



# Development of a monitoring device of fruit products along the cold chain

**Diogo Morais** - morais\_diogo@hotmail.com

Universidade da Beira Interior, Covilhã; Centre For Mechanical and Aerospace Science and Technologies (C-MAST), Covilhã

**Pedro D. Silva** - dinho@ubi.pt

Universidade da Beira Interior, Covilhã; Centre for Mechanical and Aerospace Science and Technologies (C-MAST), Covilhã

**Pedro D. Gaspar** - dinis@ubi.pt

Universidade da Beira Interior, Covilhã; Centre for Mechanical and Aerospace Science and Technologies (C-MAST), Covilhã

## Abstract

During food transportation, products are often subject to conditions which in no way promote the conservation of their biological properties. As a result of this loss of quality, there is a decrease in appreciation under the product. But more important than the loss of economic value is food waste. Remote monitoring systems, whose fundamental requirements relate to range and autonomy, make use of communications technologies to map characteristic crop parameters to reduce unnecessary application of resources or materials. This article proposes a monitoring system to record the conservation conditions inside refrigeration plants and vehicles, transmitting them via the internet of Things (IoT). This device is composed of an ARDUINO UNO Rev3 microcontroller that acquires the temperature and relative humidity every 5 minutes by means of a DHT 11 sensor, and uses the SIM800L module that provides real time communication data via GSM. It also incorporates a 3.7 V - 2600mAh battery which gives you an approximate 60 hour power range.

## Keywords

Monitoring system, Traceability, Cold chain, Internet of Things (IoT), GSM



# Desenvolvimento de um dispositivo de monitorização para transporte de produtos frutícolas na cadeia de frio

## 1. Introdução

Os produtos alimentares, ao serem transportados, estão sujeitos a condições ambientais que afetam a sua conservação. Podem, assim, começar a desencadear-se problemas de origem biológica, como sejam o amadurecimento e a perda das propriedades organoléticas. O fator que mais afeta a qualidade dos produtos perecíveis durante o transporte é a temperatura de conservação.

Após a colheita dos frutos, de forma a preservar a qualidade dos mesmos, utilizam-se diversos processos de arrefecimento que, para além de removerem o calor de campo, são a chave para assegurar uma temperatura favorável durante a cadeia de abastecimento pós-colheita. Num estudo realizado com o propósito de avaliar o controlo da temperatura nos sistemas de refrigeração de produtos alimentares, verificou-se que as temperaturas registadas ultrapassaram os valores considerados seguros em 50% dos casos [1]. Em Portugal, as boas práticas no transporte de produtos alimentares encontram-se enunciadas no Regulamento nº 852/2004, onde são apresentados conjuntamente com outras boas práticas relevantes no transporte e distribuição de produtos alimentares [2].

Contudo, embora exista legislação que imponha características mínimas obrigatórias aos veículos de transporte de produtos perecíveis, o sistema de refrigeração presente nestes nem sempre é capaz de manter o ambiente de conservação ideal. O fato dos veículos estarem expostos ao sol durante a viagem, e nas paragens obrigatórias que os motoristas devem fazer, agravam as condições no interior do compartimento de carga. Ndraha *et al.* [3] verificaram que os valores excessivos de temperatura ocorriam em todas as etapas da cadeia de distribuição e que não eram exclusivo de um tipo de alimento em particular. Num estudo feito na Islândia, verificou-se que durante o transporte de filetes de lombo de bacalhau fresco, em 35% e em 18% do período de transporte, respectivamente, via aérea e via marítima a temperatura registada foi superior à recomendada em cerca de 1°C [4]. A não observância dos valores de temperatura no interior dos contentores de carga durante o transporte foi também analisada, constatando-se que 81% das situações ocorriam no porto marítimo da cidade do Cabo, na África do Sul, onde um quinto dos contentores nunca alcançava no seu interior os valores de temperatura ideais antes de serem colocados a bordo dos navios. [5]. Noutro estudo, com o objetivo de monitorizar as temperaturas no interior de um reboque de camião, avaliaram-se 16 carregamentos com recurso a dataloggers, concluindo-se que nenhum dos reboques foi eficaz na manutenção da temperatura dos produtos hortofrutícolas [6]. Já nos alimentos refrigerados, em França, recolheram-se dados relativos ao tempo e à temperatura, desde a produção até ao consumo por parte do cliente final. Concluiu-se que a etapa entre transporte do local de compra e o armazenamento no frigorífico doméstico era o período mais sensível no que diz respeito ao cumprimento dos valores de temperatura [7].

As frutas e os vegetais são os alimentos mais desperdiçados, com aproximadamente um terço do valor produzido a não ser comercializado [8], sendo este fato originado, muitas das vezes, por temperaturas inadequadas nos processos pós-colheita. Dadas estas estatísticas e conhecendo os principais problemas na cadeia de frio que afetam os alimentos, tais como a falta de rastreabilidade ou a incapacidade de manter os alimentos em condições que promovam a segurança e a qualidade [9], um sistema que seja capaz de monitorizar em tempo real a temperatura e de enviar remotamente os valores, é visto pelos intervenientes da cadeia de distribuição como um equipamento indispensável para garantir que os produtos são expedidos em boas condições e, desta forma, assegurar a qualidade dos mesmos desde a produção até ao local de consumo.

## 2. Sistema de monitorização

Um sistema de monitorização permite aferir o ambiente de conservação a que os produtos perecíveis se encontram, permitindo avaliar o histórico de temperatura bem como os valores em tempo real. Este registo pode ser enviado para um servidor remoto com auxílio das tecnologias de comunicação ou ser armazenado num cartão de memória.

De modo a que o sistema envie os dados na memória para um servidor remoto é necessária a utilização de uma tecnologia, como exemplo, o RFID, o Bluetooth, o Wi-Fi ou o GSM. Cada tecnologia possui as suas vantagens e desvantagens face às restantes. A escolha está dependente da dimensão do projeto e das exigências técnicas e financeiras envolvidas. Existem diversos estudos comparativos [9-11], sendo que as Redes de Sensores Sem Fios (*Wireless Sensor Network* - WSN) já se encontram no mercado mas a um preço inacessível para empresas com um volume de negócios reduzido. Há diversas soluções que são o exemplo da aplicabilidade das WSN para a monitorização de temperatura e/ou gases ao longo de toda a cadeia de distribuição[12-18].

### 2.1. Características do Sistema

Tendo como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitorização capaz de enviar os dados em tempo real e assim acompanhar os produtos frutícolas durante o seu transporte, desde o produtor até à central de distribuição, foi necessário avaliar inicialmente de que forma varia a temperatura no interior das câmaras dos produtores, para, desta forma, caracterizar o ambiente de conservação na etapa inicial da cadeia de distribuição. Este estudo experimental foi realizado no âmbito do Projeto PrunusPós- “Otimização de processos de armazenamento, conservação em frio e embalamento inteligente no pós-colheita de produtos frutícolas”, cujos resultados permitiram caracterizar o ambiente de conservação nas câmaras dos produtores com recurso a dataloggers. Após a recolha e tratamento dos valores de temperatura e de humidade relativa do ar, estabeleceram-se os parâmetros a que o dispositivo estaria sujeito, tal como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações do dispositivo.

Número de dispositivos	1 dispositivo por palete
Valor máximo	+ 30 °C / 90% HR
Valor mínimo	0 °C / 30 % HR
Tempo de aquisição	5 min
Comunicação	GSM

### 2.2. Hardware

Um parâmetro ambiental necessita de um sensor para ser medido, isto é, um elemento que converta uma variação no ambiente circundante num sinal elétrico viável, de forma a ser interpretado por um microcontrolador.

Para o sistema de monitorização desenvolvido, foi utilizado o dispositivo ARDUINO UNO Rev3, apresentado na Figura 1. Este microcontrolador permite que o desenvolvimento e a sua aplicação numa placa de prototipagem seja mais rápido [19]. Na Tabela 2 encontram-se as suas características.

Tabela 2 - Especificações do microprocessador.

Processador	ATMEGA328-PU
Tensão de funcionamento	5V
GPIOs	14
Memória flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frequência do clock	16 MHz



Figura 1 - Microcontrolador ARDUINO UNO REV3.

O Arduino afigurou-se como uma das soluções mais versáteis do mercado para os requisitos requeridos.

Para se proceder à aquisição de dados, o sensor utilizado foi o DHT 11, pois respeita os requisitos apresentados na Tabela 1, uma vez que os valores de temperatura a aferir são positivos e os valores de humidade relativa inferiores a 90%. Esta restrição aos valores de temperatura e humidade relativa deve-se ao fato de que os sistemas de refrigeração dos veículos não serem capazes de os infringir. Na Tabela 3 são apresentadas as características do sensor.

Tabela 3 - Especificações do sensor de temperatura/humidade DHT11.

Parâmetros		Condições	Mínimo	Médio	Máximo
Humidade	Resolução		1%	1% 8 Bits	1%
	Repetibilidade			±1%	
	Precisão	25 °C 0-50 °C		±4%	± 5%
	Gama de medição	0 °C 25 °C 50 °C	30% 20% 20%		90% 90% 80%
	Tempo de resposta		6s	10s	15s
Temperatura	Resolução		1 °C 8 Bit	1 °C 8 Bit	1 °C 8 Bit
	Repetibilidade			±1 °C	
	Precisão		±1 °C		±2 °C
	Gama de medição		0 °C		50 °C
	Tempo de resposta		6s		30s

### 2.3. Comunicação

Das tecnologias de comunicação disponíveis, a única que correspondeu às exigências foi o GSM. Uma vez que o sistema será colocado no compartimento de carga de um veículo e que este irá deslocar-se para efetuar a distribuição, protocolos como o Bluetooth, Wi-Fi, Lora e RFID são incapazes de transmitir, por si só, para um servidor remoto.

A rede GSM consiste numa rede existente de torres de comunicação, que são utilizadas pelos telemóveis e que lhes permite comunicar a longas distâncias, utilizando as bandas conhecidas como 2G, 3G, 4G e futuramente o 5G. Aliado ao GSM existe o GPRS (*General Packet Radio Service*), que se trata de um pacote orientado de dados móveis, permitindo o estabelecimento de uma ligação com a internet para o upload dos dados.

Um veículo de transporte de produtos frutícolas nem sempre se desloca por entre locais com cobertura Wi-Fi. Para dispor de sinal Wi-Fi, seria necessário adquirir um dispositivo de rede móvel, ao qual o sistema de monitorização se deveria conectar de forma a enviar os dados. Analisada esta solução, rapidamente foi posta de parte devido ao custo associado. Tanto o Wi-Fi como as restantes tecnologias iriam requerer sempre um módulo que permitisse estabelecer uma ligação com a internet, mais concretamente um módulo GSM ou Satélite. Sirotek & Hart [20] elaboraram um estudo sobre as inúmeras possibilidades da utilização do GSM e do GPS para a monitorização em locais especiais, tais como em florestas, em camiões, no meio rural e em campo aberto. Para a comunicação se estabelecer, é necessário utilizar um módulo de comunicação, tendo sido escolhido o SIM800L, representado na Figura 2.



Figura 2 - Módulo de comunicação GSM/GPRS SIM800L.

Por último, para o módulo de comunicação poder operar, foi necessário obter o cartão SIM de uma operadora móvel que dispusesse de uma extensa cobertura de sinal. Na Figura 3 é possível observar a concentração das antenas de comunicação da operadora escolhida em território continental.



Figura 3 - Cobertura da rede móvel em Portugal continental [21].

### 3. Software

Para a automatização do processo de recolha de valores e respetivo envio, é necessário um código, nomeadamente em Wiring. Na Figura 4 é apresentado o fluxograma que descreve o funcionamento do sistema de monitorização.

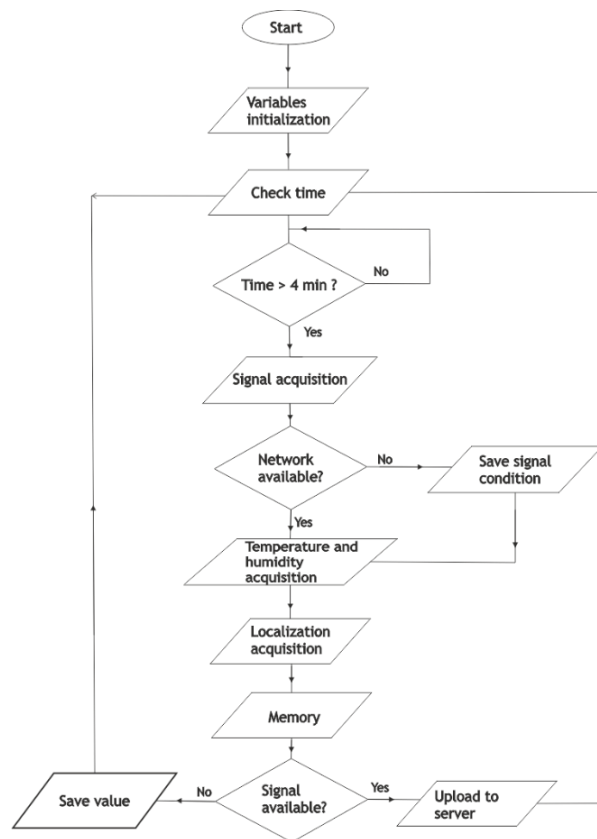


Figura 4 - Fluxograma do funcionamento do dispositivo de monitorização.

Ao iniciar o sistema, este fica em espera até o requisito do tempo se cumprir. Após esta verificação, são executadas as funções que obtém o valor do sinal da rede (RSSI), seguindo-se da função de aquisição dos valores de temperatura e humidade relativa do ar.

Após a alocação dos valores medidos numa variável, é realizado o pedido de localização à operadora. A localização é efetuada com a triangulação das antenas de comunicação mais próximas ao sistema. Contudo, os valores de longitude e latitude fornecidos apresentam um erro, sendo resultado da previsão da localização do sistema na rede de comunicação. Ao ser utilizada a triangulação pelas antenas de comunicação, faz com que a utilização de um módulo de GPS seja dispensável, reduzindo o preço final do produto. Mesmo com o erro da localização, esta opção permite acompanhar o veículo e saber os momentos em que esteve parado ou em movimento. Os valores então obtidos são enviados para uma plataforma online onde são armazenados, o que permite a consulta do histórico de temperatura e humidade relativa em todos os pontos da cadeia de transporte, bem como a respetiva localização.

O ThingSpeak é uma plataforma online que permite o armazenamento de dados provenientes de dispositivos com ligação à internet. Para além disso, ainda dispõe de análise e processamento de dados com recurso ao MATLAB Online, como se constata na Figura 5, o que permite a posterior implementação de algoritmos de otimização quer de rotas, quer de ambiente de conservação. Ao fazer a aquisição através do módulo GSM, é feito um pedido ao

ThingSpeak para o upload dos dados através do protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*).

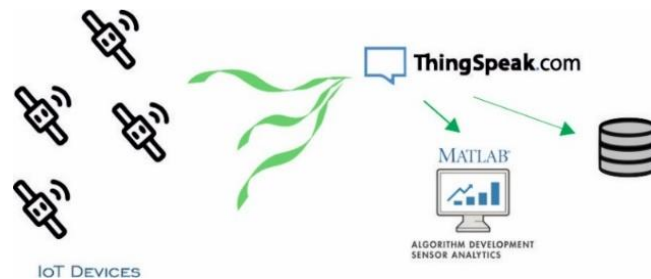


Figura 5 - Ilustração do fluxo de comunicação entre os dados enviados pelos dispositivos IoT e o servidor ThingSpeak.

Posteriormente, os dados são convertidos para um display e enviados para o site que permite obter a localização e os valores obtidos a cada cinco minutos, como apresentado na Figura 6.

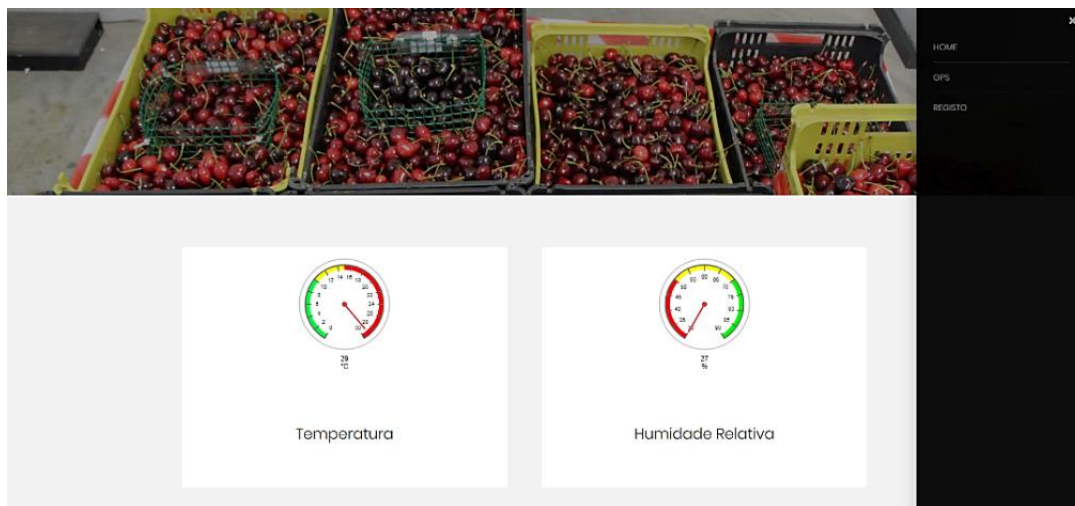


Figura 6 - Visualização dos aplicativos informativos na página do dispositivo.

Para a elaboração do mapa que permite a visualização da localização, foi escrito em HTML um código que incorpora os valores lidos no ThingSpeak e sobrepõe com o mapa da Google Maps.

#### 4. Características elétricas

O sistema de monitorização, para acompanhar os produtos ao longo de todo o transporte, deve ser um sistema barato, fiável e eficiente. A autonomia e o preço são requisitos obrigatórios. Na Tabela 4 encontram-se descritas as características elétricas de cada um dos elementos que compõem o sistema.

No decorrer dos ensaios verificou-se que o presente sistema apresenta um consumo energético de 0,01V/h, permitindo uma autonomia prevista de 2,5 dias (60 h) com aquisição a cada 5 min. Após a montagem de todos os elementos, foi utilizada uma impressora 3D para a impressão de uma caixa para o sistema e para a pilha, com as respetivas tampas, como se observa na Figura 7.

Tabela 4 - Especificações elétricas dos componentes utilizados.

Componente	Características					
Sim800L	Tensão		3,7V - 4,2V			
	Tensão recomendada		4V			
	Consumos		sleep mode < 2,0 mA			
			idle mode < 7,0 mA			
			GSM transmission (avg): 350 mA			
GSM transmission (peek): 2000 mA						
ATMEGA328P	Cristal		16Mhz (externo)			
	Tensão (V)		3,3			
	Corrente (mA)		6,6			
	Potência (mW)		21,8			
	5V, 16Mhz		81,8 mA			
DHT11	Condições		Mínimo	Médio	Máximo	S.I
	Tensão	DC	3,0	5,0	5,5	[V]
		Medido	0,5		2,5	[mA]
	Corrente	Médio	0,2		1	[mA]
		Standby	100		150	[µA]



(a) Placa de prototipagem.



(b) Caixa do sistema.

Figura 7 - Protótipo do sistema de rastreabilidade.

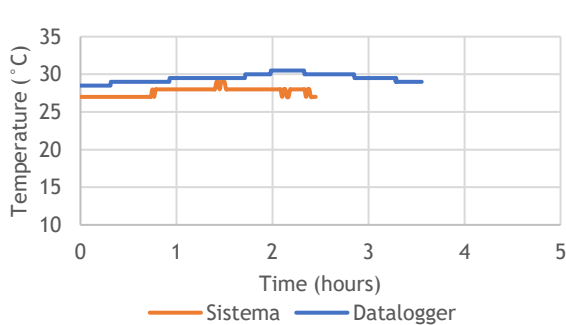
## 5. Resultados

Para se proceder à validação do sistema desenvolvido e ao ajuste dos offsets dos sensores, procedeu-se a um ensaio experimental. Um datalogger auxiliar serviu como sistema complementar para verificar se existia alguma irregularidade com os valores obtidos pelo protótipo. O ensaio, numa primeira fase, decorreu no interior do laboratório, onde foi permitido testar a autonomia e a receção do sinal com a colocação do dispositivo no interior de uma câmara de conservação durante 24 h, servindo como base de comparação para o que o sistema teria que enfrentar no interior de um veículo de transporte. O ensaio neste local foi realizado duas vezes, sendo o segundo ensaio efetuado para validação dos offsets impostos após o primeiro ensaio, estando os valores apresentados na Tabela 5.

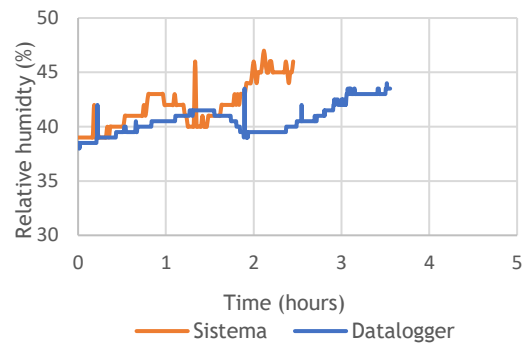
Tabela 5 - Resultados obtidos nos ensaios realizados.

Sistema	Ensaio	Aquisição (min)	Temperatura [°C]			Humidade relativa [%]		
			Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio
Datalogger	1	1	30,5	28,5	29,5	44,0	38,0	40,6
Sistema		5	29,0	27,0	27,7	47,0	39,0	42,0
Erro Absoluto			-1,5	-1,5	-1,8	-3,0	-1,0	-1,3
Datalogger	2	1	34,5	24,0	28,5	51,5	30,5	40,8
Sistema		5	39,0	24,0	28,7	50,0	21,0	39,5
Erro Absoluto			-4,5	0,0	-0,2	1,5	9,5	1,3

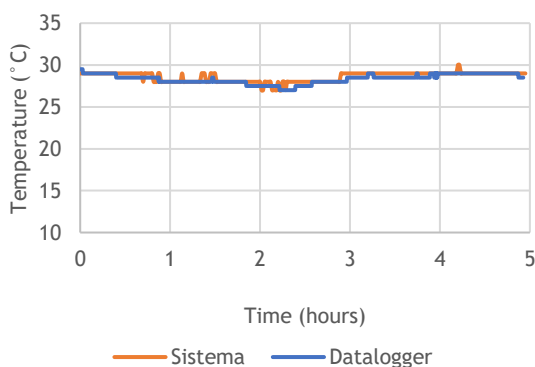
Tendo em conta os valores obtidos quer no datalogger, quer no sistema de monitorização, constata-se que o erro é diminuto. Na Figura 8, encontram-se os valores de temperatura e de humidade relativa do ar obtidos no primeiro ensaio (a e b) e no segundo ensaio (c e d).



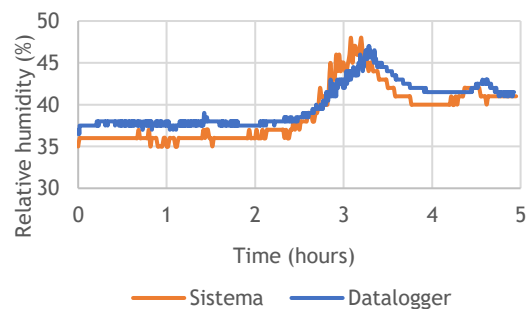
a) Valores de monitorização da temperatura (sem offset)



b) Valores de monitorização da humidade relativa (sem offset)



c) Valores de monitorização da temperatura (com offset)



d) Valores de monitorização da humidade relativa (com offset)

Figura 8-Comparação de valores de medição entre o Datalogger e o Sistema de monitorização desenvolvido.

## Conclusão

A monitorização nos compartimentos de carga dos veículos refrigerados é uma acção essencial no controlo da qualidade dos produtos transportados. Com uma previsão para a população mundial de 10 mil milhões pelo ano de 2050, otimizar os processos de conservação deve ser uma das prioridades dos produtores.

O dispositivo desenvolvido, ao permitir o envio em tempo real dos valores lidos, permite com que seja aplicada uma otimização nas rotas de transporte e nos offsets do equipamento de refrigeração do veículo.

Tendo por base os valores obtidos, o dispositivo apresenta características que o diferenciam positivamente em relação aos outros existentes no mercado. Da análise comparativa face ao datalogger auxiliar, verifica-se que os valores registados com o protótipo desenvolvido apresentam um erro reduzido.

## Agradecimentos

Este trabalho de investigação é financiado pelo projeto PrunusPOS - Otimização de processos de armazenamento, conservação em frio, embalagem ativo e/ou inteligente, e

rastreabilidade da qualidade alimentar no pós-colheita de produtos frutícolas, Operação n.º PDR2020-101-031695 (Parceiro), Consórcio n.º 87, Iniciativa n.º 175 promovido pelo PDR2020 e co-financiado pelo FEADER e União Europeia no âmbito do Programa Portugal 2020.

## Referências

- [1] J. Lundén, V. Vanhanen, T. Myllymäki, E. Laamanen, K. Kotilainen, and K. Hemminki, "Temperature control efficacy of retail refrigeration equipment," *Food Control*, vol. 45, pp. 109-114, 2014.
- [2] P. Batista, *Sistemas de Segurança Alimentar na Cadeia de transporte e Distribuição de Produtos Alimentares*. vol .3. Guimarães, Forvisão, 2007
- [3] N. Ndraha, H. Hsiao, J. Vlajic, M. Yang, and H. V. Lin, "Time-temperature abuse in the food cold chain: Review of issues, challenges, and recommendations", *Food Control*, vol. 89, pp. 12-21, 2018.
- [4] E. Martinsdóttir, "The effect of cooling methods at processing and use of gel packs on storage life of cod (*Gadus morhua*) loins. Effect of transport via air and sea on temperature control and retail-packaging on cod deterioration," 2010.
- [5] C. Stander and F. E. Van Dyk, "Maintaining cold chain integrity: Temperature breaks within fruit reefer containers in the Cape Town Container Terminal", *Southern African Business Review*, vol. 21, pp. 362-384, 2017.
- [6] W. Brown, E. Ryser, L. Gorman, S. Steinmaus, and K. Vorst, "Transit temperatures experienced by fresh-cut leafy greens during cross-country shipment," *Food Control*, vol. 61, pp. 146-155, 2016.
- [7] V. Osswald, O. Laguerre, G. Alvarez, U.R. Gpan, P. De Gennes, and A. Cedex, "Cold chain of chilled food in France", *Int J Refrig*, vol. 52, pp. 161-167, 2015.
- [8] J. Gustavsson, C. Cederberg, and U. Sonesson, "Global Food losses and Food waste," *Glob. Food Losses Food Waste*, no. May, p. 1, 2011.
- [9] D. Morais, P.D. Gaspar, P.D. Silva, J. Nunes, L.P. Andrade, M.P. Simões and L.C. Pires, "Current status and future trends of monitoring technologies for food products traceability", *The 25th IIR International Congress of Refrigeration (ICR 2019), Montreal, Canada, August, 24-30, 2019*.
- [10] A. Zafar, N. Islam, and Z. Ahmed, "Computer Standards & Interfaces A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture," *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 36, no. 2, pp. 263-270, 2014.
- [11] S. Al-Sarawi, M. Anbar, K. Alieyan, and M. Alzubaidi, "Internet of Things (IoT) communication protocols: Review," *ICIT 2017 - 8th Int. Conf. Inf. Technol.* pp. 685-690, 2017.
- [12] M. Jagadesh, S. Rajamanickam, S. P. Saran, S. S. Sai, and M. Suresh, "Wireless Sensor Network Based Agricultural Monitoring System", *IJCRT*, vol. 6, no. 1, pp. 502-509, 2018.
- [13] E. Nurellari and S. Srivastava, "A Practical Implementation of an Agriculture Field Monitoring using Wireless Sensor Networks and IoT Enabled," *2018 IEEE Int. Symp. Smart Electron. Syst*, pp. 134-139, 2018.
- [14] P. Tang, O. A. Postolache, Y. Hao, and M. Zhong, "Reefer Container Monitoring System Reefer Container," *2019 11th Int. Symp. Adv. Top. Electr. Eng.*, pp. 1-6, 2019.
- [15] R. Badia-melis, L. Ruiz-garcia, J. Garcia-hierro, and J. I. R. Villalba, "Refrigerated Fruit Storage Monitoring Combining Two Different Wireless Sensing Technologies: RFID and WSN," *Sensors*, pp. 4781-4795, 2015.
- [16] L. Ruiz-garcia, P. Barreiro, and J. I. Robla, "Performance of ZigBee-Based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics", vol. 87, pp. 405-415, 2008.
- [17] A. Venkatesh, T. Saravanakumar, S. Vairamsrinivasan, A. Vigneshwar, and M. S. Kumar, "A Food Monitoring System Based on Bluetooth Low Energy and Internet of Things", *Int. Journal of Engineering Research and Application*, vol. 7, no. 3, pp. 30-34, 2017.
- [18] A. Vergara, E. Llobet, J.L. Ramirez, P. Ivanov, L. Fonseca, S. Zampolli, A. Scorzoni, T. Becker, S. Marco, J. Wöllenstein. An RFID reader with onboard sensing capability for monitoring fruit quality. *Sensors and Actuators B: Chemical*. vol. 127, no. 1, pp. 143-149, 2007.
- [19] D.Patnaikuni, "A Comparative Study of Arduino, Raspberry Pi and ESP8266 as IoT Development Board", *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 8, no. 5, pp. 2350-2352, 2017.
- [20] A. Sirotek and J. Hart, "Possibilities of monitoring cattle via GSM and A-GPS," vol. 17, no. 3, pp. 816-821, 2019.
- [21] <https://www.nperf.com> [Acedido: 19/07/2019]