



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Murilo Santos Freire

**SISTEMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE
TEMPERATURA E UMIDADE DO AR EM CÂMARAS FRIAS**

Juazeiro - BA

2018

MURILO SANTOS FREIRE

**SISTEMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE
TEMPERATURA E UMIDADE DO AR EM CÂMARAS FRIAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^a. DSc. Silvia Helena Nogueira Turco

Juazeiro - BA

2018

	Freire, Murilo Santos.
F866s	Sistema de monitoramento em tempo real de temperatura e umidade do ar em câmaras frias / Murilo Santos Freire. -- Juazeiro, 2018.
	xi, 73f.: il.;29cm.
	Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2018.
	Orientadora: Prof. ^a Dr. ^a Silvia Helena Nogueira Turco.
	1. Agricultura de precisão. 2. Rede de sensores sem fio. 3. Uva- Armazenamento. Título. II. Turco, Silvia Helena Nogueira. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.
	CDD 631

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Renato Marques Alves

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

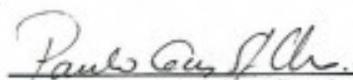
Murilo Santos Freire

**“SISTEMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE
TEMPERATURAS E UMIDADE DO AR EM CÂMARAS FRIAS”**

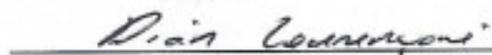
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Silvia Helena Nogueira Turco, Profa. DSc.
UNIVASF/CPGEA



Paulo Gustavo Serafim de Carvalho, Prof. DSc.
UNIVASF/CPGEA



Dian Lourençoni, Prof. DSc.
UNIVASF/CENAMB

Juazeiro-BA, 17 de Abril de 2018.

Dedico esse trabalho ao meu
avô, Benedito Freire Nascimento
(*In memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus. Aos meus pais, familiares e amigos. Fontes de força durante esse percurso.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), pelo título concedido e pelas experiências ímpares de aprendizado.

À professora Silvia Turco, pela orientação, paciência e confiança na minha capacidade. Mas principalmente por ser mentora e conselheira durante esses anos na universidade.

Ao professor Daniel Costa, pela amizade e apoio durante o projeto. Aos professores Sérgio Tonetto, Rodrigo Ramos, Mario Miranda e Mariana Reis pelo suporte.

Aos companheiros do Laboratório de Energia na Agricultura (LENA), em especial a Álisson e Vitor, que foram fundamentais durante esse projeto.

Aos colegas do mestrado Miguel e Anderson, pela amizade e auxílio no decorrer do projeto.

Aos professores do programa Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelo conhecimento compartilhado.

Aos funcionários da UNIVASF, em especial à Carol, Jamile, Hideo e Manoel, pela disponibilidade.

Agradecimento especial a GVS e seus funcionários pelo apoio durante o projeto.

Agradecimento a FAPESB pelo apoio financeiro, através da concessão da bolsa de mestrado. À UNIVASF e à EMBRAPA Semiárido pela estrutura e suporte na execução desse projeto.

E a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desse trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

FREIRE, Murilo Santos. **Sistema de monitoramento em tempo real de temperatura e umidade do ar em câmaras frias** / Murilo Santos Freire. – Juazeiro, 2018

RESUMO GERAL

O presente trabalho, teve como objetivo desenvolver um sistema de baixo custo, capaz de monitorar as variáveis temperatura e umidade em câmaras frias de uvas de mesa. Foi desenvolvido um sistema de monitoramento em tempo real, denominado UmiTemP. Esse sistema é constituído da integração de *hardware* e *software*, voltados para a aquisição dos dados, utilizando comunicação sem fio por radiofrequência e interface via *web*. Para a implementação da rede de sensores, foi escolhido um transceptor com capacidade de auto-organização. O processamento e apresentação dos dados, através da interface *web*, é realizado por um microcomputador, localizado acima da câmara fria. O sistema foi testado em câmara fria de pequenas dimensões e implementado em câmara fria comercial. A rede foi analisada quanto a qualidade do sinal e o seu desempenho. Além disso, foi monitorada e avaliada as condições micrometeorológicas do armazenamento a frio de uvas de mesa no Submédio do São Francisco. Foi verificado que a temperatura média do ar no interior da câmara fria variou entre 0,2 e 0,9 °C e a umidade relativa do ar média variou entre 83,2 e 89,3%. A temperatura média do ar no corredor apresentou valores entre 10,8 e 13,8 °C. A câmara fria manteve-se acima da temperatura do ar recomendada (0 °C) e abaixo da umidade relativa do ar mínima recomendada (90%). Houve diferença entre as propriedades do ar nos dois ambientes, em todos os dias do experimento. O sistema UmiTemP mostrou-se viável para monitorar temperatura e umidade relativa do ar em câmaras frias. A qualidade do sinal na câmara fria não foi influenciada pela distância ou pelo revestimento da parede. O *website* apresenta uma interface agradável e simples de ser utilizada por gestores de câmaras frias, com representações gráficas do microclima.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Rede de sensores sem fio. Sistemas de tempo real.

FREIRE, Murilo Santos. **Real-time monitoring system of temperature and humidity of air inside cold chambers** / Murilo Santos Freire. – Juazeiro, 2018

ABSTRACT

The objective of the present work was to develop a low cost system capable to monitor air temperature and air relative humidity inside cold chambers of table grapes. A real-time monitoring system, called UmiTemP, was developed. This system consists of the integration of hardware and software, aimed to data acquisition, using radio frequency wireless communication and web interface. A transceiver with self-organizing capability was chosen to implement the sensor network. A microcomputer located above the cold chamber was used for processing and showing the data through the web interface. The system was tested inside a small cold chamber and implemented in a commercial cold chamber. The network was analyzed for signal quality and performance. In addition, the meteorological cold storage conditions of table grapes packing houses in the São Francisco River Valley were monitored and evaluated. According to the results, it was found that the mean air temperature inside the cold chamber ranged from 0.2 to 0.9 ° C, and the air relative humidity ranged from 83.2 to 89.3%. The outside average air temperature ranged from 10.8 to 13.8 ° C. The cold chamber remained above to the recommended air temperature for table grapes (0°C), and was below to what is the minimal recommended (90%). The environmental conditions were consistently different between the environments throughout the study. The UmiTemP system has proved to be feasible for monitoring air relative humidity and air temperature inside cold chambers. The signal quality inside the cold chamber was not influenced by the distance or the wall coating. The website has a pleasant and simple interface to be used by managers of cold chambers, with graphical representations of the micro climate.

KEYWORDS: Precision agriculture. Real-time systems. Wireless sensor network.

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO I	10
1.1	INTRODUÇÃO.....	10
1.2	OBJETIVO GERAL.....	11
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2	CAPÍTULO II	12
2.1	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1.1	Produção de uvas	12
2.1.2	Armazenamento a frio	13
2.1.3	Redes de sensores sem fio (RSSF)	15
2.1.3.1	Protocolos de comunicação.....	16
2.1.3.2	Topologia de rede.....	18
2.1.3.3	Qualidade do sinal.....	19
2.1.3.4	Sistemas de tempo real.....	20
2.1.3.5	Sensores.....	21
2.2	REFERÊNCIAS.....	23
3	CAPÍTULO III	27
	RESUMO	27
	INTRODUÇÃO	28
	MATERIAL E MÉTODOS	30
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50
4	CAPÍTULO IV	52
	RESUMO	52
	INTRODUÇÃO	53
	MATERIAL E MÉTODOS	55
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
	CONCLUSÕES	69
	REFERÊNCIAS	70
5	CONCLUSÕES GERAIS	73

1 CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

A produção de uvas finas de mesa representa uma importante atividade econômica em todo globo. Esse mercado movimentou em 2016 o equivalente a \$ 19.569.607.000,00, entre importações e exportações, apesar da participação brasileira nesse setor corresponder a 0,68% das exportações mundiais, esta rendeu ao país \$ 65.262.000,00 (ITC, 2017).

Além disso, a viticultura é essencial para economia do vale do Submédio São Francisco. Essa região tem se destacado nesse setor, com produção de 306.700 toneladas, avaliadas em R\$ 652 milhões (IBGE, 2016). As cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA representam juntas 99,1% das exportações brasileiras de uvas finas de mesa (MDIC, 2017).

Esse mercado passou por mudanças nos padrões de consumo nos últimos anos, com a demanda por alimentos frescos, com maiores garantias de qualidades nutricional, sanitária e organoléptica (LAZZAROTTO; FIORAVANÇO, 2013). Essas exigências do mercado consumidor tem gerado a necessidade de melhorar o armazenamento, de maneira a manter a qualidade dos frutos, bem como aproveitar as janelas de comercialização (PINTO et al., 2015).

As cultivares *Vitis vinifera* estão sujeitas as perdas pós colheita, o que traz consequências para a qualidade do fruto, o armazenamento e consequentemente para a comercialização (WU et al., 2015). Esses frutos não climatéricos são sensíveis à temperatura e umidade, tendo como principais problemas de qualidade pós colheita, o apodrecimento, o ressecamento e o escurecimento das bagas (PEREIRA et al., 2017).

Nesse sentido, o desenvolvimento de *software* e *hardware* que auxiliem no gerenciamento das variáveis climáticas sensíveis para o armazenamento de uvas de mesa é fundamental para esse setor cada vez mais tecnificado. Além disso, as novas exigências do mercado consumidor, bem como a demanda por

transparência e segurança na produção de alimentos, fazem com que haja a necessidade de novas soluções.

Portanto, o monitoramento em tempo real pode ajudar no controle dos processos produtivos, bem como reduzir perdas econômicas. Sendo fundamental subsidiar os gestores dessa cadeia produtiva com dados precisos, de modo a otimizar o armazenamento de uvas de mesa.

1.2 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho teve como finalidade desenvolver um sistema de monitoramento em tempo real da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, bem como monitorar e avaliar as condições micrometeorológicas do armazenamento de uvas de mesa numa câmara fria.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver os *hardwares* e *softwares* da rede de sensores sem fio;
- Desenvolver os *softwares* para a interface gráfica via web;
- Implementar o sistema de monitoramento em tempo real;
- Avaliar o desempenho da rede quanto a qualidade do sinal;
- Analisar as variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar durante o armazenamento de uvas de mesa.

2 CAPÍTULO II

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1 Produção de uvas

A vitivinicultura é um mercado agrícola competitivo, marcado nos últimos anos pelas mudanças nos padrões de consumo, aumentando a demanda por alimentos frescos, com maiores garantias de qualidades nutricional, sanitária e organoléptica (LAZZAROTTO; FIORAVANÇO, 2013).

O Submédio do Vale do São Francisco tem uma participação de destaque nesse mercado, com produção de 306.700 toneladas, avaliadas em R\$ 652 milhões (IBGE, 2016). Além disso, as cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA correspondem a 70,8 % e 28,3 % das exportações brasileiras de uvas finas de mesa (MDIC, 2017).

Esse mercado tem crescido em virtude das qualidades nutricionais, bem como dos seus compostos fenólicos, que trazem benefícios à saúde dos consumidores, ao neutralizar radicais livres. Além disso, o desenvolvimento de novas cultivares sem sementes, tem ganhado a preferência dos consumidores (YOUSSEF et al., 2015).

Para o consumo *in natura*, as principais cultivares são Itália, Benitaka, Red Globe, Sugraone, Thompson Seedless e Crimson Seedless (LEÃO; LIMA, 2017). As cultivares *Vitis vinifera*, representam uma das mais importantes frutas produzidas no mundo. Todavia, estão sujeitas as perdas pós colheita, possivelmente devido sua maciez e suculência, o que influi na qualidade do fruto, no armazenamento e no mercado (WU et al., 2015).

As uvas de mesa são frutos não climatéricos, sensíveis à temperatura e umidade. Sendo o principal problema de qualidade pós colheita, o apodrecimento causado pelo fungo *Botrytis cinerea*, ressecamento e o escurecimento das bagas devido à perda de água. A transpiração das plantas é

afetada tanto por suas características, quanto pelas condições climáticas (PEREIRA et al., 2017).

Após colhidas, as uvas de mesa precisam ser resfriadas rapidamente para remover o calor, diminuir a respiração e a perda de água, essenciais para a manutenção da qualidade pós colheita. Essa prática é utilizada quando a temperatura do ar durante a colheita é alta, podendo aumentar a perda de água, resultando no ressecamento das bagas, bem como acelerar o estágio de senescência (ROMANAZZI et al., 2016).

Portanto, métodos de gerenciamento da temperatura são essenciais na produção de uvas de mesa. O resfriamento logo após a colheita é vital para manter a qualidade, minimizar a perda de água, retardar o desenvolvimento de podridão por fungos e reduzir a taxa de respiração (NELSON, 1978).

Produtos *in natura* são comprados, armazenados e transportados globalmente, devendo o tempo entre a colheita e o consumo, ser eficiente. No caso das frutas, o mais importante do armazenamento é preservar a qualidade, o conteúdo nutricional e o aspecto do produto durante esse período (WERNECKE; WERNECKE, 2014).

2.1.2 Armazenamento a frio

A refrigeração e a segurança dos alimentos estão diretamente relacionadas, uma vez que, o tempo total na cadeia de frios pode ser de horas, meses ou anos a depender do produto. Cada ponto da cadeia de frios é fundamental para a qualidade final do produto, onde falhas na temperatura podem levar a perdas ou preocupações quanto a segurança dos alimentos (MERCIER et al., 2017).

O armazenamento a frio trata-se de uma aplicação da refrigeração, sendo um sistema completo de condicionamento do ar de um ambiente. O ar de determinado ambiente é resfriado a uma temperatura baixa, através de uma serpentina metálica. As condições atmosféricas mantidas durante esse processo, dependem da natureza do produto armazenado. Fazendo-se

necessário um controle rígido da temperatura e da umidade relativa do ar (RAO, 2015).

Para a conservação da qualidade dos frutos, o armazenamento em câmaras frias, através do controle da temperatura e da umidade relativa, é o principal método. Pois, ao reduzir a temperatura, permite-se a manutenção da qualidade (PINTO et al., 2015). Portanto, monitorar a temperatura em câmaras frias, contêineres e caminhões, é fundamental na indústria de alimentos, visto que é um fator que afeta o tempo de prateleira de produtos perecíveis (KUMARI et al., 2015).

Algumas cultivares sem sementes são comercializadas em até dez semanas, após a colheita. Sendo as condições consideradas ideais para o armazenamento em câmaras frias, entre -1 e 0 °C para temperatura e de 90 à 95% para umidade relativa, visto que temperaturas baixas e umidade alta, limitam a perda de água das bagas. Além disso, danos por congelamento podem ocorrer em uvas em estágios menores de maturação. O maior ponto de congelamento para as bagas é -3 °C, porém varia de acordo com o teor de sólidos solúveis (GROSS; WANG; SALTVEIT, 2016).

Todavia, os valores ideais dessas variáveis no armazenamento a frio variam de acordo com fatores como a cultivar e o estágio de maturação. Além disso, encontra-se diferentes recomendações na literatura. Segundo Pinto et al. (2015), as uvas são normalmente mantidas sob temperaturas em torno de 0 °C. Enquanto, Rao (2015) considera que as uvas devem ser mantidas com temperatura de -0,5 °C e umidade relativa entre 85 e 90%.

Sob umidade alta, pode ocorrer a condensação, caso a fruta resfriada seja colocada em um ambiente quente. Essas condições são ideais para ocorrência de infecções através dos tecidos vegetais, uma vez que o fungo *B. cinerea* pode se desenvolver entre 0,5 e 32 °C (PINTO et al., 2015).

A condensação, além de propiciar o crescimento de microrganismos, pode reduzir a resistência dos materiais da embalagem. Essas condições reduzem o tempo de prateleira, podendo ser identificado somente em estágios avançados da cadeia de produção, daí a necessidade por um monitoramento em tempo real (BADIA-MELIS et al., 2015).

2.1.3 Redes de Sensores Sem fio (RSSF)

Uma rede pode ser compreendida como uma coleção de dispositivos conectados entre si. São canais de comunicação que possibilitam o compartilhamento de recursos e comunicação entre usuários. Os dois principais tipos de rede são as redes com fio e sem fio. A primeira, o fio é utilizado como um meio de comunicação para transferir dados dentro da rede. Enquanto a segunda utiliza o ar como meio de comunicação (EL-BENDARY, 2015). Além disso, a transmissão sem fio tem uma série de vantagens sobre a transmissão com fios, como o baixo custo de manutenção, a maior mobilidade, melhor flexibilidade e rápida implementação em casos especiais (XIAO et al., 2016).

Os recentes avanços possibilitaram integrar sensores, rádio comunicação e eletrônica digital em um único circuito. Essa capacidade tem permitido que redes com sensores de baixo custo possam se comunicar através dos protocolos de redes sem fio e de baixo consumo de energia (WILSON, 2005).

A transmissão sem fio permite a alocação de sensores em ambientes remotos e adversos, além de apresentarem melhor custo-benefício em relação às redes tradicionais, facilidade de instalação e pequena dimensão (ILYAS et al., 2015). Esse tipo de rede possibilita cobrir espaços, eliminando obstáculos e diferenças geográficas. Possibilitando, dessa forma, a comunicação e transferência de dados através de barreiras (EL-BENDARY, 2015).

Redes de sensores sem fio são formadas a partir da cooperação de um conjunto de sensores no monitoramento de um ambiente físico (DARGIE; POELLABAUER, 2010). São geralmente compostas por uma estação base, que se comunica com sensores sem fio, através de conexão de rádio. Os dados são coletados nos nós sensores, comprimidos e transmitidos para o *gateway* diretamente, ou, através de outros nós sensores até chegar ao *gateway*. Os dados transmitidos, são apresentados para o sistema, utilizando uma conexão externa (WILSON, 2005).

Consistem de nós sensores espacialmente distribuídos e de nós coletores (*sink* ou *gateway*). Os nós sensores são capazes de monitorar variáveis físicas, bem como, transmitir informações oriundas de outros nós sensores. Os nós

coletores também tem a capacidade de interface entre o usuário final e a rede, a partir de uma conexão externa (SENOUCI; MELLOUK, 2016). Além dos dispositivos de sensoriamento, os nós sensores carregam rádios transmissores, fontes de energia e alguns casos, atuadores. Apresentam também limitações quanto a velocidade de processamento, capacidade de armazenamento e banda de comunicação (MATIN, 2012).

A cooperação entre os nós varia de acordo com algumas arquiteturas e modelos de rede, sendo que estes, são dependentes da capacidade dos sensores e das necessidades da aplicação. Dessa forma, podem ser classificadas de acordo com o tamanho da rede, a capacidade de sensoriamento, a mobilidade, o roteamento e a hierarquia (SENOUCI; MELLOUK, 2016).

Embora a área de defesa ainda domine o mercado, existe uma forte demanda por sistemas de monitoramento. Centenas de nós sensores são utilizados para monitorar grandes áreas geográficas, previsão de poluição ambiental e enchentes, vibração de estruturas, controle de água e fertilizantes, dentre outras aplicações (DARGIE; POELLABAUER, 2010).

Os nós sensores combinam o significado de mensuração de parâmetros ambientais, processamento, capacidade de comunicação sem fio e autonomia energética em um único dispositivo. As redes de sensores sem fio podem ser implementadas discretamente em um ambiente físico, para monitorar uma ampla variedade de fenômenos do mundo real, com qualidade e escala, causando perturbações apenas aos processos físicos observados (EL-BENDARY, 2015).

2.1.3.1 Protocolos de comunicação

Os padrões são produzidos por grupos de companhias para obter interoperabilidade dos produtos, independentes de fabricante. Dessa maneira, mesmo com dispositivos de fabricantes diferentes, é possível trabalhar em conjunto, sem necessidade de customização. O IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) é responsável por definir os padrões utilizados para redes de sensores sem fio (KUORILEHTO et al., 2007).

A família do padrão IEEE 802.11, é a mais conhecida para as tecnologias de redes sem fio e sistemas móveis. Ela usa diferentes bandas de frequência, como a faixa 2,4 GHz, dos protocolos IEEE 802.11b e IEEE 802.11g. No entanto, o protocolo IEEE 802.11a utiliza a banda de frequência 5 GHz. Essa família de protocolos é pioneira para redes de sensores sem fio, e continua sendo requisitada, devido a maior largura de banda. Todavia, sua demanda energética é um fator limitante para redes de sensores de baixo consumo (DARGIE; POELLABAUER, 2010).

A camada física de rádio, define a frequência de operação, esquema de modulação e a interface de *hardware* do sistema. Existem muitos circuitos integrados de baixa potência no mercado, apropriados para a camada de rádio em redes de sensores sem fio. Sendo que a utilização de interfaces de rádio baseadas em padrões, facilitam a interoperabilidade dentre os diversos dispositivos comerciais (WILSON, 2005).

As necessidades de transmissão de dados de uma rede de sensor sem fio são baixas, portanto, o fluxo de dados do protocolo IEEE 802.11 é superior a demanda. Dessa maneira, foram desenvolvidos protocolos para adequar baixo consumo energético e baixo fluxo de dados. Nesse sentido, o protocolo IEEE 802.15.4 foi projetado para comunicação de curto alcance em rede de sensores de baixo consumo (DARGIE; POELLABAUER, 2010).

O padrão IEEE 802.15.4 foi desenvolvido para permitir aplicações de baixo custo e baixa potência na indústria, agricultura, automóveis e saúde, com a utilização de sensores e atuadores. Este padrão opera nas bandas de frequência conhecidas como ISM (*Industrial, Scientific, Medicine*), cuja licença de operação é livre, sendo compatível no mundo inteiro (KUORILEHTO et al., 2007). Trata-se de um padrão flexível que permite diferentes taxas de dados e diferentes frequências de transmissão. O consumo energético é considerado baixo, uma vez que os dispositivos podem ser periodicamente desligados (WILSON, 2005).

As camadas físicas de baixa faixa operam nas faixas de frequência de 868 MHz ou 915 MHz, possuindo taxas de transmissão de dados de 20 kbps ou 40 kbps, respectivamente. Enquanto, que a camada física da banda de alta,

opera na faixa de frequência de 2,4 GHz, com taxa de transmissão de dados de 250 kbps. Essa banda de frequência apresenta maior potencial para aplicações em RSSF, em larga escala, uma vez que a alta taxa transmissão de dados, reduz o tempo de transmissão, bem como a energia gasta por bit de dados transmitidos e recebidos (KUORILEHTO et al., 2007).

O protocolo IEEE 802.11 é um padrão destinado às redes de área local (LAN), com alto tráfego de dados entre dispositivos, cuja taxa de transferência dados ocorre entre 1 Mbps e 50 Mbps. Além disso, o alcance chega até 100 metros, utilizando uma antena padrão, podendo ser melhorado com o auxílio de uma antena de alto ganho. Embora a alta taxa de dados seja suficiente para aplicações com rede de sensores, o consumo energético pode ser um empecilho (WILSON, 2005).

O *Bluetooth* é um padrão de rede de área pessoal (PAN), cuja potência é menor que o padrão IEEE 802.11. Foi projetado para aplicações de transferência de dados pessoais de computadores para dispositivos periféricos. Utiliza a topologia de rede estrela, suportando a comunicação de até sete nós com único nó coletor. Embora existam diversas aplicações comerciais com esse padrão, o mesmo apresenta algumas limitações. São elas o alto consumo energético em curto alcance, tempo de sincronização dos nós sensores, baixo número de nós por rede, e a complexidade da camada de acesso ao meio (MAC) para aplicações em RSSF (WILSON, 2005).

2.1.3.2 Topologia de rede

A topologia de rede determina como os dispositivos estão interligados (WANG et al., 2015). Além de ter efeito importante na operação das redes de sensores sem fio, uma vez que afeta a latência, a robustez e a capacidade da rede (KUORILEHTO et al., 2007).

Quando cada nó sensor se comunica diretamente com a estação base, essa comunicação é chamada de *single-hop* (único salto). Enquanto, a comunicação entre os diversos nós até a estação base, é conhecida como *multi-hop* (múltiplos saltos) (DARGIE; POELLABAUER, 2010). Numa rede de

sensores sem fio, a topologia pode ser dividida em: topologia em estrela (*star*), topologia em árvore (*tree*) e a topologia em malha (*mesh*) (WANG et al., 2015).

No caso da topologia estrela, o *gateway* funciona como uma unidade de processamento central, que reúne as leituras dos sensores de todos os nós. O nó central atua como um canal para transmitir as mensagens coletadas (KARIMI et al., 2018). A topologia em estrela tem menor complexidade, consumo de energia e custo. Porém, quando o caminho de transmissão é bloqueado por água, a estabilidade da comunicação dessa topologia, diminui (WANG et al., 2015).

Na topologia em malha, os nós sensores não apenas capturam e transmitem seus próprios dados, podendo propagar os dados dos outros nós sensores em direção à estação base (DARGIE; POELLABAUER, 2010). Essa topologia tem maior complexidade, consumo de energia e custo, porém apresenta melhor estabilidade de comunicação quando é alta a atenuação da propagação pela água (WANG et al., 2015).

A topologia em árvore pode realizar o roteamento *multi-hop*, com menor consumo de energia. Nesse tipo de topologia, os nós são classificados de forma hierárquica em: nó coordenador, nó roteador e nó sensor. Os roteadores são responsáveis por retransmitir as mensagens e podem agregar dados, garantindo a qualidade da comunicação. Essa topologia é considerada média em termos de complexidade, consumo de energia e custo (WANG et al., 2015).

2.1.3.3 Qualidade do sinal

As formas de avaliar os protocolos de roteamento, permitem realizar uma análise da caracterização do tráfego de dados na rede. Podem ser usadas para medir o desempenho de uma rede em geral, bem como, monitorar o estado de cada nó (ANZOLA; GARCÍA-DÍAZ; JIMÉNEZ, 2017).

Um método que demonstra a confiabilidade do roteamento escolhido, sendo fortemente influenciado pelo sucesso da operação de roteamento, é a taxa de pacotes entregues (MATIN, 2012). Muito utilizado em rede de sensores sem fio, pode ser definido como a taxa de pacotes em função do número de pacotes

enviados. A taxa de pacotes entregues (PDR - *Packet Delivery Ratio*) é apresentado na Equação 1 (ANZOLA; GARCÍA-DÍAZ; JIMÉNEZ, 2017).

$$PDR = \frac{\text{Número de pacotes entregues}}{\text{Total de pacotes enviados}} \quad (1)$$

Uma outra métrica utilizada é o percentual de pacotes perdidos, que avalia a confiabilidade de um canal sem fio. A segurança da conexão pode ser definida pela diferença entre o sucesso dos pacotes de dados enviados e o total de pacotes recebidos (EL-BENDARY, 2015). Portanto, é a taxa de perda de pacotes (PLR - *Packet Lost Ratio*), que corresponde ao número total de dados perdidos durante a transmissão, Equação 2 (GAJENDRAN et al., 2017).

$$PLR = \frac{\text{Pacotes enviados} - \text{Pacotes entregues}}{\text{Pacotes enviados}} \quad (2)$$

Em alguns casos esses indicadores são o suficiente, porém numa rede de sensores em tempo real que utiliza atuadores, por exemplo, outras métricas são necessárias. Contudo, tanto a quantidade, quanto a qualidade da informação extraída são importantes para os eventos analisados (MAHMOUD; XIA, 2014).

2.1.3.4 Sistemas de tempo real

Os sistemas que precisam responder uma demanda num determinado intervalo de tempo, são chamados de sistemas de tempo real. Para esse tipo de sistema, cada requisição de serviço está associada a uma tarefa (*job*), que está limitada pelos requisitos temporais (*timing constraints*). O requisito temporal de uma tarefa é normalmente especificado, em função do instante de tempo no qual o serviço deve ser completado (*deadline*). A gravidade da perda desse requisito, é determinante para classificar o sistema em *hard real-time* ou *soft real-time*. No primeiro, uma falha é considerada inaceitável, e no segundo é considerada indesejável, mas tolerável (FAN, 2015).

Atualmente, tem crescido a percepção sobre a implantação de tecnologias voltadas para o ambiente agrícola. Nesse ambiente, a coleta manual de dados só é possível de maneira esporádica, além de propiciar mensurações incorretas. A utilização de sensores sem fio no monitoramento ambiental, pode economizar tempo e trabalho. Bem como, permitir a alocação de nós em locais críticos, evitando submeter trabalhadores a riscos desnecessários. Os sistemas de monitoramento podem proporcionar respostas rápidas para condições e fatores adversos (GOYAL; SHARMA; JOSHI, 2017).

O monitoramento em tempo real, utilizando as redes de sensores sem fio, tem sido eficientemente aplicado em sistemas de processamento de uvas. Essas tecnologias podem oferecer um processo de mensuração mais seguro e confiável para a produção de uvas e derivados (KARIMI et al., 2018). O gerenciamento em tempo real é fundamental na cadeia de frios, tanto para a segurança dos alimentos, como também para a manutenção da qualidade (XIAO et al., 2017).

A coleta de dados automatizada através de radiofrequência, permite o compartilhamento de informações dos processos em tempo real. Com o auxílio de bancos de dados, essas informações podem ser acessadas por usuários externos. Além disso, a automatização dos processos pode reduzir ou eliminar a carga de trabalho, conseqüentemente a necessidade de mão de obra (PARREÑO-MARCHANTE et al., 2014). A implementação da RSSF é uma das soluções para o monitoramento em tempo real na cadeia de frios, pois integra tecnologia embarcada, tecnologia de rede e comunicação sem fio (XIAO et al., 2017).

2.1.3.5 Sensores

A partir da necessidade de obter medidas mais precisas, a função de controle do operador tem sido substituída por instrumentos e sensores, tornando a função de controle independente de recursos humanos, uma vez que os processos podem ser totalmente automatizados (DUNN, 2005).

Um sistema de mensuração existe para prover informação sobre o valor físico de alguma variável a ser medida, sendo que um instrumento de medição pode conter um ou mais elementos (MORRIS, 2001). Dessa forma, o elemento capaz de coletar informação de uma dada propriedade física e convertê-la em sinal elétrico, é conhecido como sensor. Essa troca de informação envolve transferência de massa, energia ou *momentum* do fenômeno mensurado para o sensor (MORGAN; HALEY, 2007). Além disso, o sensor capaz de transformar uma forma de energia em outra, é conhecido como transdutor (PURKAIT et al., 2013).

Após a mensuração de um fenômeno através do sensor, a saída em forma de sinal elétrico pode não estar na forma apropriada e precisar ser convertida, enquanto mantém a informação original (PURKAIT et al., 2013). Para melhorar a qualidade da saída, bem como a resolução e a sensibilidade da mensuração, são utilizados elementos de processamento de sinal (MORRIS, 2001).

Um sensor é um instrumento que responde a um estímulo físico específico, e produz um sinal elétrico passível de medição. Pode ser mecânico, elétrico, eletromecânico, magnético ou óptico. Esse dispositivo é essencial no cotidiano, devido à necessidade cada vez maior de obter informações e processá-las adequadamente para tarefas específicas (JEONG, 2009).

O transdutor é parte de um sensor ou circuitaria que converte a saída do sensor para a forma de sinal elétrico. Esse dispositivo também pode ser projetado para amplificar ou atenuar o sinal, linearizar a saída, ou mudar o sinal de alguma outra forma (HUANG; WHITTAKER; LACEY, 2001). Normalmente é elétrico, eletrônico, eletromecânico, eletromagnético, fotônico ou fotovoltaico (PURKAIT et al., 2013).

Além disso, podem ser tecnicamente classificados de acordo com o seu princípio de funcionamento. Assim, os sensores podem medir um fenômeno físico através dos seguintes princípios: variação da resistência elétrica, variação da capacitância, variação da indutância, indução eletromagnética, efeito termoelétrico, efeito fotoelétrico, dentre outros (JEONG, 2009).

2.2 REFERÊNCIAS

ANZOLA, J. P.; GARCÍA-DÍAZ, V.; JIMÉNEZ, A. C. WSN analysis in grid topology for potato crops for IoT. **Proceedings of the 4th Multidisciplinary International Social Networks Conference on MISNC 2017**, p. 1–7, 2017. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3092090.3092104>>.

BADIA-MELIS, R.; RUIZ-GARCIA, L.; GARCIA-HIERRO, J.; ROBLA VILLALBA, J. I. Refrigerated fruit storage monitoring combining two different wireless sensing technologies: RFID and WSN. **Sensors (Switzerland)**, v. 15, n. 3, p. 4781–4795, 2015.

DARGIE, W.; POELLABAUER, C. **Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice**. [s.l: s.n.]v. 2010

DUNN, W. C. **Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control**. 1. ed. Norwood: Artech House, 2005.

EL-BENDARY, M. A. M. M. K. **Developing security tools of WSN and WBAN networks applications**. [s.l: s.n.]v. 316

FAN, X. **Real-time embedded systems Design Principles and Engineering Practices**. [s.l: s.n.]

GAJENDRAN, E.; VIGNESH, J.; BOSELIN PRABHU, R.; PROFESSOR, A. A Novel Drip Irrigation System Using Wireless Sensor Networks. v. 2, n. 1, p. 2456–774, 2017. Disponível em: <http://ijasret.com/VolumeArticles/FullTextPDF/117_IJASRET-_A_Novel_Drip_Irrigation_System_Using_Wireless_Sensor_Networks.pdf>.

GOYAL, H.; SHARMA, C.; JOSHI, N. An Integrated Approach of GIS and Spatial Data Mining in Big Data. **International Journal of Computer Applications**, v. 169, n. 11, p. 975–8887, 2017. Disponível em: <<http://www.ijcaonline.org/archives/volume169/number11/goyal-2017-ijca-914012.pdf>>.

GROSS, K. C.; WANG, C. Y.; SALTVEIT, M. (ed.). **The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks**. Washington, DC: Agriculture Handbook 66, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016.

HUANG, Y.; WHITTAKER, A. D.; LACEY, R. E. **Automation for Food Engineering: Food Quality Quantization and Process Control**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/A/24/S/PA/C/Q>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

ILYAS, M.; ALWAKEEL, S. S.; ALWAKEEL, M. M.; AGGOUNE, el-H. M. **Sensor Networks for Sustainable Development**. [s.l: s.n.]v. 1

ITC. **Trade Map - Trade statistics for international business development**. Disponível em: <<https://www.trademap.org/tradestat/index.aspx>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

JEONG, W. Sensors and Sensor Networks. In: NOF, S. Y. (Ed.). **Springer Handbook of Automation**. 1. ed. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 333–348.

KUMARI, L.; NARSAIAH, K.; GREWAL, M. K.; ANURAG, R. K. Application of RFID in agri-food sector. **Trends in Food Science and Technology**, v. 43, n. 2, p. 144–161, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.005>>.

KUORILEHTO, M.; KOHVAKKA, M.; SUHONEN, J.; HAMALAINEN, P.; HANNIKAINEN, M.; HAMALAINEN, T. D. **Ultra-Low Energy Wireless Sensor Networks in Practice**. [s.l: s.n.]

LAZZAROTTO, J. J.; FIORAVANÇO, J. C. **Comércio Exterior Mundial e Brasileiro de Uva de Mesa: Análise de Indicadores de Competitividade, Tendências e Sazonalidades**. 21. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2013.

LEÃO, P. C. de S.; LIMA, M. A. C. de. Cultivar BRS Núbia: Produtividade e Qualidade da Uva no Submédio do Vale do São Francisco. In: **Comunicado Técnico, 172**. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, 2017. p. 1–4.

MAHMOUD, M. S.; XIA, Y. **Networked Filtering and Fusion in Wireless Sensor Networks**. 1. ed. [s.l.] CRC Press, 2014.

MATIN, M. A. **WIRELESS SENSOR NETWORKS – TECHNOLOGY AND PROTOCOLS**. [s.l: s.n.]

MDIC. **Comex Vis: Principais Produtos Exportados**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-ppe?ppe=1325>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

MERCIER, S.; VILLENEUVE, S.; MONDOR, M.; UYSAL, I. Time – Temperature Management Along the Food Cold Chain : A Review of Recent Developments. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 647–667, 2017.

MORGAN, M. T.; HALEY, T. A. Design of Food Process Controls Systems. In: KUTZ, M. (Ed.). **Handbook of Farm Dairy and Food Machinery**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2007. p. 485–552.

MORRIS, A. S. **Measurement and Instrumentation Principles**. 3. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

NELSON, K. E. Pre-cooling - its significance to the market quality of table grapes. **International Journal of Refrigeration**, v. 1, n. 4, p. 207–215, 1978.

PARREÑO-MARCHANTE, A.; ALVAREZ-MELCON, A.; TREBAR, M.; FILIPPIN, P. Advanced traceability system in aquaculture supply chain. **Journal of Food Engineering**, v. 122, p. 99–109, fev. 2014. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877413004597>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

PEREIRA, E.; GONÇALVES, R.; SPAGNOL, W. A.; JUNIOR, V. S. Water loss in table grapes: model development and validation under dynamic storage conditions. p. 1–7, 2017.

PINTO, J. A. V.; SCHORR, M. R. W.; THEWES, F. R.; CECONI, D. L.; BOTH, V.; BRACKMANN, A.; FRONZA, D. Relative humidity during cold storage on Postharvest quality of “Niagara Rosada” table grapes. **Ciência Rural**, v. 45, n. 3, p. 386–391, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000300386&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

PURKAIT, P.; BISWAS, B.; DAS, S.; KOLEY, C. **Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation**. New Delhi: McGraw Hill Education, 2013.

RAO, C. G. **Engineering for Storage of Fruits and Vegetables: Cold Storage, Controlled Atmosphere Storage, Modified Atmosphere Storage**. [s.l.: s.n.]

ROMANAZZI, G.; SMILANICK, J. L.; FELIZIANI, E.; DROBY, S. Integrated management of postharvest gray mold on fruit crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 113, p. 69–76, 2016.

SENOUCI, M. R.; MELLOUK, A. **Deploying wireless sensor networks : theory and practice**. [s.l.: s.n.]

WANG, J.; WANG, H.; HE, J.; LI, L.; SHEN, M.; TAN, X.; MIN, H.; ZHENG, L. Wireless sensor network for real-time perishable food supply chain management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 110, p. 196–207, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2014.11.009>>.

WERNECKE, R.; WERNECKE, J. **Industrial Moisture and Humidity Measurement: A Practical Guide**. 1. ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2014.

WILSON, J. S. **Sensor Technology Handbook**. [s.l.: s.n.]

WU, Z.; YUAN, X.; LI, H.; LIU, F.; WANG, Y.; LI, J.; CAI, H.; WANG, Y. Heat acclimation reduces postharvest loss of table grapes during cold storage - analysis of possible mechanisms involved through a proteomic approach. **Postharvest Biology and Technology**, v. 105, p. 26–33, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.012>>.

XIAO, X.; FU, Z.; ZHANG, Y.; PENG, Z.; ZHANG, X. Developing an Intelligent Traceability System for Aquatic Products in Cold Chain Logistics Integrated WSN with SPC. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, n. 6, p. 1448–1458, 2016.

XIAO, X.; HE, Q.; LI, Z.; ANTOCE, A. O.; ZHANG, X. Improving traceability and transparency of table grapes cold chain logistics by integrating WSN and correlation analysis. **Food Control**, v. 73, p. 1556–1563, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.019>>.

YOUSSEF, K.; ROBERTO, S. R.; CHIAROTTI, F.; KOYAMA, R.; HUSSAIN, I.; DE SOUZA, R. T. Control of Botrytis mold of the new seedless grape “BRS Vitoria” during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 193, p. 316–321, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.026>>.

3 CAPÍTULO III

1 **UMITEMP: SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO EM** 2 **TEMPO REAL DE TEMPERATURA E UMIDADE EM CÂMARAS FRIAS**

3

4 **RESUMO:** O presente trabalho, teve como objetivo desenvolver um sistema de baixo
5 custo, capaz de monitorar as variáveis temperatura e umidade relativa do ar em câmaras
6 frias de uvas de mesa. Foi desenvolvido um sistema de monitoramento em tempo real,
7 denominado UmiTemp. Esse sistema é constituído da integração de *hardware* e *software*,
8 voltados para a aquisição dos dados, utilizando comunicação sem fio por radiofrequência
9 e interface via *web*. Para a implementação da rede de sensores, foi escolhido um
10 transceptor com capacidade de auto-organização. O processamento e apresentação dos
11 dados, através da interface *web* são realizados por um microcomputador, localizado acima
12 da câmara fria. O sistema foi testado em câmara fria de pequenas dimensões e
13 implementado em câmara fria comercial. A rede foi analisada quanto a qualidade do sinal
14 e o seu desempenho. O sistema UmiTemp mostrou-se viável para monitorar umidade
15 relativa e temperatura em câmaras frias de uvas de mesa. A qualidade do sinal na câmara
16 fria não foi influenciada pela distância ou pelo revestimento da parede. O *website*
17 apresenta uma interface agradável e simples de ser utilizada por gestores de câmaras frias,
18 com representações gráficas do microclima.

19

20 **PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão. Cadeia de frios. Eletrônica embarcada.

21

22 **ABSTRACT:** The objective of this work was to develop a low cost system able to
23 monitor air temperature and relative humidity variables inside cold chambers of table
24 grapes. A real-time monitoring system, called UmiTemP, was developed. This system
25 consisted of integration between hardware and software, aimed to data acquisition, using
26 wireless communication by radiofrequency, and *web* interface. A transceiver with self-
27 organizing capability was chosen to implement the wireless sensor network. The
28 processing and presentation of data through the *web* interface was performed by a
29 microcomputer located above the cold chamber. The system was tested inside a small
30 cold chamber and implemented in a commercial cold chamber. The network was analyzed
31 for signal quality and performance. The UmiTemP system proved to be feasible to
32 monitoring relative humidity and air temperature inside cold chambers for grapes. The
33 signal quality inside the cold chamber was not influenced by the distance or the wall
34 coating. The *website* has a pleasant and simple interface to be used by managers of cold
35 chamber, with graphical representations of the microclimate.

36

37 **KEYWORDS:** Cold chain. Embedded electronics. Precision agriculture.

38

39 **INTRODUÇÃO**

40 A agricultura de precisão (AP) é um dos sistemas mais modernos e estratégicos para
41 o campo, pois alia tecnologia da informação com gerenciamento, beneficiando a
42 eficiência na produção e a produtividade (KARIMI et al, 2018). Também está relacionada
43 a aplicação de técnicas geoespaciais e ao uso de sensores para identificar variações ou
44 estratégias de gerenciamento para subsidiar a tomada de decisão na produção agrícola
45 (WACHOWIAK et al., 2017).

46 Com a crescente preocupação com a segurança alimentar, onde as perdas são
47 inaceitáveis, ocorre a demanda por uma cadeia de produção automatizada, através de
48 sistemas de monitoramento contínuo. Há a necessidade de monitorar a temperatura
49 durante toda a cadeia produção, de maneira a aumentar a transparência, ajudar na
50 segurança alimentar, na redução das perdas e na proteção do consumidor (BADIA-
51 MELIS et al., 2017).

52 Portanto, a tecnologia de rede de sensores sem fio (RSSF), que são baseadas na
53 aquisição, transmissão e processamento de dados, tem sido utilizadas para garantir o
54 monitoramento remoto, em tempo real, de sistemas agrícolas de produção e
55 processamento (KARIMI et al., 2018). As tecnologias de radiofrequência (RF) são
56 consideradas promissoras para o setor de monitoramento da cadeia de frios, pois reduz
57 custos de trabalho, aumenta a eficiência da cadeia produtiva e melhora o gerenciamento
58 dos produtos perecíveis (KUMARI et al., 2015).

59 Embora os sistemas inteligentes sejam fundamentais para alcançar os desafios da
60 produção agrícola, essas novas tecnologias têm produzido um grande volume de dados,
61 com rapidez sem precedentes (KAMILARIS; KARTAKOULLIS; PRENAFETA-
62 BOLDÚ, 2017). Contudo, a visualização de dados é essencial para as aplicações *web*,
63 dedicadas à agricultura de precisão, devido ao volume de dados gerados, que são difíceis
64 de interpretar. Dessa forma, os produtores necessitam de aplicações que os auxiliem a
65 compreender e interpretar seus próprios dados (WACHOWIAK et al., 2017).

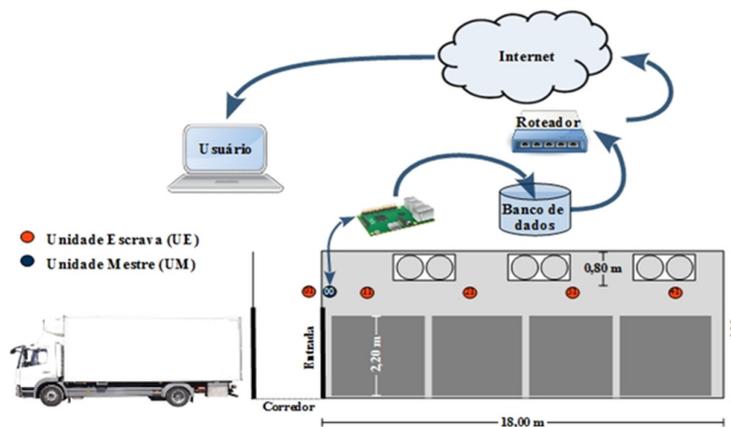
66 Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um sistema de baixo custo,
67 capaz de monitorar em tempo real as variáveis temperatura e umidade relativa do ar em
68 câmaras frias de uvas de mesa.

69

70 MATERIAL E MÉTODOS

71 Foi desenvolvido um sistema de monitoramento em tempo real no laboratório de
 72 Energia na Agricultura da UNIVASF/Campus Juazeiro-BA, para câmaras frias de uvas de
 73 mesa, denominado UmiTemP. Esse sistema é constituído da integração de *hardware* e
 74 *software*, voltados para a aquisição das variáveis temperatura e umidade relativa do ar,
 75 utilizando comunicação sem fio e interface via *web*.

76 Para a aquisição das variáveis físicas temperatura e umidade, foi implementado uma
 77 rede de sensores sem fio (RSSF), com capacidade de auto-organização e coletando dados
 78 a cada minuto. O armazenamento e processamento desses dados ocorre com o auxílio de
 79 um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional, e uma aplicação *web* para
 80 gerar gráficos dinâmicos e mapas das variáveis analisadas na instalação. Para isso, é
 81 utilizado um microcomputador instalado acima da câmara fria. A Figura 1 apresenta uma
 82 visão geral do sistema de monitoramento.



83 FIGURA 1: Arquitetura do sistema UmiTemP.

84

85 Sistema de monitoramento em tempo real

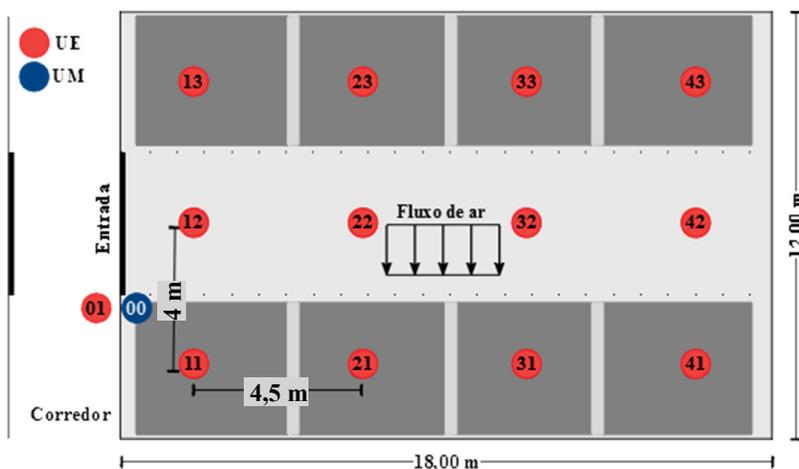
86 A câmara fria é um ambiente onde as condições atmosféricas não são ideais para a
 87 disposição de equipamentos eletrônicos, uma vez que a temperatura encontra-se baixa e

88 a umidade relativa do ar muito alta, próxima da saturação. Podendo decorrer em oxidação
 89 dos dispositivos, curto-circuito, reflexão dos sinais de radiofrequência, dentre outros
 90 empecilhos. Nesse sentido, foi necessário isolar os dispositivos, bem como testar
 91 previamente a transmissão de dados dentro da câmara fria.

92 O sistema apresenta uma rede de sensores sem fio, alocados em diferentes posições
 93 dentro e fora da câmara fria. É utilizada comunicação sem fio por radiofrequência, para
 94 transmissão dos dados das unidades escravas (UE) para a unidade mestre (UM). As
 95 unidades escravas são compostas por sensor de temperatura, sensor de umidade, módulo
 96 de radiofrequência e uma placa microcontrolada, para o gerenciamento das funções do
 97 *hardware*. Além disso, é utilizada uma unidade escrava dotada de um sensor de
 98 luminosidade, externa à instalação (Figura 2).

99

100 FIGURA 2: Distribuição espacial dos sensores do sistema UmiTemp.



101

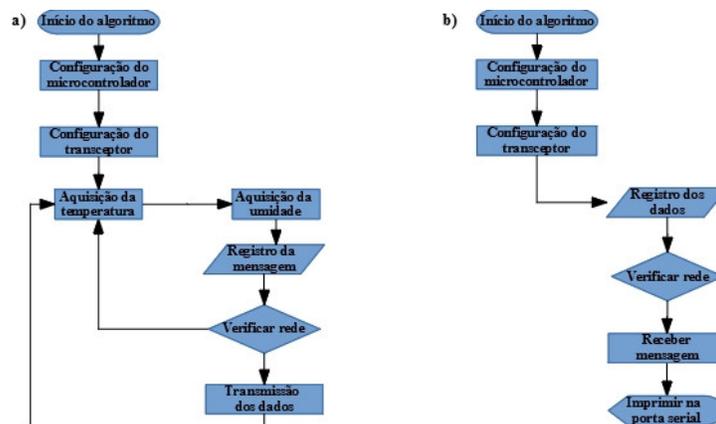
102 A unidade mestre é composta apenas por placa microcontrolada, sensor de
 103 luminosidade e módulo de radiofrequência, de modo a coletar os dados das outras
 104 unidades e direcioná-los para um microcomputador, através de uma porta serial. Por sua

105 vez, o microcomputador armazena as informações coletadas em um sistema gerenciador
 106 de banco de dados relacional (SGBDR), processa-os e os apresenta numa página *web*,
 107 utilizada como interface gráfica para os usuários do sistema UmiTemp.

108 A rede de sensores sem fio, consiste de um conjunto de 12 nós sensores (UE),
 109 distribuídos espacialmente numa câmara fria, um nó sensor alocado fora da instalação, e
 110 um nó coletor (UM), conectado via porta serial a um microcomputador. A partir deste
 111 último, as informações são armazenadas em banco de dados e apresentados através de
 112 interface *web*, por intermédio de uma conexão externa com a *Internet*.

113 Para a implementação da RSSF, foi escolhido um transceptor que permitisse a
 114 aplicação da topologia multiponto ou topologia *mesh*, de maneira que as unidades
 115 escravas possam transmitir os dados por intermédio das outras unidades, até alcançar a
 116 unidade mestre. Dessa forma, a rede é capaz de autorganizar-se e caso ocorra alguma
 117 falha, a transmissão dos dados segue através das outras unidades disponíveis. Numa rede
 118 hierárquica, a falha na unidade responsável por coordenar outros nós, implica na perda de
 119 informação dos mesmos. Os *firmwares* embarcados nos *hardwares* da RSSF são
 120 apresentados na Figura 3.

121



122 FIGURA 3: Fluxograma dos *firmwares* embarcados na unidade escrava (a) e na unidade

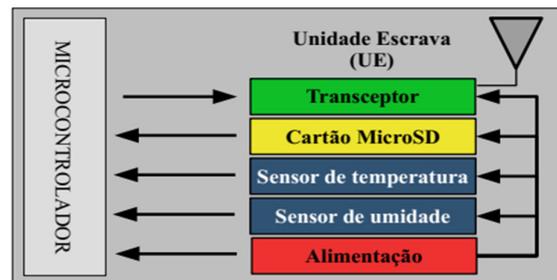
123 mestre (b).

124

125 **Unidades escravas (UE)**

126 São compostas por elementos sensores, módulo de radiofrequência e
 127 microcontrolador. Além disso, o dispositivo conta com entrada para módulo de cartão de
 128 memória microSD, podendo ser utilizado como *data logger*. Na Figura 4 é apresentado
 129 um diagrama em blocos da unidade escrava.

130



131 FIGURA 4: Diagrama em blocos do *hardware* da unidade escrava.

132

133 A unidade conta com o microcontrolador ATmega328P (*Atmel Corporation*,
 134 California, EUA), responsável por gerenciar todos os processos da UE. Dentre as
 135 vantagens desse microcontrolador está a facilidade de programação e a vasta
 136 documentação. Apresenta conversores analógicos digitais (A/D) de 10 bits, bem como
 137 tensão de referência interna de 1,1 V, o que permite a aquisição de dados a partir de baixas
 138 respostas de tensão, sem a necessidade de amplificador operacional.

139 Para o monitoramento da umidade relativa do ar, foi escolhido o sensor capacitivo
 140 HIH 4000-001 (*Honeywell International Inc.*, Minnesota, EUA). Esse sensor conta com
 141 condicionamento de sinal integrado, e pode operar sob condições adversas, como
 142 sistemas de refrigeração. Todavia, para obter uma melhor precisão nas medidas com esse

143 tipo de sensor, é necessário realizar calibração individual, como avaliaram alguns autores
 144 (MARCO FOSSA; PAOLO PETAGNA, 2003; MAYER; REUDER; SCHWEEN, 2005;
 145 NAIR et al., 2015).

146 O sensor de temperatura utilizado, foi o modelo LM35Dz (*Texas Instruments Inc.*,
 147 Texas, EUA). Esse tipo de sensor apresenta a vantagem de não necessitar de calibração
 148 externa. É caracterizado pela resposta linear, exatidão de 0,5 °C, podendo medir uma
 149 grande faixa temperatura (Tabela 1). Porém, para medir temperaturas negativas, foi
 150 necessário adicionar ao circuito um diodo 1n4007, para criar um *offset*, dispensando o
 151 uso de tensão negativa.

152

153 TABELA 1: Características dos sensores utilizados nas unidades escravas.

Características do sensor	HIH-4000-001	LM35Dz
Mensurando	Umidade relativa do ar	Temperatura do ar
Tipo de sensor	Capacitivo	Circuito integrado
Faixa de medição	0 a 100 %UR	-55 a 150 °C
Exatidão	±3,5 %UR	±0,5 °C
Tempo de resposta	5 s	60 s (ar no regime estacionário)
Alimentação	4 a 5,8 V	4 a 30 V
Sinal de medição	Tensão	Tensão

154

155 O módulo de radiofrequência utilizado, foi o transceptor nRF24L01 (*Nordic*
 156 *Semiconductor*, OSLO, NOR), que opera na frequência de 2,4 GHz, com potência de
 157 transmissão de -20 a 0 dBm, taxa de transmissão de 250 a 2000 Kbps, podendo operar
 158 com até 125 canais de comunicação e limitado a uma distância de 100 m. Essa faixa de
 159 frequência permite baixo intervalo de tempo para transmissão e recepção de dados, com
 160 consequente redução da potência consumida. Uma das características desse transceptor,

161 é o limite do tamanho da mensagem em até 32 bytes, quanto menor o tamanho do pacote,
 162 menor a perda de dados durante a transmissão.

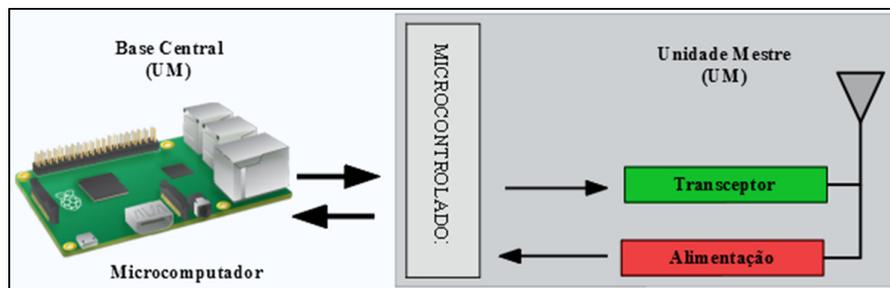
163 Além disso, para suportar as condições adversas de uma câmara fria, foi necessário
 164 realizar algumas adaptações após a produção da placa de circuito impresso. Com a
 165 umidade elevada e a possibilidade de condensação, foi necessário cobrir o circuito com
 166 material isolante, de modo a impedir a condução de eletricidade.

167

168 **Unidade mestre (UM)**

169 A unidade mestre também conta com o microcontrolador e o transceptor utilizados
 170 na UE, porém, apresenta apenas um elemento sensor. O sensor resistivo LDR (*Light*
 171 *Dependent Resistor*) de 7 mm, é capaz de variar a sua resistência elétrica em função da
 172 luminosidade do ambiente. Na Figura 5 é apresentado um diagrama em blocos da unidade
 173 mestre.

174



175 FIGURA 5: Diagrama em blocos da unidade mestre (UM) e comunicação com a base
 176 central (BC).

177

178 Para a comunicação sem fio, tanto a UM, quanto as UEs foram configuradas com
 179 baixa velocidade de transmissão de dados (250 Kbps), visando melhorar a transmissão
 180 para as maiores distâncias. Também é estabelecida uma comunicação via porta serial entre

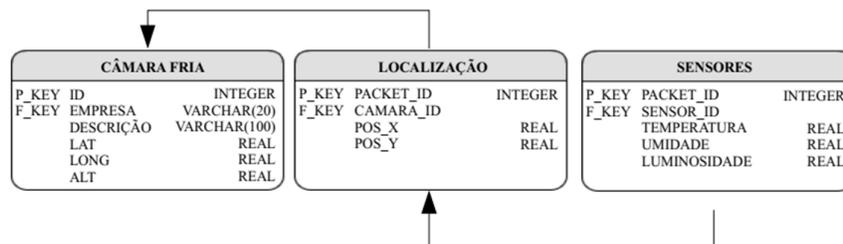
181 a unidade mestre e a base central, para o armazenamento das informações em banco de
 182 dados. Essa base central é constituída do microcomputador Raspberry PI 3 (Raspberry Pi
 183 Foundation, Cambridge, GB), onde é realizado o processamento dos dados, para
 184 apresentação dos mesmos na aplicação *web*.

185

186 **Aplicação web**

187 A aplicação *web* consiste na interface gráfica, onde são apresentados num *website*,
 188 os dados coletados pelas UEs. O registro dos dados é organizado como mostrado na
 189 Figura 6, com o auxílio de um banco de dados relacional através da linguagem SQL
 190 (*Structured Query Language*). Os dados dos sensores são escritos diretamente no banco
 191 de dados pela UM. E estes são processados pela base central para sua exibição no *website*.

192

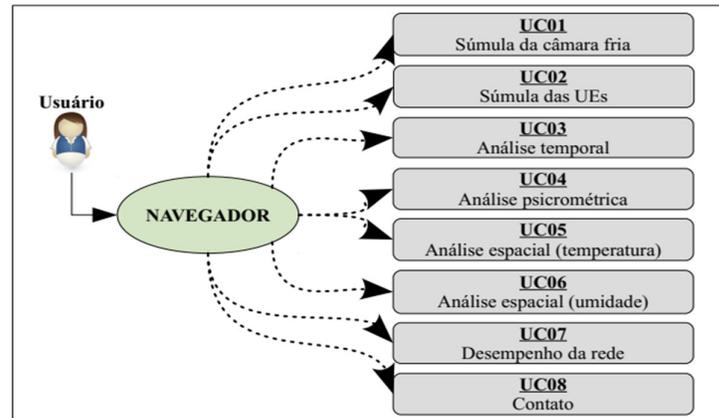


193 FIGURA 6: Modelo do banco de dados utilizado no sistema UmiTemp.

194

195 A Figura 7 apresenta o diagrama de uso de caso, utilizado para descrever as
 196 sequências de interações (UC) que o usuário pode ter com o sistema UmiTemp. Nesse
 197 sentido, o usuário através do navegador pode visualizar os dados registrados durante o
 198 monitoramento no intervalo de tempo que ele desejar, através da sequência a seguir:

199



200 FIGURA 7: Diagrama de uso de caso da aplicação *web* do sistema UmiTemp.

201

202 Súmula da câmara fria (UC01), o sistema apresenta uma tabela com o valor
 203 máximo, mínimo e médio das variáveis temperatura e umidade, que o sistema UmiTemp
 204 registrou no intervalo de tempo selecionado. Súmula das UEs (UC02), o sistema
 205 apresenta uma tabela com o valor máximo, mínimo e médio das variáveis temperatura e
 206 umidade, que a UE registrou no intervalo de tempo selecionado. Análise temporal
 207 (UC03), o sistema apresenta um gráfico dinâmico da temperatura versus a umidade ao
 208 longo do intervalo de tempo selecionado pelo usuário. Análise psicrométrica (UC04), o
 209 sistema apresenta o gráfico dinâmico da carta psicrométrica, a partir das leituras
 210 registradas no intervalo de tempo selecionado. Análise espacial da temperatura (UC05),
 211 o sistema apresenta uma imagem contendo um mapa da temperatura no interior da câmara
 212 para o intervalo de tempo selecionado pelo usuário. Análise espacial da umidade (UC06),
 213 o sistema apresenta uma imagem contendo um mapa da umidade relativa no interior da
 214 câmara para o intervalo de tempo selecionado pelo usuário. Desempenho da rede (UC07),
 215 o usuário seleciona os dados no menu do *website*, informando a data inicial e a data final,
 216 e o sistema apresenta os dados de qualidade do sinal de todas as UEs numa tabela.

217 Contatos (UC08), o sistema apresenta uma lista com informações das pessoas envolvidas
218 no desenvolvimento do projeto UmiTemp.

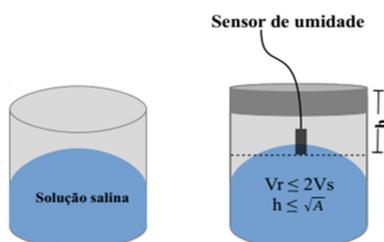
219

220 **Calibração dos sensores de umidade**

221 Para calibrar os sensores de umidade, foi escolhido o método de soluções saturadas
222 de sais. Essa metodologia consiste no equilíbrio entre a solução salina e o ar presente num
223 recipiente fechado. É considerado um padrão secundário de calibração, devendo ter a
224 temperatura mantida constante WMO (2008). A determinação da umidade relativa de
225 soluções salinas saturadas foi exaustivamente investigada, podendo ser sintetizada pelo
226 estudo de Greenspan (1977), com soluções que proporcionam umidades que variam de 3
227 a 98 UR%, sob temperaturas de 0 a 100 °C.

228 Além disso, é importante que a área da superfície da solução seja maior que o
229 elemento sensor e o volume de ar seja selado, permitindo o rápido equilíbrio, bem como
230 o acesso ao sensor testado. De acordo com Wernecke e Wernecke (2014), a escolha do
231 posicionamento do sensor acima da solução salina, bem como o volume da solução,
232 seguem os critérios apresentados na Figura 8.

233



234 FIGURA 8: Calibração dos sensores de umidade, de acordo com Wernecke e Wernecke
235 (2014). Determinação da altura do sensor (h), volume da solução (V_s), volume do
236 recipiente (V_r) e área da solução (A).

237

238 A calibração foi realizada utilizando recipientes hermeticamente fechados de 50 ml,
239 aguardando 1 hora para atingir o equilíbrio entre a solução e o ar. Em seguida foram
240 coletados dados durante 90 minutos, com registros a cada minuto. Foram utilizados os
241 seguintes sais para o preparo das soluções saturadas (30 mL cada), de acordo com
242 Greenspan (1977): hidróxido de potássio (7,38%), cloreto de magnésio (32,44%),
243 carbonato de potássio (43,17%), cloreto de sódio (75,09%), cloreto de potássio (83,62%)
244 e sulfato de potássio (97,00%).

245 Após a aquisição dos dados, esses foram tratados e comparados com essas
246 respectivas umidades de referência, gerando as curvas de calibração individual para os
247 sensores capacitivos de umidade. Para verificar o desempenho dos modelos obtidos com
248 a calibração, foram utilizados os parâmetros estatísticos de coeficiente de correlação (R)
249 e coeficiente de determinação (R^2).

250 Para comparar os modelos obtidos com as equações de calibração individual, com
251 os modelos obtidos a partir da equação presente na documentação do fabricante, foram
252 utilizados indicadores estatísticos. A partir da Equação 1, foi calculado o erro quadrático
253 médio (EQM) e a partir da Equação 2, foi calculado o erro médio absoluto (EMA).

254

$$255 \quad EQM = \sqrt{\frac{\sum(X_{EF} - X_{EC})^2}{N}} \quad (1)$$

256

257 em que,

258 EQM, erro quadrático médio, % UR;

259 X_{EF} , umidade da equação do fabricante, % UR;

260 X_{EC} , umidade da equação de calibração, % UR;

261 N, número de amostras.

262

$$263 \quad EMA = \frac{\sum |X_{EF} - X_{EC}|}{N} \quad (2)$$

264

265 em que,

266 EMA, erro médio absoluto, % UR;

267 X_{EF} , umidade da equação do fabricante, % UR;

268 X_{EC} , umidade da equação de calibração, % UR;

269 N, número de amostras.

270

271 Foi realizada também, a análise de variância, para verificar a significância das
272 equações de calibração. Essas análises foram realizadas com o auxílio dos *softwares*
273 estatísticos Pandas (versão 0.22.0) e Scipy (versão 1.13.0).

274

275 **Avaliação em câmara fria**

276 Para avaliar o sistema de monitoramento em condições reais, foi realizado um teste
277 prévio em câmara fria destinada ao armazenamento de frutas. Essa estrutura possui
278 dimensões de 2 m x 2 m x 2 m, com paredes constituídas a partir de isopor (10 cm) e
279 dupla camada de chapas de zinco (10 mm), bem como um sistema de refrigeração com
280 um condensador evaporativo.

281 Como as câmaras frias que armazenam uvas de mesa precisam de temperaturas
282 entre -1 e 0 °C e umidade relativa entre 90 e 95 %, buscou-se nesse experimento, simular
283 essas condições microclimáticas. Dessa forma, foram desligados os condensadores e
284 aberta a câmara fria durante 10 minutos, para equilibrar a temperatura da câmara com a

285 temperatura do ambiente externo. Em seguida, a porta foi fechada e a temperatura do
286 condensador foi configurada para -10 °C.

287 Após 1 hora de experimento, foi aberta a porta da câmara, permitindo o contato do
288 ar externo aquecido com as superfícies e o ar frio da câmara. Esse procedimento foi
289 repetido mais duas vezes, para que os sensores operassem em condições próximas as
290 encontradas em câmaras frias, simulando a abertura dessas instalações durante o
291 carregamento e descarregamento de frutas.

292

293 **Implementação do sistema UmiTemp**

294 Após a calibração dos sensores de umidade e a avaliação do sistema de
295 monitoramento, o sistema UmiTemp foi instalado numa câmara fria comercial. A
296 instalação tem um sistema de refrigeração que utiliza três condensadores evaporativos. A
297 estrutura possui dimensões de 12 m x 18 m x 4 m, porta de entrada de 2 m x 3 m, paredes
298 constituídas a partir de isopor (10 cm) e revestidas com chapas de zinco (10 mm).

299 Foram alocadas 12 unidades escravas dentro da câmara, seguindo uma malha de 4,0
300 m de largura por 4,5 m de comprimento. A unidade mestre foi alocada próxima a porta de
301 entrada e no corredor de acesso à câmara, foi alocado uma unidade escrava acima da
302 porta. A base central foi colocada acima da câmara fria, bem como uma fonte ATX, com
303 capacidade para fornecer tensão de 5 a 12 V, responsável por alimentar todo o sistema.

304 O microcomputador foi utilizado para hospedar a aplicação *web* e servir como
305 interface gráfica, para a visualização dos gráficos de temperatura e umidade em tempo
306 real, do gráfico psicrométrico e da interpolação espacial gerada a partir desses dados.

307 Para analisar a rede, foram utilizados dois indicadores de tráfego de dados. Essa
308 métrica avalia a qualidade do sinal, medindo tanto o desempenho da rede, como o estado

309 individual das unidades escravas. Para isso, foram quantificadas durante 24 horas a
310 quantidade de dados enviados e recebidos na rede de sensores sem fio.

311 A confiabilidade do roteamento foi medida através do percentual de entrega de
312 pacotes (EP), uma vez que indica o sucesso da operação. É definida como a taxa de
313 pacotes em função do número de pacotes enviados, como apresentados na Equação 3.

314

$$315 \quad EP = (PT/PE) \times 100\% \quad (3)$$

316

317 em que,

318 EP – percentual de entrega de pacotes;

319 PT – total de pacotes enviados;

320 PE – total de pacotes entregues.

321

322 Para avaliar a segurança da conexão, foi utilizado o percentual de perda de pacotes
323 (PP). Trata-se da diferença entre o sucesso dos pacotes de dados enviados e o total de
324 pacotes recebidos, correspondendo ao percentual de dados perdidos durante a transmissão
325 (Equação 4).

326

$$327 \quad PP = (PT - PE) / PT \times 100\% \quad (4)$$

328

329 em que,

330 PP – percentual de perda de pacotes;

331 PT – total de pacotes enviados;

332 PE – total de pacotes entregues.

333 RESULTADOS E DISCUSSÃO

334 Na Tabela 1, encontram-se os parâmetros estatísticos de coeficiente de correlação e
 335 coeficiente de determinação, bem como, os indicadores estatísticos erro quadrático médio
 336 (EQM) e erro médio absoluto (EMA), referentes aos dados obtidos durante a calibração
 337 dos sensores capacitivos.

338

339 TABELA 1. Resultado da calibração individual dos sensores de umidade relativa, com as
 340 respectivas curvas de calibração, coeficiente de correlação, coeficiente de determinação
 341 (R^2), raiz quadrada do erro médio e erro absoluto médio.

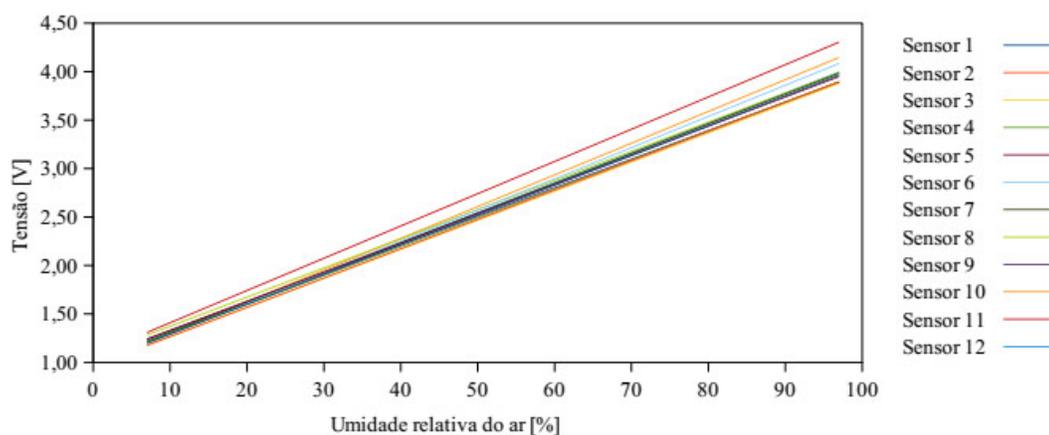
Sensores de umidade	Curva de calibração	R	R^2	EQM (%UR)	MAE (%UR)
sensor 1	$0,031x + 0,970$	1,000	1,000	3,64	3,53
sensor 2	$0,030x + 0,949$	1,000	0,999	2,38	1,98
sensor 3	$0,030x + 0,951$	1,000	0,999	2,26	1,74
sensor 4	$0,030x + 0,987$	1,000	1,000	2,93	2,45
sensor 5	$0,030x + 1,014$	1,000	1,000	4,03	3,83
sensor 6	$0,032x + 0,950$	0,998	0,995	5,96	5,46
sensor 7	$0,031x + 0,989$	1,000	1,000	4,20	4,10
sensor 8	$0,030x + 1,021$	0,999	0,998	3,62	3,13
sensor 9	$0,033x + 0,954$	0,998	0,996	7,10	6,67
sensor 10	$0,033x + 1,060$	0,999	0,998	11,29	11,00
sensor 11	$0,031x + 0,987$	1,000	1,000	4,37	4,31
sensor 12	$0,030x + 1,057$	1,000	0,999	5,36	5,15

342 As respostas analógicas dos sensores capacitivos às umidades de referência das
 343 soluções salinas, apresentaram uma correlação forte. Verifica-se também que os modelos
 344 lineares das curvas de calibração, apresentaram coeficientes de determinação acima de
 345 0,99, para todos os sensores analisados. Esses parâmetros indicam um bom desempenho
 346 do método de calibração utilizado.

347 Através dos indicadores estatísticos EQM e EMA, verifica-se que há diferença entre
348 os valores obtidos com a equação fornecida pelo fabricante e os valores obtidos com os
349 modelos de calibração. Com destaque para os sensores 10 e 9, que diferiram,
350 respectivamente, 7,10 % e 11,29 % de umidade relativa. Esse é um forte indicativo da
351 necessidade de realizar a calibração de sensores capacitivos de umidade. Avaliando esse
352 tipo de sensores, Mayer et al. (2005) encontraram desvios de 1,2 a 12 % para as umidades
353 de referência, concluindo que os sensores precisam de calibração antes de serem
354 utilizados. Além disso, Nair et al. (2015) testando sensores de umidade, concluíram que
355 há necessidade de calibração preventiva, visto que a exatidão pode ser comprometida com
356 o passar do tempo.

357 Na Figura 9 são apresentados os modelos lineares da calibração dos sensores de
358 umidade. Observa-se uma resposta linear de tensão elétrica, em função das umidades
359 relativas utilizadas como referência. Todavia, é possível visualizar uma pequena variação
360 das respostas entre os sensores.

361



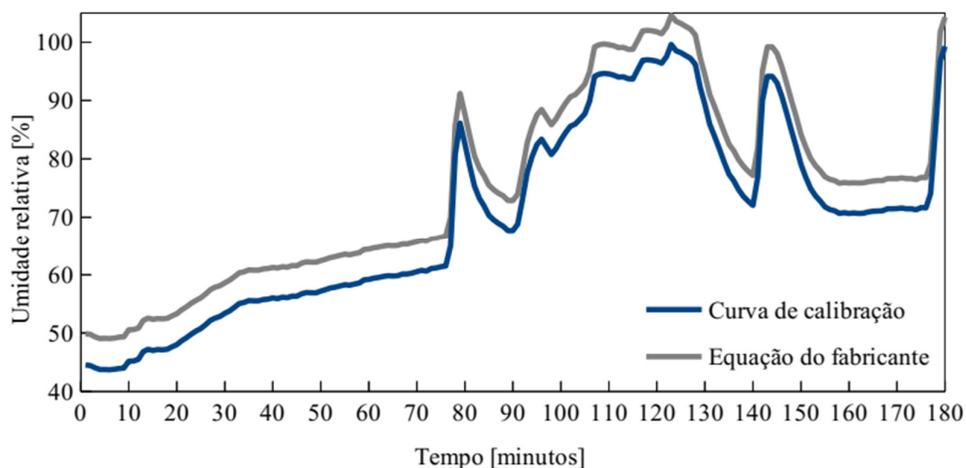
362 FIGURA 9. Respostas dos sensores de umidades em tensão elétrica para a calibração com
363 soluções salinas saturadas.

364

365 A partir do teste F na análise de variância, a hipótese nula foi rejeitada, concluindo
366 que as equações são significativas ao nível de significância de 1%. A partir da análise de
367 variância para os resultados obtidos com os sensores durante a calibração, obteve-se o F
368 calculado (0,034) menor que o F tabelado (2,559), portanto, não há diferenças
369 significativas entre os sensores ao nível de 1% de probabilidade.

370 Na Figura 10 são apresentadas as curvas da umidade relativa média da câmara fria,
371 obtidas durante a avaliação do sistema de monitoramento, a partir das equações
372 individuais de calibração e da equação do fabricante.

373

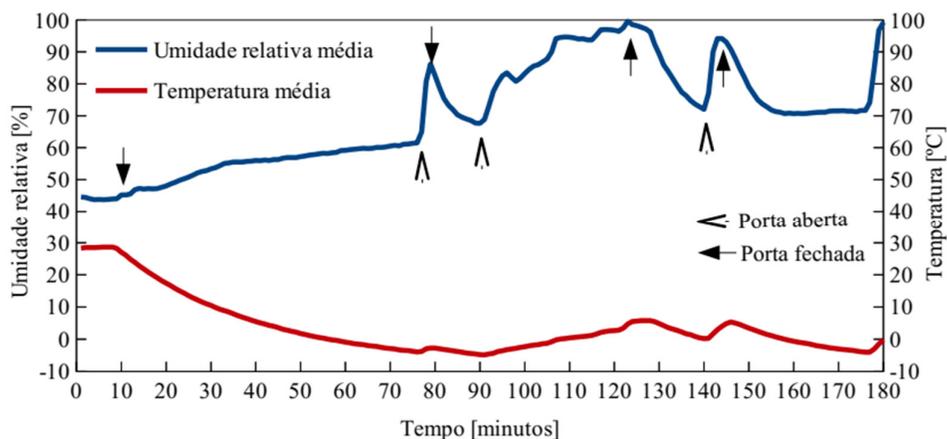


374 FIGURA 10. Comparação entre a umidade relativa média do ar, obtida a partir das curvas
375 de calibração e da equação do fabricante.

376

377 É possível visualizar a diferença entre os dois modelos, o que permite inferir que os
378 dados obtidos com a equação do fabricante estão superdimensionados, chegando a
379 ultrapassar 100% de umidade relativa. O que evidencia a necessidade de realizar a
380 calibração desses sensores de umidade.

381 Na Figura 11 são apresentados a temperatura média e a umidade relativa média,
 382 obtidas dos sensores utilizados nas unidades escravas do sistema UmiTemp. Além disso,
 383 são apresentados os momentos de abertura e fechamento da porta da câmara fria, visando
 384 simular as condições microclimáticas encontradas durante o carregamento e
 385 descarregamento de *pallets* de uva.



386 FIGURA 11. Temperatura média e umidade relativa média da câmara fria durante a
 387 avaliação do sistema de monitoramento UmiTemp. Comparação entre a umidade relativa
 388 do ar obtida a partir das curvas de calibração e do fabricante.

389

390 De acordo com os resultados da Figura 11, com a redução da temperatura do ar,
 391 houve a elevação da umidade relativa, como esperado. Além disso, o experimento
 392 submeteu os sensores às condições análogas ao armazenamento de uvas de mesa, com
 393 temperaturas entre -4,85 °C e 28,64 °C, e umidade relativa entre 43,72 % e 99,60 %.
 394 Verificando, portanto, que os mesmos estão aptos para serem utilizados no sistema
 395 UmiTemp.

396 Foi possível também simular as condições de carregamento e descarregamento,
 397 com a abertura e fechamento da porta. Essa simulação permitiu identificar picos da
 398 umidade relativa do ar, ao misturar o ar resfriado com o ar sob temperatura ambiente.

399 O pacote de dados enviado das unidades escravas para a unidade mestre, apresentou
 400 um tamanho de 10 bytes. Para isso, foram utilizadas apenas variáveis do tipo inteiro, de
 401 maneira a otimizar a transmissão dos dados, bem como o processamento no
 402 microcontrolador. Dessa forma, os modelos da calibração foram inseridos via banco de
 403 dados.

404 A Tabela 2 apresenta os dados da avaliação da qualidade do sinal da rede do sistema
 405 UmiTemp, após um dia de coleta de dados. São apresentados os números de pacotes
 406 entregues, o número de pacotes enviados, percentual de entrega de pacotes e percentual
 407 de perda de pacotes.

408

409 TABELA 2: Resultado dos cálculos da qualidade de sinal das unidades escravas (UE).
 410 Pacotes enviados (PT), pacotes entregues (PE), percentual de perdas de pacotes (PP) e
 411 percentual de entrega de pacotes (EP).

UE	01	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43
PT	1422	1365	-	901	1433	1412	906	1322	1426	1418	1336	1422	1408
PE	1417	1307	-	783	1420	1371	789	1287	1398	1396	1327	1397	1368
PP (%)	0,35	4,25	-	13,10	0,91	2,90	12,91	2,65	1,96	1,55	0,67	1,76	2,84
EP (%)	99,65	95,75	-	86,90	99,0	97,10	87,09	97,35	98,04	98,45	99,33	98,24	97,16

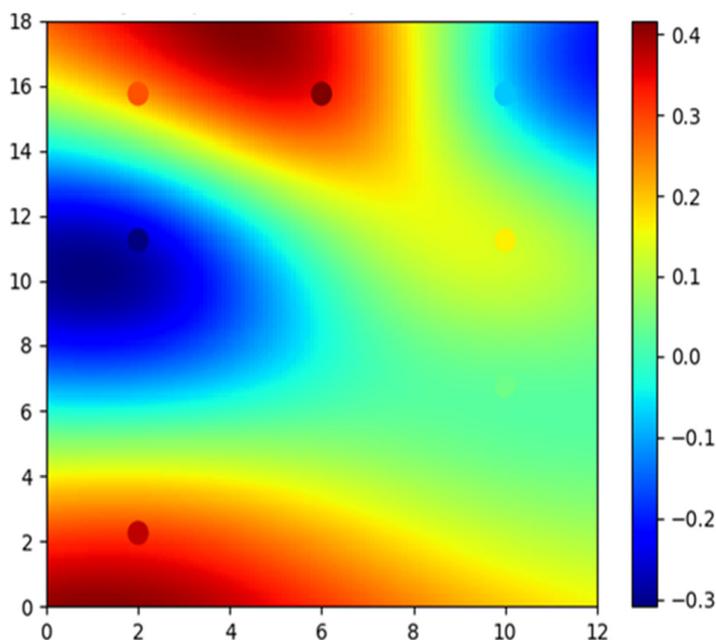
412 De acordo com os resultados da Tabela 2, nove unidades escravas conseguiram
 413 transmitir com sucesso mais de 97% dos dados. Enquanto três nós sensores tiveram perda
 414 de dados da ordem de 4,25 a 13,10%. Esses valores são aceitáveis para esse sistema de
 415 monitoramento em tempo real, visto que não conta com atuadores. Porém, não são
 416 aceitáveis em sistemas críticos, onde falhas podem acarretar em riscos humanos e
 417 econômicos.

418 A configuração da rede na topologia *mesh* mostrou-se eficiente, visto que mesmo a
419 perda de uma unidade escrava, não prejudicou o funcionamento dos outros nós sensores,
420 além de facilitar a identificação do equipamento defeituoso. Como ocorreu com a UE 12,
421 que apresentou defeito e não transmitiu seus dados para a unidade mestre.

422 Além disso, a UE 01 conseguiu transmitir os dados através das camadas de isopor
423 e zinco da câmara fria, com 99,65% de sucesso. A UE 43 apresenta a maior distância até
424 a unidade mestre, no entanto, conseguiu transmitir os dados com 97,16% de sucesso.

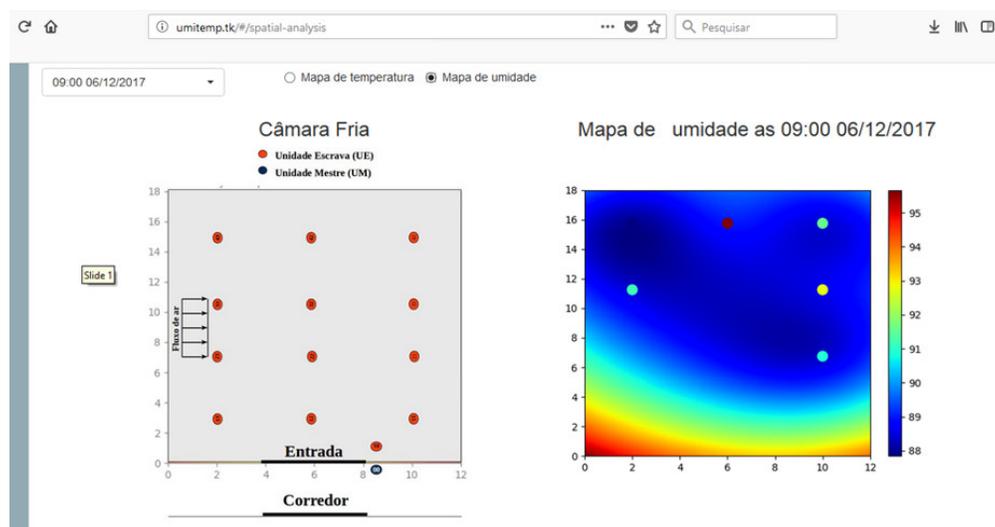
425 A Figura 12 apresenta o resultado de uma consulta realizada ao sistema UmiTemp,
426 com o objetivo de visualizar a análise espacial da temperatura dentro da câmara fria.

427



428 FIGURA 12. Análise espacial da temperatura apresentada no *website* do sistema
429 UmiTemp.

430



431 FIGURA 13. Aplicação web do sistema UmiTemp.

432

433 O custo unitário do *hardware* foi de R\$ 137,60, incluindo todos os componentes e
 434 o material utilizado para impermeabilizá-lo. Os sensores tiveram um custo de R\$ 87,24
 435 por nó. O custo total para implementar o projeto, incluindo o microcomputador e a
 436 instalação elétrica, foi de R\$ 2561,03. Um custo baixo para a proposta do equipamento,
 437 visto que não há no mercado um produto desenvolvido com essas finalidades.

438

439 CONCLUSÕES

440 O sistema de monitoramento UmiTemp mostrou-se viável para monitorar câmaras
 441 frias com grandes variações de umidade relativa e temperatura. A qualidade do sinal na
 442 câmara fria não foi influenciada pela distância ou pelo revestimento da parede. O *website*
 443 apresenta uma interface agradável e simples de ser utilizada por gestores de câmaras frias,
 444 com representações gráficas do microclima. O projeto apresentou um custo total de

445 R\$ 2561,03, e custo de R\$ 137,60 por nó sensor. Valor acessível para produtores de uva
446 de mesa, que buscam monitorar o armazenamento da produção.

447

448 **AGRADECIMENTOS**

449 Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado da
450 Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

451

452 **REFERÊNCIAS**

453 BADIA-MELIS, R.; MC CARTHY, U.; RUIZ-GARCIA, L.; GARCIA-HIERRO, J.;

454 ROBLA VILLALBA, J. I. New trends in cold chain monitoring applications - A review.

455 **Food Control**, 2017. Disponível em:

456 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713517305558>>.

457 GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal**

458 **of Research of the National Bureau of Standards Section A: Physics and**

459 **Chemistry**, v. 81A, n. 1, p. 89, 1977. Disponível em:

460 <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/81A/jresv81An1p89_A1b.pdf>.

461 KAMILARIS, A.; KARTAKOULLIS, A.; PRENAFETA-BOLDÚ, F. X. A review on

462 the practice of big data analysis in agriculture. **Computers and Electronics in**

463 **Agriculture**, v. 143, n. September, p. 23–37, 2017. Disponível em:

464 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>>.

465 KARIMI, N.; ARABHOSSEINI, A.; KARIMI, M.; KIANMEHR, M. H. Web-based

466 monitoring system using Wireless Sensor Networks for traditional vineyards and grape

467 drying buildings. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 144, p. 269–283, jan.

468 2018. Disponível em:

469 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169916312558>>. Acesso em: 18 jan.
470 2018.

471 KUMARI, L.; NARSAIAH, K.; GREWAL, M. K.; ANURAG, R. K. Application of
472 RFID in agri-food sector. **Trends in Food Science and Technology**, v. 43, n. 2, p.
473 144–161, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.005>>.

474 MARCO FOSSA; PAOLO PETAGNA. **USE AND CALIBRATION OF**
475 **CAPACITIVE RH SENSORS FOR THE HYGROMETRIC CONTROL OF THE**
476 **CMS TRACKER** CMS Note 2003/024 Geneva, Switzerland CMS CERN, , 2003. .

477 MAYER, S.; REUDER, J.; SCHWEEN, J. Calibration of capacitive humidity sensors
478 for atmospheric sounding by remotely piloted vehicles. p. 1–5, 2005.

479 NAIR, N. R.; MCCARTHY, P. W.; HEUSCH, A. I.; PATZ, R. Testing the reliability of
480 humidity sensors through prolonged measurements traceable to calibration standards . v.
481 2, p. 1–6, 2015.

482 WACHOWIAK, M. P.; WALTERS, D. F.; KOVACS, J. M.; WACHOWIAK-
483 SMOLÍKOVÁ, R.; JAMES, A. L. Visual analytics and remote sensing imagery to
484 support community-based research for precision agriculture in emerging areas.
485 **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 143, n. July, p. 149–164, 2017.
486 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.035>>.

487 WERNECKE, R.; WERNECKE, J. **Industrial Moisture and Humidity**
488 **Measurement: A Practical Guide**. 1. ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag
489 GmbH & Co. KGaA, 2014.

490 WMO. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of observation**. 7. ed.
491 Geneva, Switzerland: Chairperson, Publications Board, 2008. v. I & II
492

23 web. This system consisted of a sensors network, spatially distributed in a cold chamber,
24 collecting data every one minute. According to the results, it was found that the mean air
25 temperature inside the cold chamber ranged from 0.2 and 0.9°C. The outside average air
26 temperature ranged from 10.8 to 13.8°C. The cold chamber remained above to the ideal
27 storage air temperature for table grapes (0°C), but had different air relative humidity to
28 what is the minimal recommended (90%). The air relative humidity in the cold chamber
29 was greater than the outer corridor, ranging between 27.2 and 34.4%. The environmental
30 conditions were consistently different between the environments throughout the study.

31

32 **KEYWORDS:** Cold chain. Embedded electronics. Precision agriculture.

33

34 **INTRODUÇÃO**

35 A vitivinicultura é um mercado agrícola competitivo, marcado nos últimos anos
36 pelas mudanças nos padrões de consumo, aumentando a demanda por alimentos frescos,
37 com maiores garantias de qualidades nutricional, sanitária e organoléptica
38 (LAZZAROTTO; FIORAVANÇO, 2013).

39 Nesse cenário, o Submédio do Vale do São Francisco tem uma destacada
40 participação, com produção de 306.700 toneladas, avaliada em R\$ 652 milhões (IBGE,
41 2016). Além disso, as cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA correspondem a 70,8 e
42 28,3 % das exportações brasileiras de uvas finas de mesa (MDIC, 2017).

43 Para o consumo *in natura*, as principais cultivares são Itália, Benitaka, Red Globe,
44 Sugaone, Thompson Seedless e Crimson Seedless (LEÃO; LIMA, 2017). Uvas de mesa
45 são frutos não climatéricos, sensíveis à temperatura do ar e umidade do ar. Sendo os
46 principais problemas da qualidade pós-colheita, o apodrecimento causado pelo fungo

47 *Botrytis cinerea*, o ressecamento e o escurecimento das bagas devido à perda de água. A
48 transpiração das plantas é afetada tanto pelas características da fruta, quanto pelas
49 condições climáticas (PEREIRA et al., 2017).

50 Produtos *in natura* são comprados, armazenados e transportados globalmente,
51 devendo o tempo entre a colheita e o consumo, ser eficiente. No caso das frutas, o mais
52 importante do armazenamento é preservar a qualidade, o conteúdo nutricional e o aspecto
53 do produto durante esse período (WERNECKE; WERNECKE, 2014).

54 A refrigeração, a segurança alimentar e as perdas estão diretamente relacionadas,
55 uma vez que, o tempo total na cadeia de frios pode ser de horas, meses ou anos a depender
56 do produto. Portanto, cada ponto dessa cadeia é fundamental para a qualidade final do
57 produto, e falhas na temperatura do ar podem levar a perdas ou preocupações quanto a
58 segurança dos alimentos (MERCIER et al., 2017).

59 As condições consideradas ideais para o armazenamento em câmaras frias são
60 temperatura do ar (Tar) entre -1 e 0 °C e umidade relativa do ar (UR) entre 90 e 95%,
61 visto que a baixa Tar e a alta UR limitam a perda de água das bagas. Entretanto, UR
62 excessiva pode estimular o desenvolvimento de podridões pós-colheita nos frutos. Danos
63 por congelamento podem ocorrer em uvas em estágios menores de maturação, sendo que
64 o maior ponto de congelamento para as bagas ocorre em -3 °C, porém varia
65 principalmente em função dos teores de sólidos solúveis (GROSS; WANG; SALTVEIT,
66 2016).

67 A condensação, também é um problema que propicia o crescimento de
68 microrganismos, além de reduzir a resistência dos materiais da embalagem. Essas
69 condições reduzem o tempo de prateleira, que pode ser identificado somente em estágios
70 avançados da cadeia de produção, daí a necessidade por um monitoramento remoto

71 (BADIA-MELIS et al., 2015). Portanto, o gerenciamento e monitoramento preciso da
72 cadeia de frios depende de sistemas de coleta de dados em tempo real para evitar falhas
73 durante o armazenamento, transporte e comercialização, de forma a atender as exigências
74 do mercado quanto ao controle de qualidade do produto.

75 Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi monitorar em tempo real as variáveis
76 Tar e UR numa câmara fria, durante o armazenamento a frio de uvas de mesa, com o
77 auxílio do sistema UmiTemp.

78

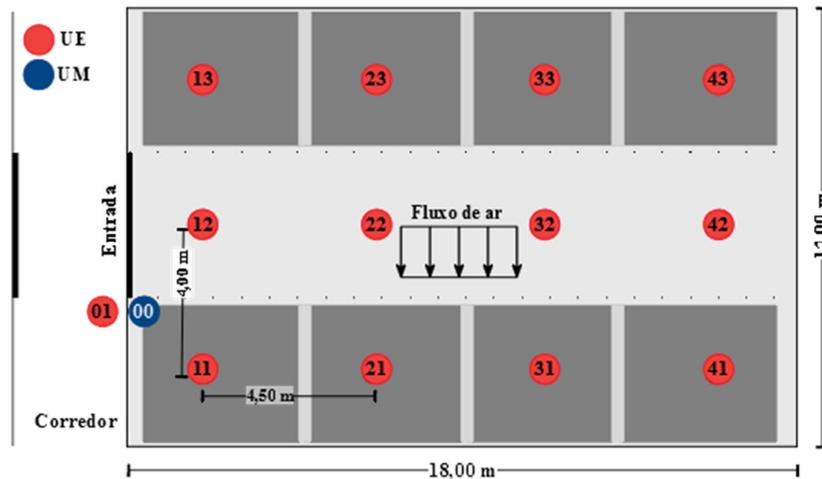
79 **MATERIAL E MÉTODOS**

80 Neste trabalho, foi realizado o monitoramento da Tar e UR em tempo real em uma
81 câmara fria comercial utilizada para o armazenamento de uvas de mesa destinadas a
82 exportação, na cidade de Petrolina-PE. O período do experimento ocorreu entre os dias 6
83 e 11 de dezembro de 2017.

84 A câmara fria utilizada possui dimensões de 12 m x 18 m x 4 m, porta de entrada
85 de 2 m x 3 m, paredes constituídas a partir de isopor (10 cm) e revestidas com chapas de
86 zinco (10 mm). O sistema de refrigeração utiliza três condensadores evaporativos, do tipo
87 (*on/off*), configurados para ligar quando atingir 1 °C e desligar quando atingir - 1 °C.

88 Foram distribuídos espacialmente 12 nós sensores dentro da câmara fria, seguindo
89 uma malha de 4,0 m de largura por 4,5 m de comprimento, como apresentado na Figura
90 1. A unidade responsável por receber toda a informação, foi alocada próxima a porta de
91 entrada, enquanto, no corredor de acesso à câmara fria, foi alocado um nó sensor acima
92 da porta.

93



94 FIGURA 1: Distribuição espacial dos sensores do sistema UmiTemp na câmara
 95 refrigerada e no corredor de acesso à câmara fria.

96

97 A câmara fria foi monitorada com o auxílio do sistema *online*, UmiTemp,
 98 desenvolvido no laboratório de Energia na Agricultura da UNIVASF/Campus Juazeiro-
 99 BA. Esse sistema é integrado pelo conjunto de *hardware* e *software*, responsáveis desde
 100 a aquisição das variáveis físicas Tar e UR, até sua apresentação em interface *web*.

101 A aquisição das variáveis físicas foi realizada com frequência de um minuto, através
 102 de uma rede de sensores sem fio. Essa rede consiste de: um conjunto de unidades escravas
 103 (UE), responsáveis pela aquisição das variáveis físicas; uma unidade mestre (UM),
 104 responsável por coletar as informações das UE. Essas informações foram armazenadas
 105 em banco de dados, processadas e enviadas através de uma conexão externa com a
 106 *Internet*.

107 A UR foi monitorada com o auxílio do sensor capacitivo HIH 4000-001 (*Honeywell*
 108 *International Inc.*, Minnesota, EUA). Enquanto que a Tar foi monitorada com o sensor
 109 LM35Dz (*Texas Instruments Inc.*, Texas, EUA). As características dos sensores
 110 encontram-se na Tabela 1.

111 TABELA 1: Características dos sensores utilizados nas unidades escravas.

Características do sensor	HIH-4000-001	LM35Dz
Mensurando	Umidade relativa do ar	Temperatura do ar
Tipo de sensor	Capacitivo	Circuito integrado
Faixa de medição	0 a 100 %UR	-55 a 150 °C
Exatidão	±3,5 %UR	±0,5 °C
Tempo de resposta	5 s	60 s (ar no regime estacionário)
Alimentação	4 a 5,8 V	4 a 30 V
Sinal de medição	Tensão	Tensão

112

113 Em função da grande quantidade de dados, os mesmos foram tratados e analisados
 114 com o auxílio dos *softwares* estatísticos Pandas (versão 0.22.0) e Scipy (versão 1.13.0),
 115 ambos baseados na linguagem de programação Python. Os dados obtidos foram filtrados,
 116 de maneira a eliminar as informações inconsistentes. Foram realizadas ainda a análise de
 117 estatística descritiva, de maneira a verificar a distribuição dos dados dentro da câmara fria
 118 e no corredor de acesso.

119

120 **Análise psicrométrica**

121 Para avaliar as propriedades psicrométricas do ar, dentro e fora da estrutura
 122 monitorada, foram utilizados os parâmetros estabelecidos pela ASAE (1998). A umidade
 123 absoluta do ar foi calculada a partir das equações a seguir, de maneira a gerar as curvas
 124 psicrométricas, e computar os dados obtidos durante o experimento.

125

$$126 \quad \ln Ps = -31,9602 - \frac{6270,3605}{T} - 0,46057 \ln T \quad (1)$$

$$127 \quad 255,38 \leq T \leq 273,16$$

128

129 em que,

130 T, temperatura do ar, K

131

$$132 \quad \ln(P_s/R) = \frac{A+BT+CT^2+DT^3+ET^4}{FG-GT^2} \quad (2)$$

$$133 \quad 273,16 \leq T \leq 533,16$$

134

135 em que,

136 T, temperatura do ar, K

$$137 \quad R = 22105649,25$$

$$138 \quad A = -27405,526$$

$$139 \quad B = 97,5413$$

$$140 \quad C = -0,146244$$

$$141 \quad D = 0,12558 \times 10^{-3}$$

$$142 \quad E = -0,48502 \times 10^{-7}$$

$$143 \quad F = 4,34903$$

$$144 \quad G = 0,39381 \times 10^{-2}$$

145

$$146 \quad P_v = P_s \frac{UR}{100} \quad (3)$$

147

148 em que,

149 UR, umidade relativa, %

150 P_v, pressão de vapor, Pa

151 P_v, pressão de saturação, Pa

152

$$UR = \frac{0,6219 \times Pv}{P_{atm} - Pv} \quad (4)$$

154

155 em que,

156 UR, umidade relativa do ar, %

157 Pv, pressão de vapor de água, Pa

158 Patm, pressão atmosférica, Pa

159

160 **Análise espacial**

161 Devido ao número pequeno de sensores, foi utilizado um método determinístico de
162 interpolação espacial, IDW (*Inverse Distance Weighted*). Embora não seja um método
163 geostatístico, o IDW é vastamente empregado em estudos de análises espaço-temporal.
164 Além disso, para a visualização de dados, é importante uma metodologia que destaque as
165 variações dos parâmetros estudados. Portanto, com o auxílio do *software* SAGA (versão
166 2.3.2), foi realizado a análise espacial da Tar e da UR, no interior da câmara fria.

167 Para verificar a diferença das condições microclimáticas entre o corredor e a câmara
168 fria, foi calculada a diferença normalizada, adaptada de Badia-Melis et al. (2015). A
169 Equação 5 relaciona os parâmetros da câmara fria, o valor de referência do sistema de
170 refrigeração e os parâmetros obtidos no corredor.

171

$$Diferen\c{c}a\ normalizada = \frac{P_{c\grave{a}mara} - P_{refer\^e}ncia}{P_{corredor} - P_{refer\^e}ncia} \quad (5)$$

173

174 em que,

175 P, parâmetros analisados:

176 Tar, °C

177 UR, %

178

179 Através da Equação 6, foram analisadas a relação entre a variância dos parâmetros
180 no corredor e no interior da câmara fria. Dessa forma, é possível analisar a variação das
181 propriedades do ar, dentro dessa câmara fria.

182

$$183 \quad \text{Variância} = \frac{P_{câmara}}{P_{corredor}} \quad (6)$$

184 P, parâmetros analisados:

185 Tar, °C

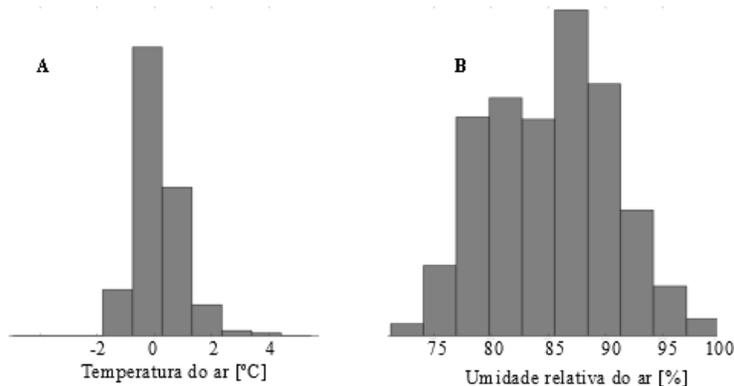
186 UR, %

187

188 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

189 De acordo com os resultados apresentados na Figura 2, é possível verificar uma
190 maior frequência da Tar entre -1 e 1 °C, o que demonstra a característica do sistema de
191 refrigeração, que foi configurado para manter a câmara fria, numa Tar de 0 °C, sendo
192 acionado quando o sensor de Tar da câmara fria mede 1 °C e desligado em -1 °C. Com
193 relação a UR, foi observado uma grande variação na distribuição dos dados, com maior
194 frequência entre 80 e 90% de UR.

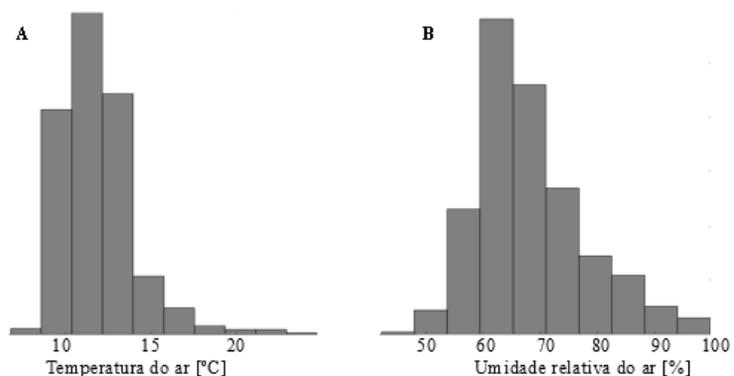
195



196 FIGURA 2: Histogramas de frequência da temperatura do ar (A) e da umidade relativa
 197 do ar (B) dentro da câmara fria.

198

199 De acordo com os resultados apresentados na Figura 3, é possível verificar que a
 200 Tar no corredor teve maior frequência entre 10 e 15 °C, enquanto que a UR apresentou
 201 maior amplitude de variação, com maiores frequências entre 60% e 80%. O que era
 202 esperado, visto que além da câmara fria, o corredor é conectado ao ambiente externo
 203 através de um portão, para o carregamento e descarregamento de uvas, possibilitando o
 204 contato com o ar aquecido, cuja Tar média horária variou entre 24,85 e 31,22 °C, nesse
 205 período.

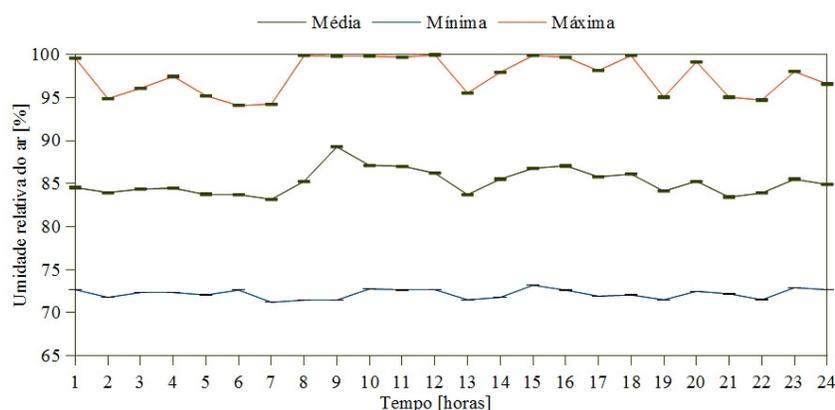


206 FIGURA 3: Histogramas de frequência da temperatura do ar (A) e da umidade relativa
 207 do ar (B) no corredor de acesso à câmara fria.

208

209 De acordo com os dados apresentados na Figura 4, pode ser verificado que há uma
 210 grande amplitude de variação da UR durante o armazenamento de uvas. Com UR
 211 mínimas abaixo de 70% e UR máximas de 100% em alguns horários, o que demonstra o
 212 funcionamento do sistema de refrigeração (*on/off*), bem como o acionamento de
 213 aspersores durante o armazenamento. Todavia, a média horária dessa variável ficou entre
 214 83,2 e 89,3%. Abaixo da faixa entre 90 e 95%, valor considerado ideal para o
 215 armazenamento de uvas de mesa (CENCI; SOARES; FREIRE JR, 1997;
 216 BRACKMANN; MAZARO; WACLAWOVSKY, 2000; PINTO et al., 2015; GROSS;
 217 WANG; SALTVEIT, 2016).

218

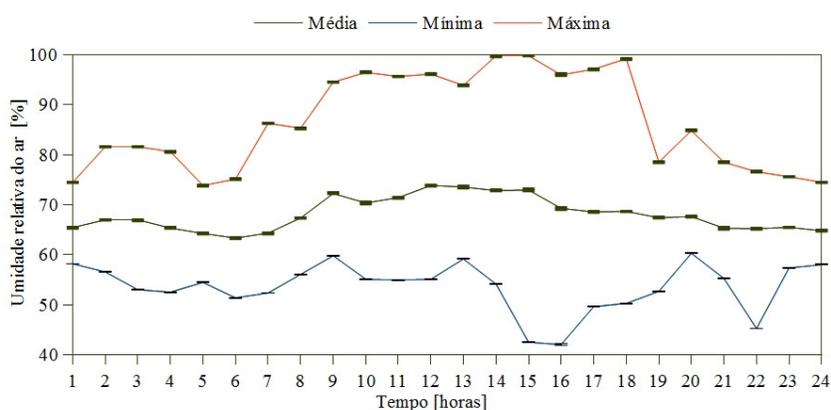


219 FIGURA 4. Valores médios horários da UR média, mínima e máxima no interior da
 220 câmara fria.

221

222 De acordo com os dados apresentados na Figura 5, observa-se uma grande
 223 amplitude de variação dos valores médios horários da UR no corredor, apresentando UR
 224 máxima de 99,9%, UR mínima de 42,1% e UR média de 68,1%. O que era esperado, visto
 225 que existe trocas de ar tanto com o ambiente externo à instalação, quanto com a câmara
 226 fria. Além disso, percebe-se a ocorrência de UR mínimas às 15, 16 e 22 horas. O que pode

227 ser explicado, pelo maior fluxo de saída de uvas nesses horários, bem como o período
 228 intenso da safra e comércio de uvas, com atividades à noite na instalação.
 229

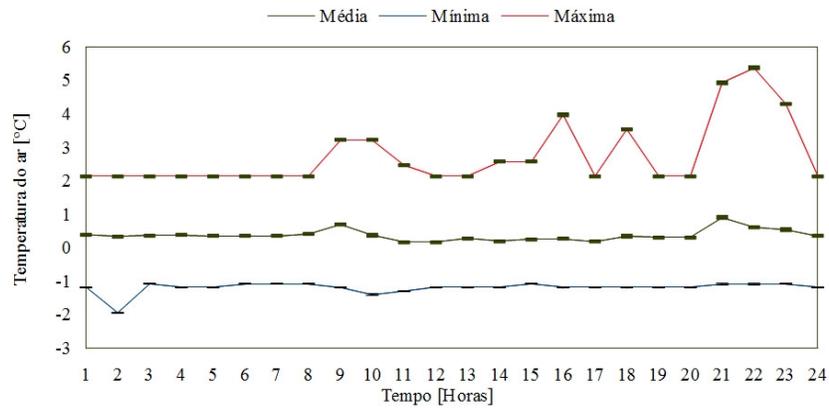


230 FIGURA 5. Valores médios (média, mínima e máxima) horários da UR no corredor de
 231 acesso à câmara fria.

232

233 Com base nos dados apresentados na Figura 6, a Tar média no interior da câmara
 234 fria foi de 0,4 °C, variando entre 0,2 °C e 0,9 °C. Os valores recomendados para o
 235 armazenamento de uvas de mesa ocorre entre -1 e 0 °C (CRISOSTO; SMILANICK;
 236 DOKOOZLIAN, 2001; GROSS; WANG; SALTVEIT, 2016). Todavia, foi notado picos
 237 das médias máximas em alguns horários, o que pode ser explicado pelas atividades na
 238 unidade de armazenamento de uvas, além da mudança na temperatura da câmara fria para
 239 o armazenamento de variedades de uvas nacionais.

240

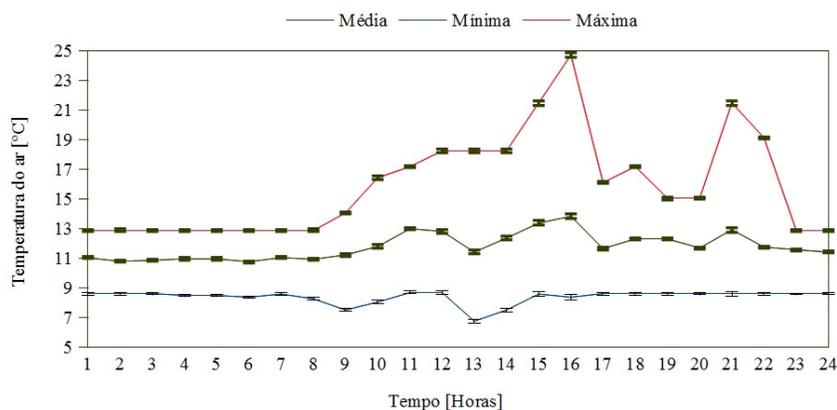


241 FIGURA 6. Valores médios (média, mínima e máxima) horários da Tar na câmara fria.

242

243 Os dados apresentados na Figura 7 mostram que a Tar média no corredor apresentou
 244 valores entre 11,8 e 13,8 °C, devido à refrigeração desse setor. Além de minimizar a perda
 245 de água nos processos de carregamento e descarregamento de uvas, o corredor também é
 246 utilizado para armazenar outras frutas. Observa-se também médias máximas às 16 horas
 247 e às 21 horas, podendo ser explicado pelo fluxo de entrada e saída de uvas na instalação.

248

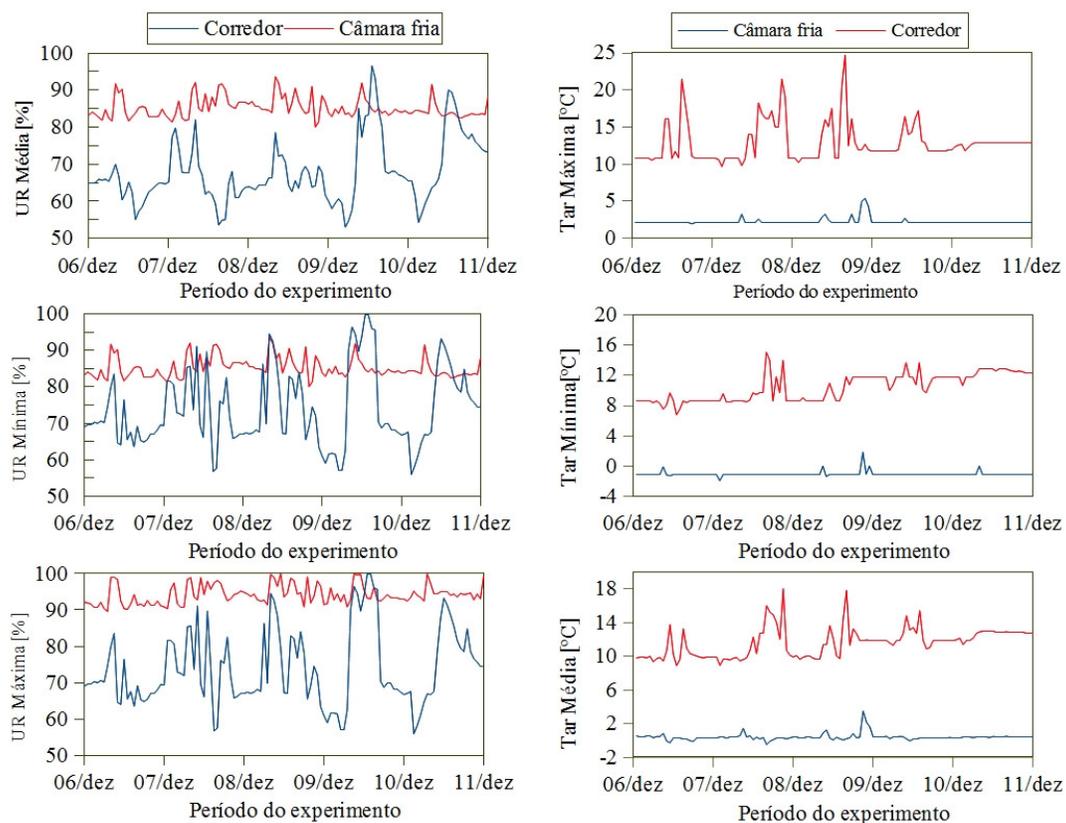


249 FIGURA 7. Valores médios (média, mínima e máxima) horários da Tar no corredor.

250

251 Através dos resultados apresentados na Figura 8 é possível verificar uma grande

252 variação entre os dados, o que pode explicar por que houve baixa correlação entre as
 253 variáveis do corredor e da câmara fria. Para as variáveis UR ($R = 0,01$) e Tar ($R = -0,10$).
 254



255 FIGURA 8. Comparação entre o corredor e a câmara fria, dos valores médios (média,
 256 mínima e máxima) da Tar e da UR.

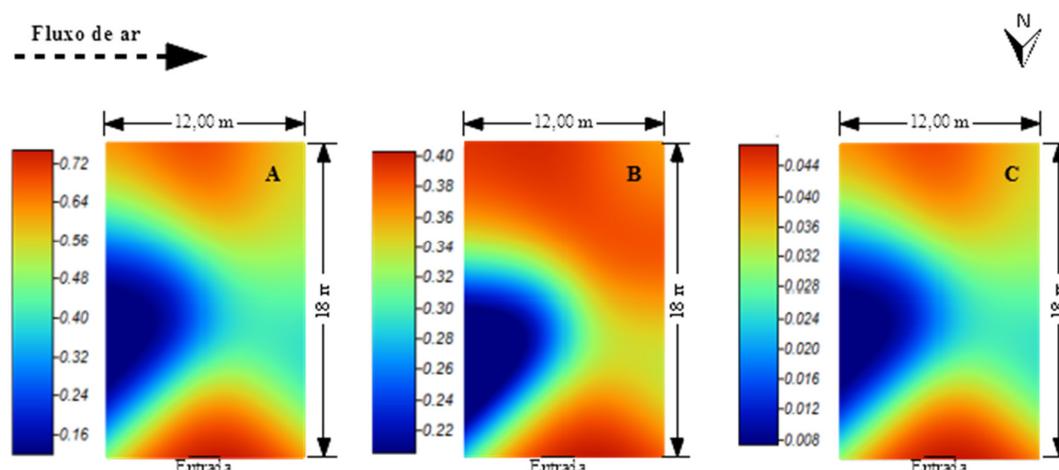
257

258 Além disso, foram verificados valores baixos de covariância entre os dois
 259 ambientes, para as variáveis Tar ($COV = -0,07$) e UR ($COV = 0,19$). O que indica que as
 260 condições das propriedades do ar presente nesses dois ambientes diferiram durante o
 261 experimento.

262 Pode ser observado que a Tar da câmara fria (Figura 9A) apresentou variabilidade
 263 espacial, tanto horizontalmente, quanto verticalmente. As regiões próximas à entrada e ao

264 fundo da câmara fria, apresentaram maiores valores, o que pode ser explicado pela troca
 265 de ar entre a câmara fria e o corredor, bem como a influência solar, visto que a região ao
 266 fundo da câmara fria é separada do ambiente externo apenas pela parede e seu isolamento.
 267 Além disso, o lado esquerdo da câmara fria apresentou menores valores de Tar, o que
 268 pode ser explicado pelo posicionamento dos equipamentos de refrigeração nessa região.
 269 Todavia, essa diferença é inferior a 0,6 °C.

270



271 FIGURA 9. Mapas interpolados dentro da câmara fria da Tar (A), da variância da Tar da
 272 câmara fria em relação a Tar do corredor (B) e da diferença normalizada da Tar (C).

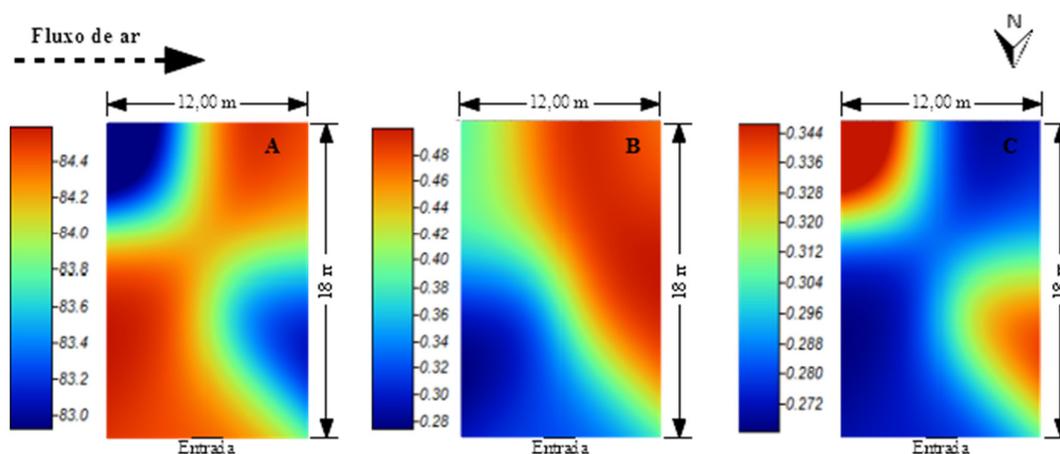
273

274 O mapa da variância entre a Tar interna e a Tar externa (Figura 9B), apresentou o
 275 mesmo padrão do mapa de Tar (Figura 9A), todavia o valor foi inferior a 1 em toda a
 276 câmara fria, o que indica que a Tar da câmara fria teve menor variação que a Tar do
 277 corredor. No entanto, o controle da Tar no corredor pode explicar os valores próximos
 278 entre 0,22 e 0,40 da relação da variância entre os ambientes. Analisando uma câmara fria
 279 para frutas e hortaliças, Badia-Melis et al. (2015) encontrou valores menores, entre 0,005
 280 e 0,03, uma vez que o corredor não é resfriado. Com relação a diferença normalizada da

281 Tar, pode-se inferir que a Tar no interior da câmara fria manteve-se ligeiramente superior
 282 à Tar desejada de 0 °C para o armazenamento de uvas de mesa.

283 Foi observado através do mapa da UR (Figura 10A), que a câmara fria apresentou
 284 regiões de menor valor na extremidade superior esquerda e na extremidade inferior direita
 285 da câmara fria. Essas regiões apresentaram Tar superior à 0,5 °C. Todavia essa variação é
 286 menor que 1,5% de UR, valor inferior à exatidão do sensor de medição (3,5 %). Além
 287 disso, a câmara fria apresentou variabilidade espacial de UR entre 83,0 e 84,4%, abaixo
 288 do valor recomendado para o armazenamento de uvas de mesa.

289



290 FIGURA 10. Mapas interpolados dentro da câmara fria da UR (A), da variância da UR
 291 da câmara em relação a UR do corredor (B) e da diferença normalizada da UR (C).

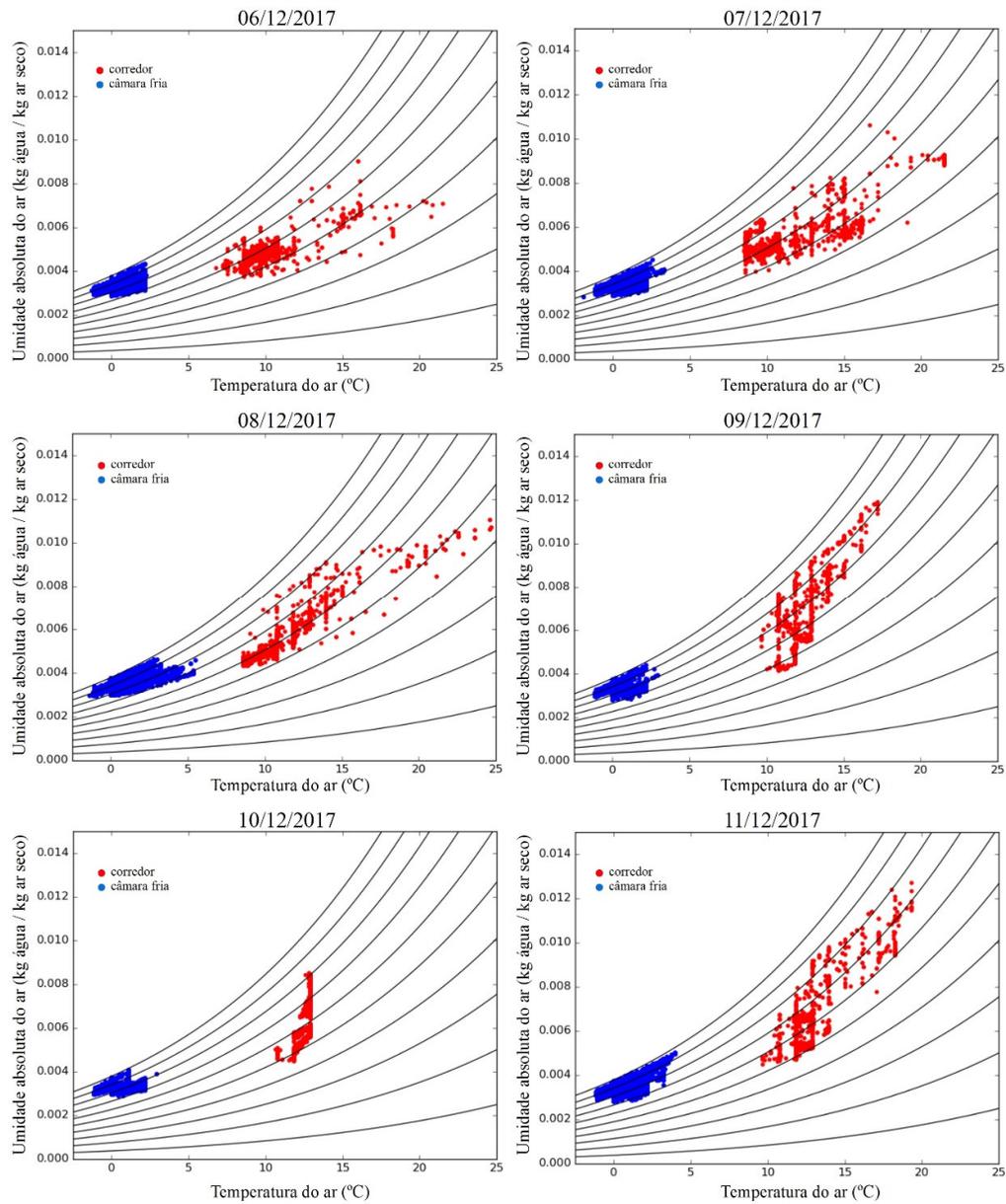
292

293 O mapa da variância (Figura 10B) indica uma maior variação das regiões mais
 294 afastadas dos resfriadores e próximas à extremidade direita da câmara fria. No entanto, a
 295 variância apresentou valores inferiores a 1 em toda a câmara fria, o que indica que a UR
 296 na câmara, teve menor variação que a UR do corredor. O controle da Tar no corredor pode
 297 explicar os valores entre 28% e 48% da relação entre a variância dos ambientes.

298 Com relação ao mapa da diferença normalizada da UR (Figura 10C), pode-se inferir
299 que a UR no interior da câmara fria, apresentou diferença para a UR mínima de 90%,
300 indicada para o armazenamento de uvas de mesa. Além disso, a razão entre a diferença
301 da UR normalizada nos dois ambientes, indica que a câmara fria foi de 27,2% à 34,4%
302 superior à UR do corredor, considerando a UR ideal.

303 De acordo com os resultados observados na Figura 11, houve diferença entre as
304 propriedades do ar dos dois ambientes, em todos os dias do experimento. Isso indica que
305 os ambientes não estão trocando calor, portanto, não há perdas energéticas da câmara fria
306 para o corredor. No entanto, o corredor sofre influência do ar externo à instalação, visto
307 que há elevação da Tar durante os dias do experimento, exceto no domingo (10/12/2017),
308 onde não foi notado elevação da temperatura no corredor. O ambiente externo apresentou
309 nesse dia, Tar máxima de 26,3 °C e Tar mínima de 21,6 °C.

310



311 FIGURA 11. Análise das propriedades do ar na câmara fria e no corredor durante os dias
312 do experimento.

313

314 **CONCLUSÕES**

315 A UR apresentou ampla variação na câmara fria, no entanto a média horária dessa
316 variável ficou entre 83,2 e 89,3%, valores abaixo da faixa recomendada para o
317 armazenamento de uvas sem sementes.

318 A Tar média no interior da câmara variou entre 0,2 e 0,9 °C, acima da faixa
319 recomendada para o armazenamento de uvas sem sementes. A Tar média no corredor
320 apresentou valores entre 10,8 e 13,8 °C, com médias máximas às 16 horas e às 21 horas.

321 A Tar na câmara fria apresentou variabilidade espacial, com uma diferença inferior
322 a 0,6 °C. A UR na câmara fria apresentou variabilidade espacial e foi superior à UR do
323 corredor entre 27,2 e 34,4%.

324 Houve diferença entre as propriedades do ar nos dois ambientes, em todos os dias
325 do experimento. O corredor sofreu influência do ar externo à instalação, apresentando
326 elevação na Tar durante os dias úteis do experimento.

327

328 **AGRADECIMENTOS**

329 Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado da
330 Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

331

332 **REFERÊNCIAS**

333 ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS). **Psychrometric**

334 **Data**. [s.l.] ASAE Standards D271.2 DEC94, 1998.

335 BADIA-MELIS, R.; RUIZ-GARCIA, L.; GARCIA-HIERRO, J.; ROBLA VILLALBA,

336 J. I. Refrigerated fruit storage monitoring combining two different wireless sensing

337 technologies: RFID and WSN. **Sensors (Switzerland)**, v. 15, n. 3, p. 4781–4795, 2015.

338 BRACKMANN, A.; MAZARO, S. M.; WACLAWOVSKY, A. J. Armazenamento

- 339 refrigerado de uvas cvs. Tardia de Caxias e Dona Zilá. **Ciência Rural**, v. 30, p. 581–
340 586, 2000.
- 341 CENCI, S. A.; SOARES, A. G.; FREIRE JR, M. Manual de perdas pós-colheita em
342 frutos e hortaliças. **Embrapa/Ctaa**, v. 27, p. 29, 1997.
- 343 CRISOSTO, C. H.; SMILANICK, J. L.; DOKOOZLIAN, N. K. Table Grapes Suffer
344 Water Loss, Stem Browning During Cooling Delays. **California Agriculture**, v. 55, n.
345 1, p. 39–42, 2001. Disponível em:
346 <<http://californiaagriculture.ucanr.org/landingpage.cfm?articleid=ca.v055n01p39>>.
- 347 GROSS, K. C.; WANG, C. Y.; SALTVEIT, M. (ed.). **The Commercial Storage of**
348 **Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks**. Washington, DC: Agriculture
349 Handbook 66, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016.
- 350 IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em:
351 <<https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/A/24/S/PA/C/Q>>. Acesso em: 23 nov. 2017.
- 352 LAZZAROTTO, J. J.; FIORAVANÇO, J. C. **Comércio Exterior Mundial e Brasileiro**
353 **de Uva de Mesa: Análise de Indicadores de Competitividade, Tendências e**
354 **Sazonalidades**. 21. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2013.
- 355 LEÃO, P. C. de S.; LIMA, M. A. C. de. Cultivar BRS Núbia: Produtividade e
356 Qualidade da Uva no Submédio do Vale do São Francisco. In: **Comunicado Técnico**,
357 **172**. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, 2017. p. 1–4.
- 358 MDIC. **Comex Vis: Principais Produtos Exportados**. Disponível em:
359 <[http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-](http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-ppe?ppe=1325)
360 [vis/frame-ppe?ppe=1325](http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-ppe?ppe=1325)>. Acesso em: 23 nov. 2017.
- 361 MERCIER, S.; VILLENEUVE, S.; MONDOR, M.; UYSAL, I. Time – Temperature
362 Management Along the Food Cold Chain : A Review of Recent Developments.

- 363 **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 647–667, 2017.
- 364 PEREIRA, E.; GONÇALVES, R.; SPAGNOL, W. A.; JUNIOR, V. S. Water loss in
365 table grapes : model development and validation under dynamic storage conditions. p.
366 1–7, 2017.
- 367 PINTO, J. A. V.; SCHORR, M. R. W.; THEWES, F. R.; CECONI, D. L.; BOTH, V.;
368 BRACKMANN, A.; FRONZA, D. Relative humidity during cold storage on
369 Postharvest quality of “Niagara Rosada” table grapes. **Ciência Rural**, v. 45, n. 3, p.
370 386–391, 2015. Disponível em:
371 <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000300386&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
372 [84782015000300386&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000300386&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>.
- 373 WERNECKE, R.; WERNECKE, J. **Industrial Moisture and Humidity**
374 **Measurement: A Practical Guide**. 1. ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag
375 GmbH & Co. KGaA, 2014.
- 376

5 CONCLUSÕES GERAIS

O sistema UmiTemp mostrou-se viável para monitorar temperatura e umidade relativa do ar em câmaras frias. A qualidade do sinal na câmara fria não foi influenciada pela distância ou pelo revestimento da parede. O *website* apresenta uma interface agradável e simples de ser utilizada por gestores de câmaras frias, com representações gráficas do microclima. O projeto apresentou um custo total de R\$ 2561,03, e custo de R\$ 137,60 por nó sensor.

A UR média horária dessa variou entre 83,2 e 89,3%, valores abaixo da faixa recomendada para o armazenamento de uvas sem sementes. A Tar média do ar no interior da câmara variou entre 0,2 °C e 0,9 °C, acima da faixa recomendada para o armazenamento de uvas sem sementes. A Tar média no corredor apresentou valores entre 10,8 e 13,8 °C, com médias máximas às 16 horas e às 21 horas.

A Tar na câmara fria apresentou variabilidade espacial. Todavia, essa diferença foi inferior a 0,6 °C. A diferença normalizada da Tar demonstrou que a Tar da câmara fria manteve-se próxima à Tar ideal de armazenamento (0 °C). A diferença normalizada da UR na câmara fria apresentou diferença para a UR mínima de 90%, recomendada para o armazenamento. O corredor sofreu influência do ar externo à instalação, apresentando elevação na Tar durante os dias úteis do experimento.