **Banana: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. [S.l.]: Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Cruz das Almas: Embrapa. . ., 2003.
- LUMPKIN, Christie *et al.* 'Fuji'apple (*Malus domestica* Borkh.) volatile production during high pCO₂ controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, Elsevier, v. 100, p. 234–243, 2015.
- MAPA. Portaria n 852 - Art. 1 Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. [S.l.], set. 2012.
- MDITSHWA, Asanda; FAWOLE, Olaniyi Amos; OPARA, Umezuruike Linus. Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples—A review. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 59–68, 2018. ISSN 2214-2894. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.011>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289417303447>.
- MELLO, Braulio A de; CAIMI, Luciano L. Simulação na validação de sistemas computacionais para a agricultura de precisão. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental, Campina Grande Nov./Dec**, v. 12, n. 6, p. 666–675, 2008.
- MILANI, André. **MySQL-guia do programador**. [S.l.]: Novatec Editora, 2007.
- MONK, Simon. **Raspberry Pi cookbook: Software and hardware problems and solutions**. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2016.

MUNICÍPIO DE JACINTO MACHADO. **Plano de desenvolvimento do turismo sustentável de Jacinto Machado**. dez 2019. Disponível em: https://static.fecam.net.br/uploads/650/arquivos/856569_PDTIS_JACINTO_MACHADO.pdf.

MURPHY, Fiona Edwards *et al.* b+ WSN: Smart beehive for agriculture, environmental, and honey bee health monitoring—Preliminary results and analysis. *In: IEEE. 2015 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–6.

NASCIMENTO JUNIOR, Baraquizio Braga do *et al.* Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicao ao longo do amadurecimento: características físico-químicas e compostos voláteis. **Food Science and Technology**, SciELO Brasil, v. 28, n. 3, p. 649–658, 2008.

NAVARRO, Zander. **Avanço da tecnologia explica sucesso da produção agropecuária brasileira**. Mar. 2017. Disponível em: <http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/avanco-da-tecnologia-explica-sucesso-da-producao-agropecuaria-brasileira-e7o9gqm527jdu9vpwsb9ze4ot>.

NEUWALD, Daniel *et al.* Conservação da qualidade de maçãs devido aos avanços nas técnicas de armazenamento. **Jornal da Fruta**, p. 19–21, jan. 2012.

NISE, Norman S; SILVA, Fernando Ribeiro da. **Engenharia de sistemas de controle**. [S.l.]: LTC, 2002. v. 3.

P.J. DE WILD, Hans; WOLTERING, Ernst; PEPPELENBOS, Herman. Carbon dioxide and 1-MCP inhibit ethylene production and respiration of pear fruit by different mechanisms. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 837–844, jun. 1999. DOI: 10.1093/jxb/50.335.837.

PASSOS, OS; SOUZA, J da S. Considerações sobre a fruticultura brasileira, com ênfase no Nordeste. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Documentos (INFOTECA-E)**, Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1994., 1994.

PPGTIC. **Linhas de Pesquisa do PPGTIC**. Mar. 2018. Disponível em: <http://ppgtic.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/>.

PRATHIBHA, SR; HONGAL, Anupama; JYOTHI, MP. lot based monitoring system in smart agriculture. *In: IEEE. 2017 International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 81–84.

PRILL, MAS *et al.* Atmosfera modificada e controle de etileno para bananas 'Prata-Anã' cultivadas na Amazônia Setentrional Brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 34, n. 4, p. 990–1003, 2012.

RAY, P.P. A survey on Internet of Things architectures. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, 2016. ISSN 1319-1578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157816300799>.

ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, n, 2000.

SALGADO, Paulo; CUNHA, J Boaventura. Greenhouse climate hierarchical fuzzy modelling. **Control Engineering Practice**, Elsevier, v. 13, n. 5, p. 613–628, 2005.

SANDHYA. Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. **LWT-Food Science and Technology**, ELSEVIER SCIENCE BV PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, v. 43, n. 3, p. 381–392, 2010.

SANTOS, Luana Ferreira dos *et al.* Armazenamento de maçãs granny smith em atmosfera controlada dinâmica monitorada pelo quociente respiratório. Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

SCOPUS. **Scopus is the largest abstract and citation database of peer-reviewed literature**. 2018. Disponível em: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>. Acesso em: 3 dez. 2018.

SMOCK, Robert M. Controlled Atmosphere Storage of Fruits. *In: HORTICULTURAL Reviews*. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc., fev. 2011. p. 301–336. DOI: 10.1002/9781118060742.ch8. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118060742.ch8>.

SOUZA, Rodrigo de Queiroz. Metodologia e desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva visando á melhoria da confiabilidade de ativos de usinas hidrelétricas, 2008.

SRBINOVSKA, Mare *et al.* Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 88, p. 297–307, 2015.

SRIVIDHYA, V.; SUJATHA, K. Role of ethylene in fruits ripening process. *In: 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*. [S.l.]: IEEE, ago. 2017. DOI: 10.1109/icecds.2017.8389783. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/icecds.2017.8389783>.

STREIF, J. RIPENING MANAGEMENT AND POSTHARVEST FRUIT QUALITY. **Acta Horticulturae**, International Society for Horticultural Science (ISHS), n. 858, p. 121–129, mar. 2010. DOI: 10.17660/actahortic.2010.858.14. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2010.858.14>.

TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. [S.l.]: Artmed Editora, 2017.

TAURION, Cezar. **Software Embarcado-A nova onda da Informática**. [S.l.]: Brasport, 2005.

TERUEL, Bárbara J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertigaç o. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 3, 2010.

THEWES, Fabio Rodrigo *et al.* Atmosfera controlada dinâmica monitorada pelo quociente respiratório e sua intera o com est dios de maturação sobre a conserva o da qualidade e o perfil volátil de ma as galaxy. Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

TRAN, Dinh T. *et al.* Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of ‘Greenstar’ apples using chlorophyll fluorescence. **Scientia Horticulturae**, Elsevier BV, v. 184, p. 18–22, mar. 2015. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.11.014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.014>.

TSCHIEDEL, Mauro; FERREIRA, Mauro Fernando. Introdu o a agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 32, n. 1, 2002.

VALE, Marcelo Roberto Bastos Guerra. **Análise comparativa do desempenho de um Controlador Fuzzy acoplado a um PID Neural sintonizado por um Algoritmo Genético com Controladores Inteligentes Convencionais**. 2007. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

VAN VARSEVELD, Robert B; BONE, Gary M. Accurate position control of a pneumatic actuator using on/off solenoid valves. **IEEE/ASME Transactions on mechatronics**, IEEE, v. 2, n. 3, p. 195–204, 1997.

VON LOESECKE. **Bananas (2nd edn)**. [S.l.]: InterScience, New York, USA, 1950.

WATKINS, C.B. New technologies for storage of horticultural products there is more to adoption than availability! **Acta Horticulturae**, International Society for Horticultural Science (ISHS), n. 1194, p. 1233–1244, mar. 2018. DOI: 10.17660/actahortic.2018.1194.175. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1194.175>.

WATKINS, CB. Mechanism for beneficial and deleterious responses of fruit to elevated carbon dioxide concentrations during storage. *In*: ISHS TAUPO. INTERNATIONAL POSTHARVEST SCIENCE CONFERENCE. [S.l.: s.n.], 1996. p. 86.

WEB OF SCIENCE. **Web of Science Trust the difference**. 2018. Disponível em: <https://clarivate.com/products/web-of-science/>. Acesso em: 3 dez. 2018.

WEBER, A. *et al.* Respiratory quotient: innovative method for monitoring 'Royal Gala' apple storage in a dynamic controlled atmosphere. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 1, p. 28–33, 2015. ISSN 0103-9016. DOI: 10.1590/0103-9016-2013-0429. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v72n1/0103-9016-sa-72-1-0028.pdf>.

WEBER, Anderson *et al.* Dynamic controlled atmosphere (DCA): interaction between DCA methods and 1-methylcyclopropene on 'Fuji Suprema' apple quality. **Food Chemistry**, Elsevier BV, v. 235, p. 136–144, nov. 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.047. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.047>.

WEBER, Leo; KLEIN, Pedro Antonio Trierweiler. **Aplicação da lógica fuzzy em software e hardware**. [S.l.]: Editora da ULBRA, 2003.

ZANELLA, A. *et al.* FRUIT FLUORESCENCE RESPONSE TO LOW OXYGEN STRESS: MODERN STORAGE TECHNOLOGIES COMPARED TO 1-MCP TREATMENT OF APPLE. **Acta Horticulturae**, International Society for Horticultural Science (ISHS), n. 682, p. 1535–1542, jun. 2005. DOI: 10.17660/actahortic.2005.682.204. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2005.682.204>.

ZHANG, Chunhua; KOVACS, John M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision agriculture**, Springer, v. 13, n. 6, p. 693–712, 2012.

ZHANG, Quanxing; WU, Chwan-Hwa; TILT, Ken. Application of fuzzy logic in an irrigation control system. *In*: IEEE. PROCEEDINGS of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT'96). [S.l.: s.n.], 1996. p. 593–597.