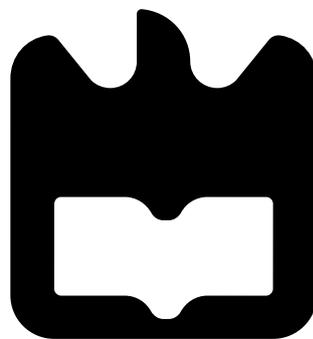




Tiago
Valente

Sensores sem fios





**Tiago
Valente**

Sensores sem fios



**Tiago
Valente**

Sensores e Atuadores sem fios

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica de José Paulo Santos, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

o júri / the jury

presidente / president

Doutor António Gil D'Orey de Andrade Campos

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (por delegação da Reitora da Universidade de Aveiro)

vogais / examiners committee

Doutor José Paulo Santos

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Doutor Fernando José Neto da Silva

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (co-orientador)

Doutor Pedro Nicolau Faria da Fonseca

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

**agradecimentos /
acknowledgements**

Aproveito esta oportunidade de agradecer a todos aqueles que me ajudaram e me apoiaram ao longo destes anos. Aos meus pais agradeço todo o carinho e dedicação que dispensaram para fazer de mim aquilo que sou hoje. A minha namorada Tânia, por todo o apoio que me deu durante os momentos mais complicados deste percurso académico. E por fim, aos amigos pelos momentos de lazer e por toda ajuda prestada em determinados momentos durante este percurso.

Resumo

No presente trabalho é abordado o tema dos sensores sem fios de baixo custo e consumo para medição do teor de água em bacalhau durante o seu processo de secagem em estufas. Estes sensores ganham um papel cada vez mais importante na indústria alimentar, e em particular na indústria de transformação de bacalhau, onde a optimização do tempo de cura do bacalhau tem um enorme impacto económico para a indústria. Outra vantagem da utilização destes sensores na medição das propriedades dos alimentos é a obtenção de um produto com as características desejadas melhorando assim a qualidade final do produto alimentar.

Com base em alguns conceitos teóricos, foi desenvolvido um sensor de medição do teor de água com capacidade de comunicação sem fios para um computador remoto. Foram feitos ensaios experimentais de forma a obter uma relação entre a condutividade e o teor de água, concluindo assim se este método é ou não fiável para o desenvolvimento do sensor proposto.

Abstract

In this paper we addressed the issue of wireless sensors for low cost and consumption for measuring water content in cod during its drying process in greenhouses. These sensors gain an increasingly important role in the food industry, particularly in the manufacturing industry of cod, where the optimization of curing time for cod has a huge economic impact on the industry. Another advantage of the use of these sensors for measuring the properties of foodstuffs is obtaining a product with the desired characteristics thereby improving the quality of the final food product.

Based on some theoretical concepts, a sensor for measuring the water content capacity of wireless communication to a remote computer was developed. Experimental tests were performed in order to obtain a relation between conductivity and water content, thus completing this method is reliable or not to develop the proposed sensor.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	1
1 Introdução	3
1.1 Enquadramento	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Organização da dissertação	4
2 Estado da Arte	7
2.1 A matéria-Prima	7
2.1.1 Apectos Gerais	7
2.1.2 Classificação	7
2.1.3 Portugal e o "fiel amigo"	9
2.1.4 Processamento do bacalhau	10
2.2 Sensores	11
2.2.1 Medição por impedância eléctrica	12
2.2.2 Medição por ultrassons	16
2.2.3 Medição por infravermelhos	21
2.2.4 Medição por ressonância magnética	24
2.2.5 Medição por capacitância.	24
2.3 Sistemas de Secagem	25
2.3.1 Princípios básicos de secagem	25
2.3.2 Factores que influenciam o processo de secagem	27
2.3.3 Diferentes tipos de secagem	28
2.4 Sistemas de comunicação	29
2.4.1 O RS-232	30
2.4.2 O RS-485	31
2.4.3 O TCP/IP	32
2.4.4 O WI-FI	33
2.4.5 Bluetooth	34
2.4.6 ZigBee	35
2.5 Opções Comerciais	36
2.5.1 O VSA	37
2.5.2 O 4TE4	37

2.5.3	O pawkit-3	38
2.5.4	O 910sT	38
3	Sistema Proposto	39
3.1	Estrutura Geral	39
3.2	Hardware	39
3.2.1	O PIC16F887	40
3.2.2	O PIC16F1823	41
3.2.3	O XBee	42
3.3	Aquisição de Dados	43
3.3.1	Medição da condutividade elétrica	43
3.4	Placa de Interface com o Computador	43
3.5	Firmware	44
3.5.1	Sensor de monitorização online	44
3.5.2	Sensor de monitorização pontual	44
3.6	Software	46
3.6.1	Estrutura de Mensagens	47
4	Implementação do Sistema Proposto	49
4.1	Protótipo do sensor de monitorização online	50
4.2	Protótipo do sensor de medição pontual	51
4.3	Placa de interface com o computador	53
4.4	Painel de monitorização Gráfica	54
5	Metodologia Experimental	57
5.1	Obtenção das amostras	57
5.2	Procedimento experimental	57
5.3	Determinação do teor de água instantâneo da amostra	59
5.4	Determinação da condutividade	59
6	Resultados Experimentais	61
6.1	Medição da condutividade Bacalhau fresco e Bacalhau " verde'"	61
6.1.1	Resultados das medições em Bacalhau Fresco	61
6.1.2	Resultados das medições em Bacalhau Verde	62
6.1.3	conclusão	63
6.2	Velocidade de Secagem em Bacalhau " verde'"	65
6.2.1	conclusão	67
6.3	Sensibilidade de Secagem em Bacalhau " verde'"	68
6.3.1	Conclusão	69
6.4	Determinação do teor de água	70
7	Conclusões	73
7.1	Conclusão e Discussão	73
7.2	Trabalhos propostos	75
	Bibliografia	77

Lista de Figuras

2.1	Gadus Morhua (Lamosa, 2008).	8
2.2	Gadus Macrocephalus (Lamosa, 2008).	8
2.3	Saithe (Lamosa, 2008).	9
2.4	Ling (Lamosa, 2008).	9
2.5	Zarbo (Lamosa, 2008).	9
2.6	Eletrodo coaxial (Masot et al., 2010).	12
2.7	Esquema de medição da condutividade eléctrica de um material (Giroto and Santos, 2002).	13
2.8	Esquema de montagem experimental de um electrómetro.	14
2.9	Esquema de montagem experimental de uma sonda de quatro terminais.	15
2.10	Representação esquemática do equipamento de aquisição (Novoa-Diaz et al., 2012).	16
2.11	Representação gráfica do pulso ultra-sónico enviado e dos ecos recebidos provenientes da reflexão da onda (Novoa-Diaz et al., 2012).	17
2.12	Representação gráfica dos valores utilizando os vários métodos para aquisição do tempo de viagem do ultra-sons (Novoa-Diaz et al., 2012).	17
2.13	representação esquemática do equipamento (Saggin and Coupland, 2001).	18
2.14	gráfico da variação em percentagem das características das amostras de carne das várias amostras (Byrne et al., 1998).	22
2.15	Amostras de carne intacta e picada e representação gráfica da distribuição da concentração de água e gordura.	23
2.16	Amostras de carne intacta e picada e representação gráfica da distribuição da concentração de água e gordura (Kamruzzaman et al., 2012).	23
2.17	Representação construtiva de um sensor capacitivo.	24
2.18	Curva típica de secagem (Carneiro, 2003).	26
2.19	Secagem Natural do Bacalhau.	29
2.20	Secagem Natural do Bacalhau.	29
2.21	Esquema dos pinos de uma ficha RS-232.	30
2.22	Exemplo de uma estrutura de transmissão de dados por RS-232 (Santos, 2010c).	30
2.23	Exemplo de uma estrutura de transmissão de dados por RS-485 (Santos, 2010b).	31
2.24	Exemplo de ligações entre equipamentos por RS-485 (Santos, 2010b).	32
2.25	Modelo de referencia OSI (esquerda) e protocolo TCP/IP (direita) (Silva, 2012).	32
2.26	Estrutura de uma mensagem do protocolo IP (Santos, 2010d).	33
2.27	Camada protocolar Wi-Fi (Rodrigues, 2004).	34
2.28	Frame Wi-Fi (Mizusaki, 2010).	34
2.29	Exemplo de comunicação de uma rede Bluetooth.	35

2.30	Camada protocolar de um rede Bluetooth.	35
2.31	Estrutura de uma mensagem de uma piconet.	35
2.32	Camada protocolar do ZigBee.	36
2.33	Exemplo de uma rede ZigBee em malha.	36
2.34	O Vapor Sorption Analyzer (VSA) (aqu).	37
2.35	(aqu).	37
2.36	O pawkit-3aqu.	38
2.37	(aqu).	38
3.1	Diagrama de Blocos do Sistema implementado.	40
3.2	Microcontrolador PIC16F887 da Microchip [®]	41
3.3	Microcontrolador PIC16F1823 da Microchip [®]	41
3.4	Módulo XBee XB24-Z7WIT-004 da Digi [®]	42
3.5	Representação do esquema eléctrico equivalente ao fenómeno produzido pelo teor de água no bacalhau.	43
3.6	Esquema de funcionamento da interface de dados com o computador.	44
3.7	Estrutura logica do sensor de monitorização online.	45
3.8	Diagrama de Blocos que representa a estrutura lógica do firmware implementado no microcontrolador para sensor de monitorização pontual.	46
3.9	Estrutura lógica do software.	47
3.10	Mensagem Enviada.	48
3.11	Painel de controlo e monitorização.	48
4.1	Esquema eléctrico do sistema de aquisição, controlo e comunicação do sensor sem fios.	49
4.2	Esquema eléctrico do sistema de aquisição, controlo e comunicação do sensor sem fios.	50
4.3	Esquema eléctrico da ponta de medição 1.	51
4.4	Esquema eléctrico da ponta de medição 2.	52
4.5	Esquema eléctrico da ponta de medição 2.	52
4.6	Esquema eléctrico do sensor de medição pontual.	52
4.7	Esquema eléctrico do sensor sem fios.	53
4.8	Esquema eléctrico da placa de interface com o computador.	53
4.9	Montagem da placa de interface com o computador.	54
4.10	Painel de controlo e monitorização.	55
5.1	Exemplo da amostra retirada da matéria-prima.	57
5.2	Balança.	58
5.3	Filetes de bacalhau.	58
5.4	Filetes de bacalhau.	59
5.5	Divisor resistivo.	60
6.1	Gráfico da tensão de referência (V) em função do teor de água em Bacalhau fresco.	61
6.2	Gráfico da Resistência eléctrica (Ohm) em função do teor de água em Bacalhau fresco.	62
6.3	Gráfico da Condutividade (Mho) em função do teor de água em Bacalhau fresco.	63

6.4	Gráfico da tensão de referência (V) em função do teor de água em bacalhau salgado.	63
6.5	Gráfico da resistência eléctrica (Ohm) em função do teor de água em bacalhau salgado.	64
6.6	Gráfico da Condutividade (Mho) em função do teor de água em bacalhau salgado.	64
6.7	Gráfico da tensão de referência (V) em função do tempo em bacalhau salgado. .	65
6.8	Gráfico da resistência eléctrica (Ohm) em função do tempo em bacalhau salgado.	66
6.9	Gráfico da condutividade (Mho) em função do tempo em bacalhau salgado. . .	66
6.10	Gráfico da tensão referência (V) em função do tempo em bacalhau salgado. . .	67
6.11	Gráfico da resistência eléctrica (Ohm) em função do tempo em bacalhau salgado.	67
6.12	Gráfico da Condutividade (Mho) em função do tempo em bacalhau salgado. . .	68
6.13	Gráfico da tensão de referência (V) em função do teor de água em bacalhau salgado.	69
6.14	Gráfico da condutividade (Mho) em função do teor de água em bacalhau salgado.	69
6.15	Determinação da expressão que relaciona a tensão medida com o teor de água. .	70
6.16	Gráfico de comparação entre valores experimentais e curva teórica.	71

Lista de Tabelas

2.1	Nome aplicado a cada pino numa ficha RS-232.	30
3.1	Valores da Resistividade e Capacitância medida antes de depois da secagem da amostra.	43

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

O bacalhau tal como o conhecemos é hoje um produto indispensável na mesa dos portugueses sendo este vendido normalmente como bacalhau seco, semi-seco ou cura amarela. Estes diferentes tipos de cura são obtidos alterando as propriedades químicas do bacalhau, nomeadamente a concentração de sal e o teor de água. Esta técnica é utilizada para a cura de alimentos e em particular a cura do bacalhau é usada desde há muito tempo onde este processo era utilizado para a conservação dos alimentos durante um período de tempo maior. Neste processo de cura, os alimentos passam primeiro por um processo de salga, seguindo-se a sua secagem expondo-os ao tempo fazendo com que percam água. Em Portugal estima-se que o consumo do bacalhau seco ultrapassa a tonelada por mês (Dias, 2008). Face ao enorme consumo de bacalhau em Portugal, as indústrias de transformação de bacalhau viram-se na necessidade de otimizar o processo de transformação (cura) começando pela utilização de estufas, acelerando assim o processo de seca do bacalhau permitindo que a secagem ocorra de uma forma mais rápida. Porém, estas estufas possuem alguns problemas, não garantem a seca homogénea entre cada prateleira onde se encontra exposto o bacalhau. O controlo do nível de secagem é também um problema a considerar. Esta não homogeneidade no processo de secagem deve-se sobretudo à velocidade não uniforme entre as prateleiras que faz com que prateleiras com um fluxo de ar maior tenham um tempo de secagem mais curto. O gasto energético que existe para manter a estufa ligada é outro problema encontrado neste tipo de processo. No processo de transformação do bacalhau, o tempo de cura varia essencialmente com o teor de água inicial, teor de sal, tamanho, entre outros. Actualmente existem alguns métodos utilizados para medição das propriedades dos alimentos que, no entanto, possuem algumas limitações e incertezas de medição devido às numerosas variáveis desconhecidas que afectam a medição. O método NDT (non-destructive testing) é um método muito aplicado na determinação das propriedades em vários alimentos e em particular no bacalhau. A grande vantagem deste método é a possibilidade de aquisição de resultados precisos de uma forma rápida sem que haja a destruição da amostra, podendo utilizar este método para controlo em tempo real do produto durante o seu processo de transformação. Porém, as numerosas aplicações já existentes são normalmente na análise espectrométrica tornando este método pouco autónomo necessitando de pessoal qualificado. A utilização de diversos sensores sem fios espalhados por toda a estufa torna assim o processo de secagem do bacalhau mais fácil permitindo a determinação do teor de água do bacalhau com maior rigor que é um factor

importante para a obtenção de um produto de qualidade.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objectivo o desenvolvimento de um sistema de sensores, baseado no baixo custo e baixo consumo energético, para a medição e monitorização do teor água durante o seu processo de secagem. São propostos dois tipos de sensores. O primeiro sensor desenvolvido tem como objectivo monitorizar em tempo real a secagem do bacalhau, tendo assim o nome de sensor de monitorização online. Por outro lado, o segundo sensor é considerado um sensor de medição pontual e tem como objectivo fornecer ao operador a capacidade de medição do teor de água pontualmente, tendo este sensor o nome de sensor de medição pontual.

O conjunto destes dois tipos sensores proporciona à indústria de transformação de bacalhau uma optimização do processo, monitorizando e controlando a secagem do bacalhau para que este não esteja tempo desnecessário dentro da estufa. A medição do teor de água pelo operário de tempos-a-tempos possibilita ainda que durante o processo de secagem, o bacalhau que se encontre exposto em prateleiras onde o tempo de cura é menor seja monitorizado e retirado eliminando assim o problema da não uniformidade da velocidade do ar e contribuindo para a diminuição do tempo de cura do bacalhau que se encontra em prateleiras onde a velocidade do ar é menor.

O sensor de monitorização online do bacalhau terá o auxílio de um software desenvolvido em ambiente *Visual Basic* que permite a monitorização gráfica do processo de secagem do bacalhau permitindo ainda que os dados sejam guardados numa base dados desenvolvida em *MySQL*.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em 7 capítulos, incluindo o presente capítulo da introdução. Os restantes capítulos serão apresentados de seguida.

O capítulo 2, Estado da Arte, encontra-se dividido em seis secções distintas. Na primeira secção é feita uma abordagem histórica sobre o bacalhau e o desenvolvimento do processo de transformação do bacalhau até ao produto que hoje podemos encontrar à venda. Na segunda secção é feita uma análise do estado da arte sobre estudos feitos na análise das propriedades dos alimentos usando a técnica NDT. Na terceira secção são apresentados alguns conceitos teóricos em que se baseiam as técnicas utilizadas actualmente tanto em laboratório como na indústria. Na quarta secção é feita uma abordagem aos processos normalmente utilizados para a secagem de alimentos. Na quinta secção é feita uma síntese dos meios de comunicação com e sem fios existentes no mercado, quais as suas vantagens, desvantagens, quais as arquitecturas que possuem e quais as estruturas de mensagens utilizadas por cada um. Por fim, na secção seis serão apresentadas algumas soluções comerciais que existem actualmente no mercado.

O capítulo 3, Projecto do Sistema de Sensores, apresenta o projecto na sua fase de dimensionamento. Neste capítulo é explicado o sistema proposto, o *hardware* escolhido, a estrutura do *firmware* e *software* desenvolvidos.

O capítulo 4, Construção do Protótipo, descreve as várias fases de construção do protótipo, o *hardware* do sistema de sensores, do sensor de monitorização online, do sensor de medição pontual e da placa de interface com o computador. Serão apresentados os protótipos que

constituem o sistema de sensores. Por fim, é feita a apresentação do *software* desenvolvido para monitorização online.

O capítulo 5, Metodologia experimental, é apresentado a metodologia utilizada para o tratamento dos dados obtidos pelo sensor de monitorização on-line.

O capítulo 6, Resultados Experimentais, são apresentados os resultados dos ensaios experimentais obtidos pelos sistemas implementados.

Por fim, o capítulo 7, Conclusões e discussões, aborda os aspectos interessantes da presente dissertação e as conclusões que se tiraram após a análise do projecto. Serão ainda apresentadas algumas sugestões de melhoria e de trabalhos futuros que possam ser desenvolvidos.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 A matéria-Prima

2.1.1 Apectos Gerais

Bacalhau é o nome que se dá geralmente a peixes do género *Gadus* e que pertence à família *Gadus morhua*. Do ponto de vista técnico o bacalhau é um produto fornecido como peixe salgado e seco, limpo, eviscerado e geralmente sem cabeça. Este pode ser encontrado em mares gelados do Circulo Polar Ártico, em particular na Noruega, Islândia, Rússia, Gronelândia e Canadá.

O bacalhau é um peixe que vive normalmente em grandes profundidades (entre 60 a 500 metros) e que ascende periodicamente apesar de não se aproximar muito da superfície. Apesar dos seus olhos grandes, o bacalhau quase não vê, aliás como acontece com todos os seres vivos de águas profundas. Apesar das suas limitações a nível visual, o bacalhau possui outros mecanismos que fazem dele um excelente caçador. Um dos mecanismos é denominado de barbilho, um apêndice carnudo, táctil e gustativo localizado na mandíbula inferior e que é normalmente usado na detecção de presas. Outro dos mecanismos que o bacalhau possui é uma linha lateral que se estende ao longo do corpo que funciona como sensor e que o informa sobre o que se passa à sua volta.

O bacalhau adapta-se ainda às condições a que vive mudando de cor, para marrons com manchas amarelas próximo da Islândia, avermelhados em zonas costeiras e de algas, esverdeados em zonas de ervas marinhas e cinza claros em zonas com fundos de areia ou rochosas.

Actualmente, a Noruega é o principal produtor de bacalhau do mundo representando 50% do mercado mundial. O bacalhau da Noruega é também conhecido como Bacalhau-do-Atlântico e possui entre outras propriedades uma textura, sabor e um aroma que fazem dele um produto bastante apreciado e utilizado nas mais variedades confecções desde a cozinha tradicional à cozinha gourmet (Boeri, 2012).

2.1.2 Classificação

Actualmente, existem seis tipos diferentes de bacalhau comercializados: Bacalhau *Gadus Morhua*, Bacalhau *Gadus Macrocephalus*, Bacalhau *Gadus Ogac* e os derivados *Saithe*, *Ling* e *Zarbo*.

O Bacalhau *Gadus Morhua*, figura 2.1 é o legítimo bacalhau. É pescado no atlântico norte e considerado o mais nobre bacalhau. Após o processo de salga e seca, este possui uma

coloração palha e uniforme. Após a sua confecção, desfaz-se em lascas possuindo um sabor rico e inconfundível (Boeri, 2012; Lamosa, 2008).

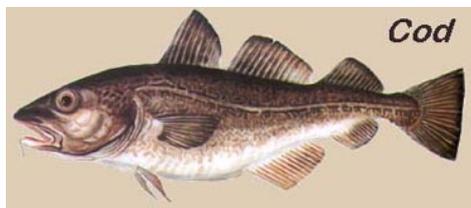


Figura 2.1: Gadus Morhua (Lamosa, 2008).

O Bacalhau *Gadus Macrocephalus*, figura 2.2, ou Bacalhau do Pacífico, é muito semelhante em aspecto com do bacalhau *Gadus Morhua* e como o seu nome indica pode ser encontrado no Pacífico Norte. Este é um peixe que por vezes é vendido como bacalhau *Gadus Morhua* devido à dificuldade em distinguir um do outro. Uma das formas de distinção entre o *Gadus Morhua* e o *Macrocephalus* é observando bem o rabo e as barbatanas. Caso esta possua uma especie de bordado branco nas extremidades é *Macrocephalus Macrocephalus* é um peixe bem mais claro que o *Morhua*, sendo esta outra forma de distinguir estas duas especies (Boeri, 2012; Lamosa, 2008).

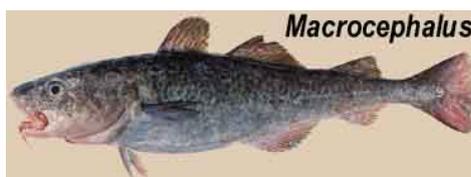


Figura 2.2: Gadus Macrocephalus (Lamosa, 2008).

O bacalhau *Gadus Ogac* é normalmente pescado na Gronelândia é uma espécie que habita em águas costeiras até profundidades de 200 metros. A coloração desta espécie é normalmente escura variando desde o castanho ao prateado. Possui uma aparência alongada e um pedúnculo caudal robusto podendo crescer até a um comprimento de 80 cm. É um peixe que possui uma carne esbranquiçada escamosa, mais firme, mais resistente e menos saborosa do que o bacalhau *Gadus Morhua*, acabando por ser um bacalhau pouco comercializado (Boeri, 2012; Lamosa, 2008).

O *Saithe*, figura 2.3, é um tipo de bacalhau mais escuro e que possui um sabor mais forte. É conhecido como sendo um peixe escamudo e tradicional em Portugal. A sua coloração é esverdeada escura na zona dorsal e amarelada ou esverdeada nas laterais. Após o seu processo de salga e seca o *Saithe* passa a possuir características como barbatana caudal bifurcada com um vértice bem definido, barbatanas ventrais muito pequenas e finas e escamas grossas. A nível comercial esta espécie é uma das mais importantes na Noruega (Boeri, 2012; Lamosa, 2008).

O *Ling*, figura 2.4, possui uma forma mais estreita que os restantes tipos. A sua coloração é castanha avermelhada na zona dorsal e branca na face ventral. As barbatanas possuem uma linha escura com pontas brancas, um maxilar superior maior que o inferior, cabeça pequena e apenas duas barbatanas dorsais (Boeri, 2012; Lamosa, 2008).

O *Zarbo*, figura 2.5, é um peixe pequeno, claro e que é conhecido por peixe bolota também



Figura 2.3: Saithe (Lamosa, 2008).

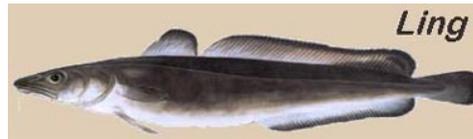


Figura 2.4: Ling (Lamosa, 2008).

muito tradicional em Portugal. São mais pequenos que os restantes tipos e a sua coloração varia desde do castanho avermelhado ao castanho esverdeado. O seu corpo é alongado, possui escamas pequenas e o seu maxilar superior é ligeiramente mais saliente que o inferior (Boeri, 2012; Lamosa, 2008).

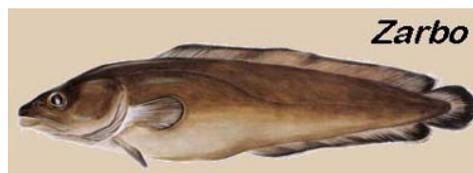


Figura 2.5: Zarbo (Lamosa, 2008).

2.1.3 Portugal e o "fiel amigo"

Portugal descobriu o Bacalhau no século XV na época das grandes navegações numa altura em que precisavam de produtos que suportassem as longas viagens, que por vezes levavam mais de 3 meses de travessia do Atlântico. Apesar das várias tentativas com inúmeros peixes da costa portuguesa, foram encontrar o peixe ideal perto do Pólo Norte. Em 1497 Portugal descobriu o bacalhau, existindo registos de que em 1508 o bacalhau correspondia a 10% do pescado comercializado em Portugal.

Rapidamente o bacalhau foi incorporado nos hábitos alimentares tornando-se nos dias de hoje uma das principais iguarias da cozinha tradicional portuguesa. Os portugueses tornam-se os maiores consumidores de bacalhau do mundo dirigindo-se a ele como "o fiel amigo", dando a ideia do papel importante do bacalhau na alimentação dos portugueses.

No final do século XIX, as embarcações que eram enviadas à pesca do Bacalhau eram de madeira e à vela, sendo a pesca praticada à linha. Tratava-se portanto de uma prática muito trabalhosa e apenas rentável em zonas de grande abundância de peixe. Esta prática era feita a partir de pequenas embarcações de fundo chato a que se dava o nome de dóri.

Actualmente Portugal importa praticamente todo o bacalhau salgado e seco que consome, importando ainda muito bacalhau "verde" que é salgado e curado na indústria portuguesa de transformação de bacalhau (Reis, 2008).

2.1.4 Processamento do bacalhau

Tal como todo o pescado, também o bacalhau é um peixe susceptível ao processo de deterioração existindo inúmeros factores que contribuem para este efeito tal como a rápida acção destrutiva das enzimas, oxidação dos lipídeos, Ph elevado, elevada actividade de água e teores acentuados de substâncias nitrogenadas não proteicas. Tomando este cenário, torna-se importante a adopção de medidas que assegurem a perfeita conservação do bacalhau durante e após a sua captura.

As técnicas de seca, salga e defumação são processos existentes que podem ser usados de forma combinada de modo a produzir uma variedade de produtos, que podem ser conservados durante um longo período de tempo. Estes métodos baseiam-se essencialmente na redução do teor de água do produto.

De acordo com a legislação portuguesa, dependendo do nível do teor de água com que o bacalhau chega ao mercado português este é comercializado nas designações de salgado verde, salgado semi-seco, salgado seco e salgado seco de cura amarela (Boeri, 2012). O bacalhau é um produto que se encontra sangrado, eviscerado, descabeçado, escalado ou filetado e que após passar pelo processo de salga e seca. O bacalhau verde apresenta um teor de sal igual ou superior a 16% (g de NaCl/100g) e um teor de água superior a 51% e igual ou inferior a 58%. O bacalhau salgado semi-seco apresenta um teor de sal igual ou superior a 16% (g de NaCl/100g) e após a sua lavagem e posterior secagem por evaporação natural ou artificial possui um teor de água superior a 47% e igual ou inferior a 51%. O bacalhau salgado seco apresenta um teor de sal igual ou superior a 16% (g de NaCl/100g) e após a sua lavagem e posterior secagem por evaporação natural ou artificial possui um teor de água inferior a 47%. Por fim, o bacalhau salgado seco de cura amarela apresenta um teor de sal igual ou superior a 12% e inferior a 16% (g de NaCl/100g) e após a sua lavagem e posterior secagem por evaporação natural ou artificial possui um teor de água igual ou inferior a 45% e apresenta uma coloração amarela.

Processo de Salga

A salga é um processo antigo usado para conservar este tipo de produto durante um longo período de tempo. Este processo é capaz de assegurar que microorganismos da superfície sejam inibidos e mantidos afastados. Tradicionalmente é usado um elevado nível de sal de modo a reduzir os níveis de água e estabilizar o produto do ponto de vista microbiano exercendo ainda efeitos entre os quais:

- ionização do sal liberta iões de cloreto, tóxicos para os microorganismos;
- redução da solubilidade do oxigénio;
- maior sensibilidade das células ao CO₂;
- interferências na actividade das enzimas proteolíticas;

Habitualmente, a salga dos alimentos pode ser feita a seco ou através de salmoura. Na salga a seco o sal é aplicado sobre a superfície do bacalhau fazendo com que seja retirada a água e por sua vez haja penetração do sal até que a concentração do sal seja uniforme em todo o produto. Por outro lado, o processo de salga pelo método salmoura, é feito colocando o bacalhau submerso numa solução salina podendo ainda auxiliar a penetração através do

uso de injeção de sal de cura. Existe ainda a possibilidade de usar ambos os métodos. Os microorganismos mais problemáticos neste tipo de processo são os hemofílicos. Estas bactérias encontram-se no próprio sal utilizado no processo, e que são responsáveis por produzir nos alimentos o "vermelhão", sendo importante a utilização de sal de boa qualidade (Vaz, 2007).

A velocidade de penetração do sal no bacalhau não depende só da quantidade de sal mas também de outros factores entre os quais:

- **teor de gordura:** quanto menor o teor de gordura, maior a velocidade de penetração do sal no pescado. A troca osmótica processa-se mais lentamente em peixes mais gordurosos. Também a pele pode dificultar a penetração do sal;
- **temperatura:** quanto mais elevada for a temperatura ambiente, dentro de Certos limites, maior será a velocidade de penetração do sal;
- **tamanho ou espessura:** quanto mais fino for o peixe, maior será a velocidade de penetração do sal;

De uma forma geral o bacalhau passa pelas seguintes fases durante o processo:

- Remoção da cabeça, das vísceras e a abertura do corpo, dando ao peixe o aspeto triangular que nos é familiar;
- Lavagem para eliminar resíduos de sangue, em tanques com água do mar, sendo este trabalho totalmente manual;
- Empilhamento do bacalhau com sal grosso, dentro de grandes recipientes, onde ficam semi-submersos na água que a própria carne vai soltando, entre cinco a sete dias;
- Retirada dos peixes dos tanques e, depois de bem escorridos, empilhamento dos mesmos sobre paletes de madeira, intercalados com camadas de sal grosso - dessa vez, menos do que na primeira etapa, onde descansarão por mais 20 dias. Conforme o tamanho e a espessura do peixe, chega-se a trocar o sal mais de uma vez;
- Após estes dois processos de salga, o peixe é desidratado. Em muitos casos, essa etapa de secagem acontece no país comprador;
- Depois de seco, segue para o controlo de qualidade onde é pesado, embalado e exportado em contentores refrigerados entre 2 e 4 graus.

Em suma, todo o processo de transformação do bacalhau é natural não sendo adicionado nenhum produto químico permitindo assim a conservação integral dos nutrientes. A utilização do processo de desidratação antes da secagem em ar quente tem sido sugerido como forma a diminuir o tempo de estadia do bacalhau no secador diminuindo o consumo energético e aumentar a qualidade do produto final (Vaz, 2007; Ponting, 1996).

2.2 Sensores

O controlo, monitorização e detecção de determinadas propriedades ou corpos estranhos nos alimentos é cada vez mais importante nos dias de hoje sendo que a procura de novas

técnicas para o controlo é cada vez mais frequente podendo-se encontrar várias técnicas para o efeito. Seguidamente serão apresentadas algumas dessas técnicas utilizadas para medição de propriedades dos alimentos e que se podem encontrar aplicadas tanto em ambientes de laboratório como industrial.

Um dos problemas gerais de medição das propriedades dos alimentos é a necessidade de destruir a amostra. Outro problema que existe relativamente à configuração dos eléctrodos usados é a dificuldade de manter estes a uma distância constante.

2.2.1 Medição por impedância eléctrica

A medição da impedância eléctrica é uma das técnicas para medir as propriedades dos alimentos. O rácio entre a tensão e a corrente é chamado de impedância e é dependente da frequência. A análise da impedância para várias frequências eléctricas pode ser aplicada em vários campos como por exemplo na detecção de cancros, terapia da doença de alzheimer, ou na indústria alimentar como no processo de fermentação do pão, secagem, medição do teor de sal e humidade em filetes de salmão ou no processamento de iogurtes. A escolha dos eléctrodos e a sua configuração é um dos pontos mais críticos neste tipo de método. Os processos para determinação da composição dos alimentos necessitam de equipamentos caros, métodos destrutivos e de pessoal qualificado. Porém o desenvolvimento de novos métodos não destrutivos tem sido estudado por (Masot et al., 2010) que propõe um método de medição pontual não destrutivo baseado na análise da impedância eléctrica relacionando-a com as propriedades como a concentração de sal em amostras de carne. O eléctrodo coaxial, figura 2.6, é ligado a um equipamento electrónico para determinar a concentração de sal em salmoura e em amostras de carne picada salgada, tem o formato de uma agulha oca que possui no seu interior um fio isolado.

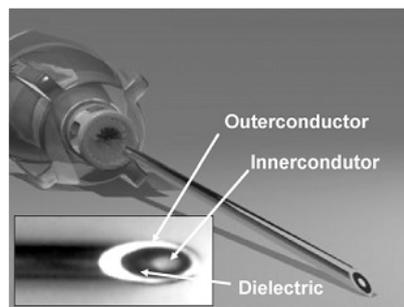


Figura 2.6: Eletrodo coaxial (Masot et al., 2010).

A utilização deste eléctrodo coaxial facilita a sua colocação na amostra e garante a distância constante entre o exterior e o fio isolado. O equipamento proposto gera um sinal sinusoidal com uma frequência que varia de $1Hz$ a $1MHz$ e que é controlado pelo *software* que se encontra instalado no computador. O equipamento recolhe 256 amostragens e envia os valores adquiridos para o computador, que recorrendo às transformadas de Fourier analisa os resultados obtidos. Este processo é então repetido para as várias frequências. A análise dos sinais recebidos para as diferentes frequências levaram a concluir que a correlação entre os dados de impedância e de concentração de sal em amostras de carne salgada é notável principalmente para concentrações de sal até 20% onde é possível obter valores bem discriminados concluindo assim que é possível aplicar este método na indústria alimentar.

As propriedades eléctricas de um material são estritamente importantes tanto para o entendimento do comportamento do material como para a caracterização de novos materiais. A caracterização dos materiais passa por vezes pelo tipo de resposta do material face a uma excitação sofrida pelo sistema. Um desses processos é a análise de impedância para diferentes frequências, ou seja, a caracterização do material através da sua resistividade eléctrica. Esta propriedade é específica para cada tipo de material e existem vários métodos experimentais para a sua determinação (Giroto and Santos, 2002).

Resistividade do material

A resistividade eléctrica é uma propriedade intrínseca do material, sendo independente das dimensões da amostra e representa a "oposição" à passagem das cargas eléctricas.

Na figura 2.7, está representado um esquema de medição da resistividade de um material podendo definir a resistividade entre dois pontos quaisquer de um material isotrópico (Giroto and Santos, 2002).

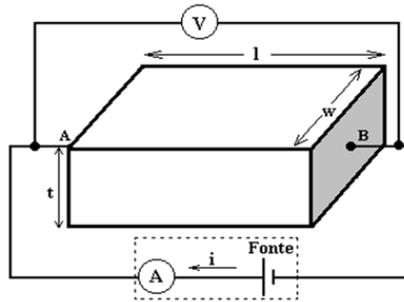


Figura 2.7: Esquema de medição da condutividade eléctrica de um material (Giroto and Santos, 2002).

Aplicando uma diferença de potencial entre esses dois pontos e medindo a corrente eléctrica, a resistência do material sairá da equação 2.1.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

Da expressão podemos verificar que a corrente no interior do material varia linearmente com a tensão aplicada, sendo a resistência eléctrica R a constante de proporcionalidade entre a corrente e a tensão. Caso o interesse de estudo seja num ponto específico da amostra, deve-se focalizar o estudo quanto ao campo eléctrico e à densidade de corrente eléctrica nesse ponto. Num condutor sujeito a acção de um campo eléctrico é possível definir a densidade de corrente pela equação 2.2, onde A é a área da secção transversal do condutor ($A = w \cdot t$).

$$J = \frac{i}{A} \quad (2.2)$$

Já a densidade eléctrica do material relaciona-se com o campo eléctrico através da equação 2.3, onde ρ é a resistividade eléctrica do material.

$$\vec{E} = \rho \cdot \vec{J} \quad (2.3)$$

Partindo das equações 2.3, 2.2 e 2.1 é possível chegar a equação 2.4.

$$\rho = \frac{V \cdot A}{i \cdot l} \quad (2.4)$$

Sendo ρ uma propriedade intrínseca do material, esta pode ser relacionada como sendo o inverso da condutividade ($\sigma = 1/\rho$). Obtém-se então uma expressão para a condutividade expressa pela equação 2.5.

$$\sigma = \frac{i \cdot l}{V \cdot A} \quad (2.5)$$

Métodos para medição da Resistividade

Método dos dois terminais Na figura 2.7, representa o método dos dois terminais. Este método é o mais comum e também o mais simples bastando conhecer as dimensões, a tensão e a corrente que flui através da amostra. Porém este método apenas pode ser utilizado caso a quantidade de partículas electricamente carregadas seja alta ou as variações de temperatura sejam pequenas.

No caso do sólido se comportar como um material ôhmico, pequenas alterações de temperatura farão com que ocorra alterações na condutividade. Neste caso apenas nos é permitido obter uma média dos valores da condutividade eléctrica do material analisado.

Analisando a figura 2.7, verificamos que para analisar a resistividade necessitamos de uma fonte DC que gera um fluxo de corrente através da tensão aplicada. É necessário monitorizar a corrente aplicada e a tensão entre os dois terminais. Para calcular a resistividade do material basta substituir os valores na equação 2.4 (Giroto and Santos, 2002).

Método do electrómetro Este método é baseado no método das duas pontas. É recomendado para medições em materiais com altíssima resistência eléctrica ($10^9\Omega$), o que requer a detecção de valores de corrente eléctrica muito baixa. Existem muitos problemas associados a medições em materiais com altíssima resistência entre as quais: blindagem, interferências, ruídos, defeitos na superfície ou não homogeneidade. A figura 2.8 representa a montagem experimental juntamente com o suporte da amostra e os terminais de conexão entre o electrómetro e a fonte DC.

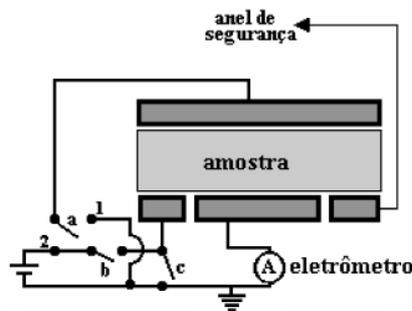


Figura 2.8: Esquema de montagem experimental de um electrómetro.

Nesta montagem, é necessário medir a corrente e usar os valores da tensão aplicada e das dimensões da amostra, sendo possível medir a resistividade de superfície, equação 2.6, ou resistividade, 2.7.

O controlo da medição da resistividade de superfície ou da resistividade, é feito pelos interruptores **a**, **b** e **c**, figura 2.8 (Giroto and Santos, 2002).

$$\rho_s = \frac{(d + g)\pi}{g} \cdot \frac{V}{i} \quad (2.6)$$

$$\rho_s = \frac{(d + g)\pi}{\frac{4}{w}} \cdot \frac{V}{i} \quad (2.7)$$

Método da sonda de quatro terminais Este método é também ele baseado no método dos dois terminais sendo no entanto utilizado para altíssimas impedâncias, para medições rápidas e com precisão nos resultados. Neste método as grandezas corrente e tensão que atravessam a amostra são medidas a partir de sondas dispostas em linha igualmente espaçadas entre si como mostra a figura 2.9, onde está representada a montagem experimental.

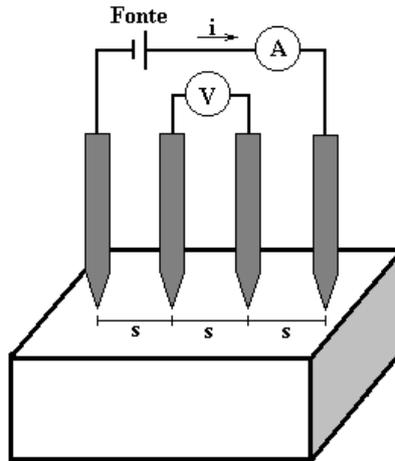


Figura 2.9: Esquema de montagem experimental de uma sonda de quatro terminais.

Este método, sendo o mais utilizado para medições em metais e semicondutores é também o mais confuso em equações matemáticas para o cálculo da resistividade, uma vez que dependendo da configuração da amostra, esta possui uma equação diferente.

Na verdade, se utilizarmos o método dos dois terminais em materiais com altíssima resistência para medir a resistividade da amostra, deveria ser utilizada a equação 2.8, onde R_T é a resistência total, R_c a resistência eléctrica dos contactos, R_{pr} a resistência de propagação da corrente e R_a a resistência da amostra.

$$R_T = \frac{V}{i} + 2 \cdot R_c + 2 \cdot R_{pr} + R_a \quad (2.8)$$

No entanto, tanto R_c como R_{pr} não podem ser calculadas e por consequência R_a não pode ser medida com precisão. Para resolver este problema são utilizadas quatro pontas onde duas

delas servem para transportar a corrente e o outro par para monitorizar a tensão. Apesar do par de terminais que transporta a corrente possuir uma resistência eléctrica, o mesmo não acontece com o par de medição da tensão uma vez que esta medição é feita por um voltímetro. Assim sendo as resistências R_c e R_{pr} que são também chamadas de parasitas são muito pequenas podendo ser desprezadas (Giroto and Santos, 2002).

2.2.2 Medição por ultrassons

A utilização de pulsos ultra-sónicos de baixa intensidade por alguns seres vivos como é o caso dos morcegos ou dos golfinhos possibilitam que estes animais determinem o tamanho, a forma ou a velocidade dos objectos que os rodeiam (McClements, 1995).

Por outro lado, na industria alimentar, os ultra-sons são normalmente usados para obter informações sobre os alimentos como presença de bolhas de ar, rácio de gorduras nas carnes, caracterização de vegetais e frutas, qualidade dos ovos, fendas no queijo, textura dos biscoitos e controlo de fermentação do vinho (Novoa-Diaz et al., 2012). (Novoa-Diaz et al., 2012) utiliza este método para monitorizar o processo de fermentação do vinho. O procedimento experimental utilizado foi dividido em 2 fases, uma fase teórica onde foi usado o software Matlab para simulação dos resultados teóricos e uma fase pratica onde são obtidos valores práticos usando um gerador de sinal, um transdutor ultra-sónico e um osciloscópio como mostra a figura 2.10.

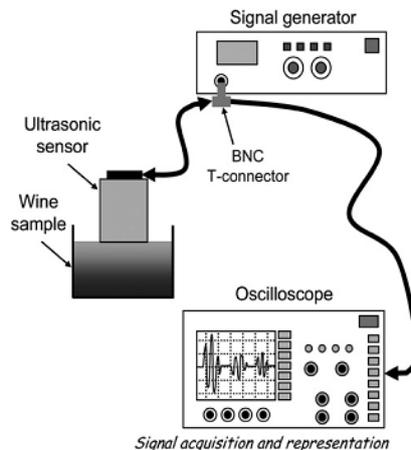


Figura 2.10: Representação esquemática do equipamento de aquisição (Novoa-Diaz et al., 2012).

A técnica utilizada para determinação das propriedades é chamada de pulso-eco, onde o transdutor de ultra-sons emite um sinal que se desloca ao longo do meio. O sinal é então reflectido e detectado pelo transdutor que está ligado a um osciloscópio o que possibilita visualizar a forma de onda reflectida, figura 2.11.

Nesta figura, podemos observar o pulso inicial enviado, a reflexão na superfície de contacto entre a haste condutora e o líquido (eco 1), a restante onda ultra-sónica continua a viagem através do liquido e reflecte na parede do recipiente onde se encontra a amostra, chegando ao transdutor com eco 2. O tempo que passa entre a chegada do eco 1 e do eco 2 ao transdutor é o tempo que a onda ultra-sónica demora a viajar pela amostra com uma distância $2D$.

Na figura 2.12 está representada a variação do tempo de viagem da onda ultra-sónica pela

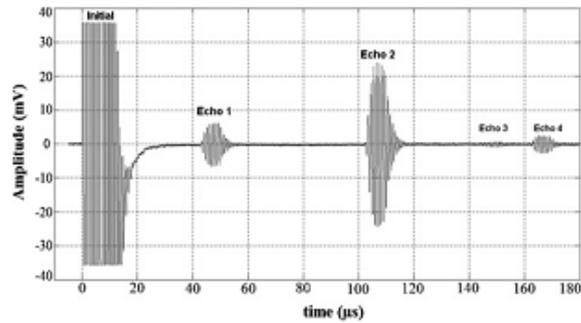


Figura 2.11: Representação gráfica do pulso ultra-sónico enviado e dos ecos recebidos provenientes da reflexão da onda (Novoa-Diaz et al., 2012).

amostra ao longo de 11 dias consecutivos com intervalos de 3 horas para os diferentes métodos de estimação do tempo de viagem.

O autor pôde concluir que o método "*cross-correlation*" apresenta sempre os melhores resultados, o seu custo computacional não é muito elevado e pode ainda ser aplicado à maioria dos sinais directamente e sem a necessidade de usar um filtro antes. O método de "*zero-crossing Interp*" fornece-nos um bom resultado entre a precisão da medição e o seu baixo custo computacional e simplicidade.

O método "*Phase-Shift*" apresenta bons resultados em todas as situações, é um método robusto, proporciona excelentes níveis de desempenho e uma maior eficácia quando na presença de anomalias imprevistas mas no entanto o custo computacional é extremamente elevado fazendo ainda que seja difícil de usar equipamentos electrónicos de baixo custo portáteis para monitorização *on-line* de processos alimentares. Esta limitação não é no entanto uma limitação para o uso deste método para medições em laboratórios.

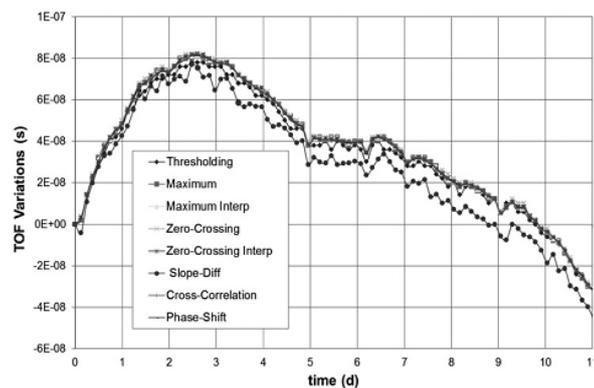


Figura 2.12: Representação gráfica dos valores utilizando os vários métodos para aquisição do tempo de viagem do ultra-sons (Novoa-Diaz et al., 2012).

Uma das grandes limitações dos ultra-sons é não fazer medições através do ar. A reflexão da onda na superfície depende da diferença da impedância acústica entre o ar e a amostra. uma vez que esta impedância é muito diferente, a maior parte da energia é reflectida em vez de passar para o gás.

Em (Saggin and Coupland, 2001), é feita a demonstração de um novo aparelho de testes

desenvolvido que tem a capacidade de fazer medições através de uma coluna de ar. Esta abordagem pode ser utilizada para medir as propriedades ultra-sónicas dos produtos alimentares.

A figura 2.13 representa o diagrama esquemático dos tempos de transmissão do transdutor 1 e 2 pela amostra. O sensor ultra-sónico converte o sinal eléctrico em pulsos ultra-sónicos que se propaga através do ar e é detectado pelo transdutor 2 t_1 segundos. Caso haja uma amostra entre os dois transdutores, uma parte do sinal enviado pelo transdutor 1 é reflectido na amostra e é detectado pelo transdutor 1 t_2 segundos depois. A operação é então repetida para o transdutor 2.

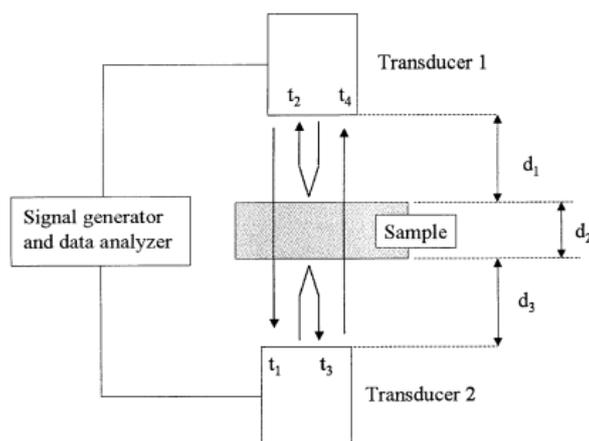


Figura 2.13: representação esquemática do equipamento (Saggin and Coupland, 2001).

Neste artigo foi possível concluir que a irregularidade apresentada no corte da amostra produziu um grande desvio padrão na medição de ultra-sons. A velocidade ultra-sónica medida pelos transdutores 1 e 2, mostraram para todos os grupos de alimentos ser dependente da espessura destes. Esta técnica pode ser aplicada na indústria alimentar para medições automáticas da espessura, como por exemplo em fatias de carne e permite ainda que esta técnica possa competir com outros sensores sem contacto utilizados na indústria alimentar tais como análise de imagem óptica, espectroscopia do infravermelho, raio-X ou ressonância magnética.

Os ultra-sons de baixa intensidade possuem tipicamente uma potência abaixo de $1W/cm^2$. Esta potência é tão baixa que não causa qualquer alteração física ou química nas propriedades da amostra. Normalmente os ultra-sons de baixa intensidade são aplicados em análises analíticas para retirar informações sobre as propriedades físico-químicas, composição, estrutura, estado físico ou taxa de fluxo líquidos.

Na indústria alimentar, para medir as propriedades dos alimentos, existem três parâmetros a ter em conta. Estes três parâmetros podem ser relacionadas com as propriedades físico-químicas dos alimentos e são a velocidade ultra-sónica, o coeficiente de atenuação e a impedância acústica (McClements, 1995).

Velocidade ultra-sónica

A velocidade ultra-sónica, equação 2.9, onde c é a velocidade a que as ondas viajam através do material e que depende do modulo de elasticidade E e da densidade ρ do material, a velocidade do ultra-sons será diferente dependendo da densidade do material. Por sua vez, a densidade depende da estrutura, composição e estado físico em que o material se encontra.

É possível determinar a velocidade ultra-sónica de duas formas distintas, uma, conhecendo o comprimento de onda e a frequência e a outra sabendo o tempo que leva a onda a viajar e a distancia que viajou (McClements, 1995).

$$\frac{1}{c^2} = \frac{\rho}{E} \quad (2.9)$$

Coefficiente de atenuação

O coeficiente de atenuação α , é a medição da diferença entre a amplitude da onda de ultra-sons que é enviada e a amplitude da onda que é reflectida. A causa dessa perda de amplitude deve-se normalmente à absorção e "espalhamento" da onda ultra-sónica. A absorção é um fenómeno físico que converte as ondas em calor. Esta energia convertida é armazenada mas não é detectada uma vez que a direcção de propagação e fase são alteradas. Por outro lado o fenómeno de "espalhamento" é causado pela falta de heterogeneidade do material, provocando uma descontinuidade da onda reflectida.

A medição da atenuação da amplitude da onda de ultra-sons poderá dar-nos informações sobre as propriedades físico-químicas dos alimentos tais como a concentração, viscosidade ou microestrutura.

A equação 2.10 estabelece a relação entre a amplitude e o coeficiente de atenuação onde, A_0 é a amplitude inicial da onda de ultra-sons que viaja uma distância x . A é a amplitude da onda reflectida e o coeficiente de atenuação α , pode ser determinado conhecendo as variáveis A_0 , A e x (McClements, 1995).

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \quad (2.10)$$

Impedância Acústica

Este fenómeno deve-se à incidência da onda de ultra-sons na interface entre dois materiais, sendo parte da onda transmitida e outra parte da onda reflectida. O rácio entre a amplitude da onda reflectida e da onda incidente é chamado de coeficiente de reflexão.

No caso deste coeficiente de reflexão ser muito pequeno significa que os materiais têm impedâncias acústicas muito próximas. Por outro lado, no caso do coeficiente de reflexão ser muito elevado significa que os materiais têm impedâncias acústicas muito diferentes.

Tal como a velocidade de ultra-sons ou no coeficiente de atenuação, a impedância acústica é também uma característica física presente nos alimentos e que depende da composição e da microestrutura (McClements, 1995).

Técnicas de medição

Os equipamentos ultra-sónicos podem utilizar ondas pulsadas ou ondas contínuas de ultra-sons. A medição por ultra-sons utilizando a emissão de ondas contínuas é utilizada normalmente em laboratórios de investigação e permitem medições precisas.

Por outro lado, a medição por ultra-sons utilizando ondas pulsadas é a mais utilizada uma vez que a sua utilização é fácil, as medições são rápidas, não invasivas, não destrutivas, podendo inda ser automatizada. O método de medição denominado de pulso-eco usa ondas pulsadas, consiste num gerador de impulsos responsável por produzir um impulso eléctrico com

uma determinada frequência, duração e amplitude, num transdutor responsável por enviar o pulso ultra-sónico, numa célula de medição que contém a amostra, e num osciloscópio para medição do sinal recebido.

O impulso eléctrico produzido pelo gerador é enviado para o transdutor que transforma esse impulso em pulsos ultra-sónicos que se propagam na amostra até atingir a parede mais distante da célula de medição. A onda é então reflectida e volta para o transdutor que funciona agora como receptor e transforma a onda ultra-sónica reflectida num impulso eléctrico que é exibido no osciloscópio.

Uma vez que metade do pulso enviado é transmitido enquanto a outra parte é reflectida nas paredes das células, uma serie de ecos serão observados no osciloscópio. Utilizando o tempo que dois ecos consecutivos levam a viajar duas vezes a distância da amostra, é possível calcular a velocidade, 2.11, o coeficiente de atenuação, 2.12, e da impedância acústica, 2.13. (McClements, 1995)

$$c = 2 \frac{d}{t} \quad (2.11)$$

$$A = A_0 e^{-\alpha d} \quad (2.12)$$

$$R = \frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.13)$$

Medição da espessura

Os dispositivos que estão comercialmente disponíveis e que servem para medir a espessura dos materiais, fazem-no com precisão utilizando um transdutor que é apertado contra o lado do material a ser analisado, é emitido um pulso ultra-sónico. O tempo que demora esse pulso a viajar é medido e sabendo a velocidade de ultra-sons no material é possível encontrar a distância que o pulso percorreu.

A vantagem desta técnica em relação às técnicas usuais é a possibilidade de utilização de apenas uma das superfícies da amostra para proceder à medição, sendo possível determinar a espessura em materiais onde com os métodos convencionais seria difícil como por exemplo, em tubos, camadas de chocolate, cascas de ovo, etc. (McClements, 1995).

Detecção de materiais estranhos

Materiais como vidro, metal ou madeira que frequentemente contaminam os alimentos durante o seu processamento são indesejáveis sendo importante haver métodos capazes de os detectar. Grandes partes dos alimentos são opacos dificultando o uso de métodos baseados na transmissão de luz. Por outro lado, os alimentos são acusticamente transparentes sendo possível usar o método por ultra-sons.

Quando um pulso ultra-sónico é transmitido para a amostra, este é reflectido por várias superfícies. Admitindo que existe uma grande diferença da impedância acústica entre os materiais a detectar (vidro, metal ou madeira) e o alimento, pode-se facilmente detectar medindo o intervalo de tempo existente entre o pulso que é reflectido pelo material até ao pulso reflectido pela superfície que contém amostra. Ao movimentar o transdutor é ainda possível determinar o tamanho e a localização do objeto (McClements, 1995).

Determinação da composição

Ultra-sons tem um grande potencial para análise composição dos alimentos. A aplicação de ultra-sons para a determinação da composição dos alimentos depende significativamente das mudanças das propriedades ultra-sónicas. Por exemplo, a velocidade ultra-sons pode ser usada para determinar a concentração de açúcar, onde ao aumento de $4m/s$ na velocidade de ultra-sons há um incremento de 1% na concentração de açúcar. Pode ser usado para determinar a concentração de açúcar em sumos de fruta e bebidas (McClements, 1995).

Vantagens e limitações

As principais vantagens do ultra-sons são: a sua precisão, não ser destrutivo, não ser invasivo, poder ser aplicado em sistemas densos e opacos, e pode ser facilmente adaptado em medições *on-line* para monitorização de operações de processamento de alimentos.

A maior desvantagem do uso de ultra-sons reside na atenuação do sinal que pequenas bolhas de gás na amostra provocam no sinal que o transdutor emite fazendo com que a onda não se propague através da amostra. Outro problema é a grande informação das propriedades termo físicas que o material contém e relacioná-las com as propriedades ultra-sónicas. A análise teórica dos valores dos sistemas conta com muitas variáveis desconhecidas sendo por isso limitado. É possível ainda utilizar o ultra-sons de um modo empírico, através da preparação de uma curva de calibração de algum parâmetro mensurável e relacioná-la com a propriedade física que nos interessa.

2.2.3 Medição por infravermelhos

A utilização da espectroscopia do infravermelho é uma técnica rápida e não destrutiva na medição da composição de produtos alimentares. Este método começou por ser utilizado para determinar o teor de proteínas disponível no trigo no início da década de 70 no Japão. Em 1994 para determinação do teor de açúcar nos pêssegos e laranjas. Inicialmente o método apresentava uma fraca correlação nos resultados, levando a que em 1995 fosse modificado. Hoje é possível encontrar este método para medição dos níveis de sólidos solúveis pode ser feito em vários alimentos como por exemplo em kiwis, pêssegos ou nectarinas, sendo esta medição baseada na análise espectroscópica do infravermelho (JHA and MATSUOKA, 2000).

(Downey, 1996), procurou conhecer os níveis de teor de humidade e de óleo presente no salmão uma vez que estes factores são responsáveis pelo sabor rico deste produto. Dada a forma irregular e as dimensões do salmão, a opção mais prática foi o uso uma sonda de fibra óptica para a captação do espectro ao longo do peixe em zonas previamente marcadas e igualmente espaçadas entre si.

O equipamento utilizado foi fabricado pela corporação CEM (*PO Box200, Mathews, NC 28106, EUA*). A análise do teor de humidade foi levada a cabo pelo CEMAVAC-80 e do óleo FES-80. Os registos dos espectros foram feitos pelo sistema *NIR 6500 (NIR system, Maryland, EUA)*. O software responsável pela captação e manipulação do espectro foi fornecido pelo fabricante do equipamento.

Neste artigo o autor utiliza três modelos matemáticos para calibração dos sensores, sendo eles o SMLR (stepwise multiple linear regression), o PLS (partial least squares) e o MPLS (modified partial least squares), chegando à conclusão que o modelo matemático PLS foi o que apresentou melhores resultados e ainda que:

- os melhores resultados apresentados tanto no teor de óleo com no teor de umidade presente no salmão foram obtidos na zona dorsal;
- Os coeficientes de correlação da a umidade e do óleo foram mais baixos para zona dorsal que para a zona ventral do salmão. Este facto deve-se directamente ao nível de concentração da substancia a analisar seja mais baixo na zona dorsal;
- No uso do método PLS, o uso da primeira derivada produz bons resultados.

Por fim, com os resultados obtidos o autor conclui que o sistema é incapaz de detectar e controlar de uma forma precisa os níveis de gordura no salmão, sendo num entanto capaz de detectar baixos e altos níveis de gordura. Em (Byrne et al., 1998), é mostrada a capacidade da espectroscopia baseado na reflexão do infravermelho em avaliar a força de corte de *Warner-Bratzler (WBSF)*, a textura do bife. O espectro proveniente da reflectância do infravermelho foi analisado num intervalo de comprimento de onda entre $780nm$ e $1098nm$, usando um sistema de digitalização espectrofotómetro *NIRSystem 6500*, o mesmo que em (Downey, 1996). Seguidamente foram testadas várias amostras representando graficamente a variação percentual de cada uma das variáveis em estudo, figura 2.14.

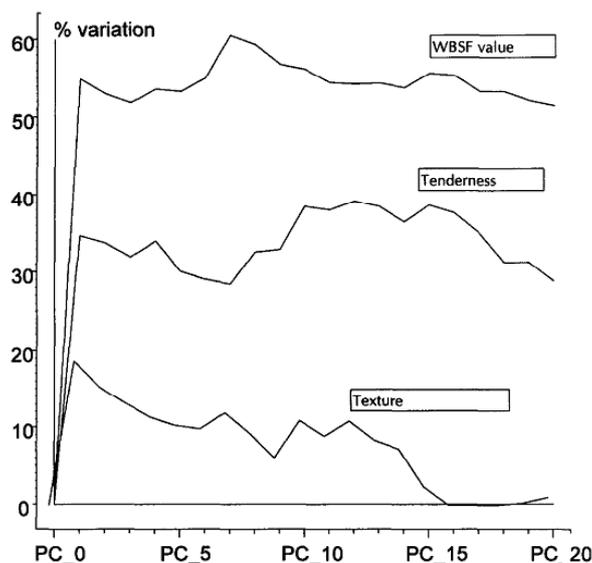


Figura 2.14: gráfico da variação em percentagem das características das amostras de carne das várias amostras (Byrne et al., 1998).

O autor conclui que a correlação que existe entre a qualidade do bife e os dados recolhidos do espectro do infravermelho provam que esta é uma técnica com potencial de produzir modelos úteis principalmente no que diz respeito à medição da força de corte de *Warner-Bratzler*.

Em (Kamruzzaman et al., 2012), propôs construir modelos baseados no método de regressão mínimos quadrados parciais (PLSR) relativos à composição química da carne de cordeiro, identificar e caracterizar os comprimentos de onda desenvolvendo um sistema *online* como forma de prever a composição química, e desenvolver um algoritmo de processamento de imagens 3D como recurso ao comprimento de onda, gerando imagens para visualização dos parâmetros da composição química testados na carne de cordeiro.

Este sistema de aquisição de imagens percorre uma gama de comprimento de onda num intervalo entre 900nm e 1700nm e possui um espectrógrafo (*Im.Spector N17E, Specim, Spectral Imaging Ltd., Finland*), uma câmara CCD (*Xeva 992, Xenics Infrared Solutions, Belgium*), uma unidade de iluminação e um computador com software de aquisição de imagem e controlo da câmara (*SpectralCube, Spectral Imaging Ltd., Finland*).

No estudo feito concluiu-se que nas amostras testadas o teor de água variou entre 69,45 e 76,35%, o teor de gordura variou entre 0,74 e 7,62% e por fim o teor de proteínas variou entre 21,06 e 24,05%.

Na figura 2.15 são mostrados alguns exemplos de imagens de amostras e as sua representações gráficas da concentração de água e gordura, onde a intensidade da cor representa o nível de intensidade. Apesar de ser difícil de diferenciar a distribuição de água e de gordura pelo método de imagem simples ou através da avaliação visual como é mostrado nas imagens RGB, a distribuição da concentração do teor de água e gordura podem ser facilmente distinguidas nas imagens produzidas, sendo ainda bastante claro que as variações de concentração de água e gordura variam de amostra para amostra.

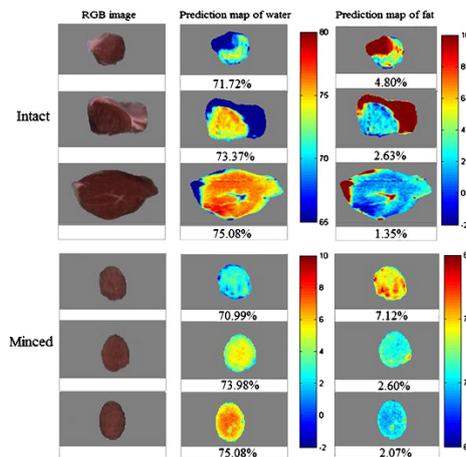


Figura 2.15: Amostras de carne intacta e picada e representação gráfica da distribuição da concentração de água e gordura.

A figura 2.16 representa a distribuição de proteínas na amostra, onde é perfeitamente distinguível nas imagens químicas as zonas de baixo e alto teor de proteínas.

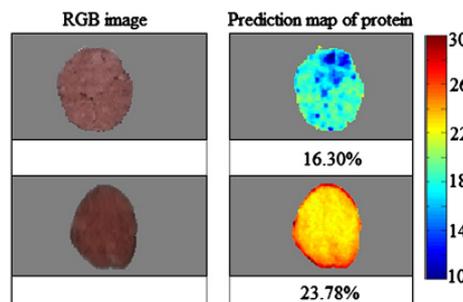


Figura 2.16: Amostras de carne intacta e picada e representação gráfica da distribuição da concentração de água e gordura (Kamruzzaman et al., 2012).

Por fim, o autor concluiu que a utilização de NIR para a determinação da composição da carne de cordeiro é uma técnica válida, sendo que seis comprimentos de onda dentro da gama espectral foram considerados mais relevantes na determinação do teor de água, gordura e proteínas (960, 1057, 1131, 1211, 1308 e 1394 nm para a água e gordura, e 1008, 1211, 1315, 1445, 1562 e 1649 nm para as proteínas).

2.2.4 Medição por ressonância magnética

Esta técnica conhecida como ressonância magnética nuclear ou apenas como ressonância magnética, baseia-se na absorção de energia magnética por núcleos colocados num campo magnético alternado.

A quantidade de energia que é absorvida pelos núcleos é directamente proporcional ao número de núcleos na amostra.

Existem muitas aplicações na agricultura, como a determinação do teor de humidade ou de óleo. Porém muitas vezes a resposta desta técnica não é clara e coloca problemas, especialmente quando outros constituintes estão presentes no material. Além da relação estabelecida entre a humidade e a produção da ressonância magnética, têm sido desenvolvidos vários outros métodos para determinação da qualidade de produtos alimentares sem os destruir. Actualmente existem muitos produtos alimentares que são comercializados em forma de congelados. Para aumentar a vida útil é necessário melhorar o processo de congelamento, que pode provocar mudanças nas características do alimento.

É possível monitorizar o congelamento pelo método de ressonância magnética uma vez que a formação de gelo reduz o sinal de ressonância permitindo avaliar assim tempos de congelamento e a estrutura do alimento.

Em 1999 foi desenvolvido, construído e testado um sensor de ressonância magnética para avaliação de qualidade de forma *on-line*. O dispositivo consiste num íman, uma bobine de superfície e numa bobine com o mesmo diâmetro da imagem acoplado a um sistema transportador. Este sistema foi usado para retirar os espectros de abacate com o objectivo de medir a proporção de óleo/água e em imagens de ressonância de cerejas frescas com o objectivo de encontrar a presença de bolsas de ar no seu interior (JHA and MATSUOKA, 2000).

2.2.5 Medição por capacitância.

A capacitância eléctrica é utilizada em alguns sensores para caracterizar determinadas grandezas variáveis no tempo. A sua construção figura 2.17, é definida como sendo a capacitância entre dois condutores quaisquer imersos em um meio dieléctrico. Esta definição pode ainda ser traduzida pela equação 2.14, onde Q é o módulo da carga eléctrica total de cada condutor e V_0 é a diferença de potencial eléctrico entre os condutores.

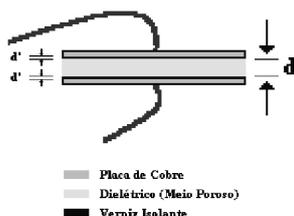


Figura 2.17: Representação construtiva de um sensor capacitivo.

$$C = \frac{Q}{V_0} \quad (2.14)$$

No entanto, variáveis como a distância entre condutores ou o meio dieléctrico não está presente na formula. Assim, supondo que as placas condutoras possuem uma área infinita e estão extremamente próximas é possível considerar o campo eléctrico entre elas constante, equação 2.15, onde E é o módulo do campo magnético entre as placas paralelas..

$$V_0 = E \cdot d \quad (2.15)$$

Pela lei de Gauss é possível relacionar o fluxo de campo eléctrico que passa através da superfície fechada com a carga eléctrica que existe dentro do volume limitado por essa superfície e que pode ser definida pela equação 2.16, onde ϵ_0 é a permissibilidade eléctrica no vácuo.

$$Q = \epsilon_0 \cdot E \cdot A \quad (2.16)$$

Recorrendo as equações 2.14, 2.15 e 2.16 é possível chegar a uma equação 2.17 que relaciona a capacitância com a área e a distância entre placas condutoras.

$$C = \epsilon \cdot \left(\frac{A}{d}\right) \quad (2.17)$$

Para considerar qualquer outro meio dieléctrico que possa existir entre as placas condutoras, é possível definir a permissibilidade eléctrica como $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_R$, onde ϵ_R é a grandeza que depende apenas do meio dieléctrico. É possível portanto observar que a capacitância depende unicamente das características dieléctricas do meio, da geometria dos condutores e a distância entre estes.

2.3 Sistemas de Secagem

Na industria a procura por métodos de secagem de produtos alimentares tem-se tornado importante sendo este um processo que prepara o produto para o seu armazenamento, fortalecendo a sua qualidade durante um período de tempo mais elevado de conservação uma vez que este processo baixa o teor de água, diminui a actividade físico-química e inibe as actividades microbianas associadas ao produto. Assim sendo, o correcto procedimento na secagem dos produtos alimentares é importante para a obtenção de um produto de qualidade. Contudo, o processo de secagem pode alterar as características sensoriais e o valor nutricional dos alimentos sendo que estas propriedades dependem das condições utilizadas no processo de secagem e das características do próprio produto.

2.3.1 Princípios básicos de secagem

Segundo (Cassini, 2004) , quando um sólido húmido é submetido à secagem, existem dois processos que ocorrem em simultâneo: transferência de energia sobre forma de calor (na maior

parte das vezes) do meio ambiente para evaporar a água que se encontra à superfície do produto e a transferência de água do interior para a superfície do sólido para a subsequente evaporação pelo processo anterior. Assim sendo, este processo combina a transferência de calor e de massa, obtendo como resultado a separação parcial entre a matéria sólida e a água contida no produto. A secagem é um processo que usa o ar como meio de condução do calor e transferência de água entre o sólido e a atmosfera. Este processo baseia-se na propriedade pelo qual o aumento da temperatura do ar faz com que haja uma diminuição de humidade tornando-o capaz de absorver a humidade disponível na produto a secar, acabando esta por acompanhar o aumento do teor de humidade do ar. Ou seja, com a perda de massa do produto devido à evaporação de água existe um aumento de humidade do ar. O fornecimento de calor ao produto pelo ar possibilita ainda que haja migração da água desde o interior até à superfície.

Segundo (Carneiro, 2003), o processo de secagem baseado nos conceitos anteriores apresentados pode ser dividido em três períodos de acordo com a figura 2.18.

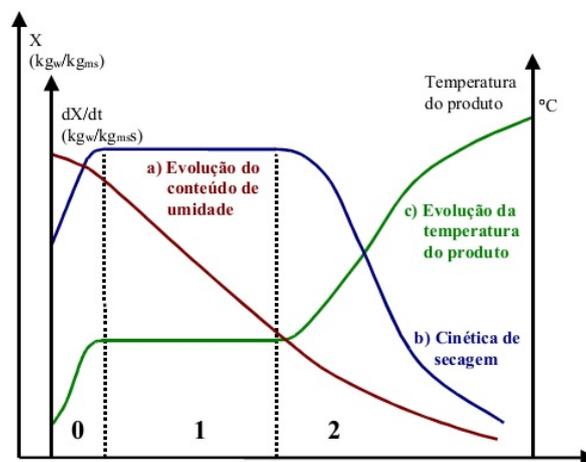


Figura 2.18: Curva típica de secagem (Carneiro, 2003).

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante o tempo de secagem. A curva (b) representa a velocidade de secagem do produto ao longo do tempo. Esta curva corresponde a variação do teor de água ao longo do tempo, $\partial X/\partial t$. A curva (c) representa a variação da temperatura do produto ao longo do tempo de secagem. No início da secagem representado pelo período 0, é possível visualizar uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. A temperatura sobe até atingir um valor em que o calor transferido é suficiente para evaporar a água contida na superfície do produto. Seguidamente, o período 1 representa a altura em que a secagem é constante, uma vez que durante este período a transferência de massa e calor são equivalentes. Enquanto houver água suficiente na superfície para acompanhar a evaporação estamos dentro do período 1. A duração deste período depende apenas das condições do ar, velocidade, temperatura e teor de água. Por fim, no período 2, a velocidade de secagem é decrescente uma vez que a quantidade de água à superfície é menor havendo assim transferência de massa do interior do produto até à superfície. Devido a este fenómeno o tempo de secagem aumenta. Durante este período, a temperatura do produto aumenta até atingir a temperatura do ar. Quando o produto atinge o teor de água de equilíbrio em relação ao ar o processo de transferência de massa termina.

No processo de secagem o transporte de água pode ser feito de seis formas distintas (Boeri, 2012):

- difusão líquida, devido ao gradiente de concentração;
- difusão de vapor, devido ao gradiente de pressão parcial de vapor;
- fluxo de líquido e de vapor, devido a diferença de pressão externa, contracção, alta temperatura e capilaridade;
- escoamento por efusão, que ocorre quando o caminho livre das moléculas de vapor for igual ao diâmetro dos poros. Este mecanismo só é importante para condições de alto vácuo;
- movimento de líquido devido à força gravitacional, que não influi significativamente na secagem de alimentos;
- difusão superficial, que não é levada em consideração na maioria das teorias existentes, pelo fato de ser praticamente desprezável.

Para a secagem de pescado existem três processos típicos que podem ser utilizados (Doe, 1998):

- ar ou secagem de contacto, onde o calor é transferido desde o ar ou desde uma superfície aquecida, usando-se uma movimentação do ar sobre a superfície do peixe para retirar a água;
- a secagem a vácuo, onde a principal vantagem é obter uma grande velocidade de evaporação de água desde o peixe a uma pressão reduzida, usando a condução ou radiação para evaporar a água a qual é retirada com uma bomba de vácuo;
- a secagem por congelamento realiza-se com aplicações de pressões muito baixas por bombas de vácuo altamente eficientes numa câmara selada que contém os peixes. Depois de entrar em contacto com as superfícies congeladas das placas e a pressões bem reduzidas, abaixo de $0,64kPa$, o gelo formado é sublimado e o vapor é removido pela bomba de vácuo.

2.3.2 Factores que influenciam o processo de secagem

Segundo (Heldmann, 2000), o processo de secagem é influenciado por diversos factores e propriedades relacionados com as condições do processo de secagem ou da natureza do produto. Em relação à natureza do produto podemos encontrar entre outras propriedades algumas que se destacam na influencia do processo de secagem, tais como:

- **Teor de água do produto:** Nos produtos frescos (antes de ser aplicada a salga), a concentração de água no músculo é da ordem de 79 a 85% (base húmida). Nos produtos salgados destinados à secagem, o seu conteúdo de água está em torno de 55%, tendo a matéria-prima fresca perdido uma quantidade substancial de teor de água em função do seu tratamento com sal. O conteúdo de água do músculo do peixe após a salga tem

grande importância no processo de secagem, considerando-se que, se o processo de salga não for tecnicamente adequado, o conteúdo de água residual do músculo será elevado e, portanto, influenciará o tempo de secagem.

- **Tamanho e forma do peixe:** quanto mais espesso for o músculo do peixe, maior será o seu tempo de secagem. Isto deve-se ao fato de que, durante a secagem, a água a ser evaporada tem que percorrer um caminho desde o centro até a superfície, caminho este que será menor nos peixes delgados.
- **Teor de gordura:** a gordura do peixe retarda a difusão da água, o que torna a secagem do pescado gordo mais demorada do que a de um pescado magro da mesma espessura.
- **Superfície:** a superfície do pescado, as suas dimensões e a sua massa têm influência na secagem.
- **Espaçamento da matéria-prima no secador:** para uma secagem uniforme, os peixes devem ser dispostos no secador de forma a que não fiquem uns sobre os outros.

No que diz respeito às condições termodinâmicas do processo, os fatores mais importantes que se destacam na secagem do bacalhau são a temperatura, o teor de água e a velocidade do ar circundante, que são as grandes variáveis a controlar neste processo:

- **Temperatura:** quanto maior a temperatura do ar de secagem, mais rápido ocorre o processo. Uma maior temperatura diminui a humidade relativa do ar de secagem, aumentando o gradiente de humidade entre a superfície do produto e o ar. Além disso, a temperatura influi diretamente na migração da humidade interna, pois quanto mais quente o ar, maior é a migração das moléculas de água do interior do produto;
- **Velocidade do ar:** um acréscimo na velocidade de escoamento do ar ocasiona um aumento na taxa de transferência de massa, ou seja, ela influencia a primeira etapa do processo de secagem, quando se dá a transferência do teor de água da superfície do produto para o ar de secagem. Já na segunda etapa do processo de secagem, quando ocorre a migração interna de humidade, a velocidade do ar, por ser um fator externo, não tem influência significativa;
- **Humidade relativa:** na secagem como um todo, este parâmetro é fator determinante na humidade de equilíbrio, ou seja, no teor de humidade atingido pelo produto ao final do processo. Adicionalmente, quanto maior for a diferença de pressão parcial do vapor entre a atmosfera e a superfície, maior será a taxa de secagem.

2.3.3 Diferentes tipos de secagem

Actualmente existem duas formas de secagem do bacalhau: a secagem de forma natural e a secagem artificial. Ambos os processos têm o objectivo de retirar água do produto.

No processo de secagem natural, figura 2.19, após a passagem da matéria prima pela salga, esta é colocada ao ar livre para que a água em excesso se evapora-se do produto. Esta técnica é a mais antiga das técnicas de preservação dos alimentos sendo responsável pelo desenvolvimento da pesca.

Durante este processo de secagem a matéria prima é então exposta ao vento e ao sol durante o dia e recolhido apenas ao final do dia sendo este processo repetido até que a matéria



Figura 2.19: Secagem Natural do Bacalhau.

prima presente o teor de água desejado. Este processo é demorado e sem qualquer controlo uma vez que o tempo de secagem depende das condições climáticas, apresentando apenas a vantagem de não ser gasto qualquer tipo de energia durante a sua secagem.

Por outro lado, a secagem artificial, figura 2.20, que veio substituir a secagem natural apresenta mais vantagens entre as quais a independência das condições climáticas, o isolamento da matéria-prima com o meio ambiente evitando assim a contaminação da matéria-prima, entre outros.



Figura 2.20: Secagem Natural do Bacalhau.

O processo de secagem artificial consiste na obtenção de uma velocidade de evaporação da água seja apenas ligeiramente superior à velocidade de difusão no interior da matéria-prima. Ou seja, a velocidade do ar do meio envolvente à matéria-prima não pode ser muito pequena correndo o risco da evaporação da água ser mais lenta que na secagem natural, e não pode ser também muito excessiva correndo o risco da haver cristalização do sal na superfície impedindo a água do seu interior saia.

O bacalhau é então colocado em tabuleiros que são colocados posteriormente em estufas de secagem permanecendo entre 36 a 120 horas dependendo da sua espessura e tamanho. Durante este tempo o bacalhau sofre períodos de repouso com o objectivo de estabilizar os níveis de água no seu interior.

2.4 Sistemas de comunicação

Atualmente na indústria é possível encontrar vários sistemas de comunicação com ou sem fios que permitem a troca entre dispositivos eletrónicos sendo que os protocolos mais conhecidos são o RS-232, RS-485, TCP/IP, Wi-Fi, *bluetooth* e *ZigBee*.

2.4.1 O RS-232

O protocolo RS-232, figura 2.21 é o protocolo de comunicação mais antigo e permite estabelecer a comunicação entre dois aparelhos recorrendo a uma ligação física através de um cabo com vários pinos de ligação, tabela 2.1.(Steve MacKay, 2004)

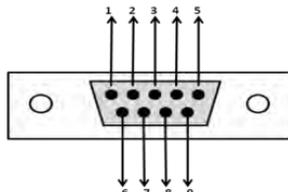


Figura 2.21: Esquema dos pinos de uma ficha RS-232.

Tabela 2.1: Nome aplicado a cada pino numa ficha RS-232.

Pino	Sinal	Pino	Sinal
1	Detetor de dados a enviar	6	Conjunto de dados pronto
2	Recepção de Dados	7	Pronto a enviar
3	Transmissão de Dados	8	Envio de Dados
4	Terminal de Dados pronto	9	Indicador de Telefone
5	Terra		

O protocolo RS-232 prevê dois tipos de comunicação, síncrona onde o emissor e o receptor possuem o mesmo sinal de relógio com o objectivo de determinar qual o instante em quem se efectua a transição de sinal (0 para 1 ou vice versa), e assíncrona onde o sinal gerado pelo emissor depende apenas do seu relógio interno.

Na figura 2.22 mostra a estrutura de dados usada numa transmissão RS-232 constituída por um "*Start Bit*" que corresponde à aplicação de uma tensão positiva durante um intervalo de tempo chamado "*bit time*". Depois do bit correspondente ao "*Start Bit*" são transmitidos um conjunto de bits que são chamados de "*Data bits*" e correspondem à mensagem propriamente dita que pode ser constituída por 5, 7 ou 8 *bits*. O "*Parity Bit*" corresponde ao *bit* de paridade que é utilizado assumindo o valor de 1 ou 0 de forma a que o numero de *bits* a 1 que são enviados na palavra série seja par ou impar conforme o pretendido. Por fim, para finalizar a transmissão da palavra serie é enviado um bit denominado de "*Stop Bit*" e corresponde a uma tensão negativa aplicada durante 1, $1\frac{1}{2}$ ou 2 "*bit time*".(Steve MacKay, 2004)

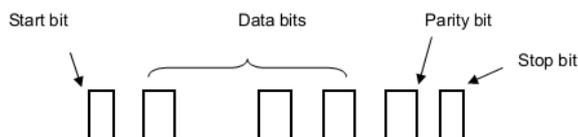


Figura 2.22: Exemplo de uma estrutura de transmissão de dados por RS-232 (Santos, 2010c).

2.4.2 O RS-485

O protocolo RS-485 surgiu com o objectivo de resolver algumas limitações que outros protocolos nomeadamente o protocolo RS-232. Este protocolo de comunicação define que os equipamentos são ligados por um par ou dois de cabos condutores interlaçados responsáveis pela comunicação continuando a ser possível enviar uma palavra serie entre equipamentos com a mesma configuração que a palavra serie prevista no protocolo RS-232.

O sinal produzido pelo RS-485, figura 2.23, prevê a aplicação de uma tensão positiva para enviar um *bit* lógico de valor 0 e uma tensão negativa para um *bit* lógico 1. O protocolo é então constituído por dois condutores, U_+ e U_- , que no limite poderão possuir ambas tensões negativas em relação à terra do equipamento. Assim sendo, se o valor da tensão aplicado em U_+ fosse menos negativo que o valor aplicado em U_- , o receptor iria considerar que o valor lógico que o emissor tinha enviado seria 0. Caso a tensão em U_+ seja mais negativa que a tensão do condutor U_- , então o receptor considera que o valor enviado tem o valor de 1. As tensões aplicadas variam em módulo entre 1.5 e 6V.

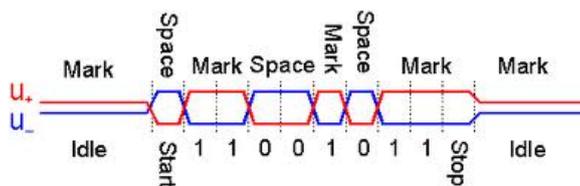
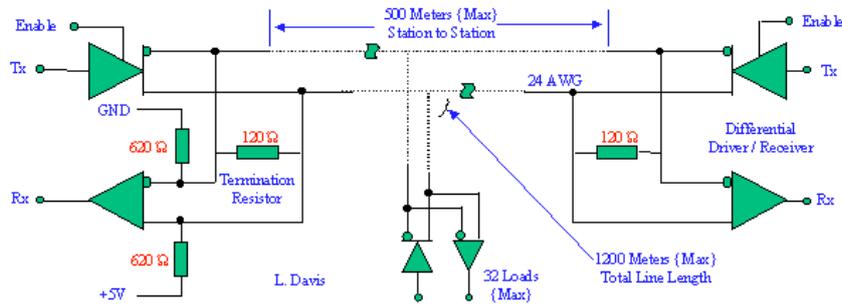


Figura 2.23: Exemplo de uma estrutura de transmissão de dados por RS-485 (Santos, 2010b).

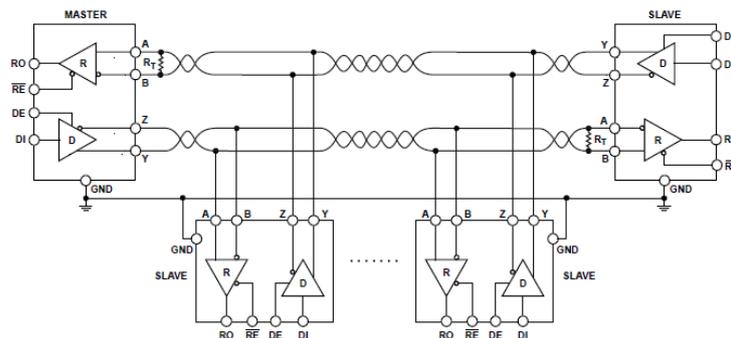
Uma das principais vantagens na utilização deste protocolo é possibilidade de possuir uma interligação entre 256 equipamentos, ao contrário do RS-232 que apenas prevê a ligação entre dois equipamentos. Possui ainda uma imunidade ao ruído electromagnético devido à configuração entrelaçada em que os condutores se encontram fazendo com que o campo magnético altere a tensão dos dois pares condutores na mesma ordem de grandeza e que leva a que a diferença entre as tensões dos fios se mantenha (Steve MacKay, 2004).

O protocolo RS-485 permite dois tipos de ligação entre equipamentos denominados por *Half-Duplex* e *Full-Duplex*. A ligação *Half-Duplex*, figura 2.24(a), mostra uma configuração típica da ligação RS-485 entre equipamentos. Neste tipo de ligação os dados enviados por um equipamento são recebidos por todos os outros equipamentos, e, uma vez que a ligação apenas possui um par de cabos quando um equipamento se encontra a enviar dados os outros equipamentos encontram-se à escuta.

A ligação *Full-Duplex*, figura 2.24(b), possui dois pares de cabos entrelaçados permitindo assim a recepção e o envio de dados em simultâneo. Este tipo de ligação pode ser encontrada numa configuração *master-slave*, onde um dos equipamentos possui o papel de *Master* e que será o único equipamento que pode enviar e receber os dados de outros equipamentos. Os restantes equipamentos possuem o papel de *Slave* e só podem enviar dados quando o *Master* autorizar uma vez que se vários equipamentos aplicassem um tensão no mesmo par de fios condutores, estas tensões iriam-se sobrepor alterando os dados a serem enviados (Steve MacKay, 2004).



(a) Half-Duplex



(b) Full-Duplex

Figura 2.24: Exemplo de ligações entre equipamentos por RS-485 (Santos, 2010b).

2.4.3 O TCP/IP

O protocolo TCP/IP baseia-se no modelo de referência OSI (*Open System Interconnectio*) que descreve o sistema de comunicação como sendo uma estrutura por camadas. O TCP/IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*) representa um conjunto de protocolos desenvolvidos inicialmente sem grandes preocupações relativamente à sua normalização, e que mais tarde acabou por se afirmar como um modelo standard. Na figura 2.25, é possível comparar e verificar as semelhanças existentes entre a estrutura definida por camadas do modelo OSI e a estrutura do protocolo TCP/IP (Steve MacKay, 2004; ?).

MODELO OSI vs MODELO TCP/IP	
APLICAÇÃO	APLICAÇÃO
APRESENTAÇÃO	
SESSÃO	
TRANSPORTE	TRANSPORTE (host-to-host)
REDE	INTERNET
LIGAÇÃO DE DADOS	ACESSO À REDE
FÍSICO	FÍSICO

Figura 2.25: Modelo de referencia OSI (esquerda) e protocolo TCP/IP (direita) (Silva, 2012).

O protocolo IP foi criado inicialmente para transmitir pacotes de dados entre computadores. Este protocolo permite que os dados que são enviados sejam divididos em fragmentos sendo cada fragmento transmitido num pacote de dados IP. As mensagens tem um comprimento variável, mas, no entanto podem ser definidos blocos que transportam informação necessária para decifrar a mensagem como mostra a figura 2.26, onde: "*version*" representa a versão do protocolo IP; "*Header length*" é o comprimento do cabeçalho; "*service type*" é a prioridade que a mensagem possui; "*length of datagram*" é o comprimento total da mensagem; "*Datagram ID*" é o numero de identificação dos fragmentos da mensagem, sendo que todos os fragmentos possuem o mesmo ID; "*Fragment offset*" indica qual a ordem do fragmento da mensagem; "*Time to live*" é o tempo de vida de uma mensagem ou fragmento na rede; "*Protocol*" indica qual dos protocolos esta a ser usado no IP (TCP ou UDP); "*Header Checksum*" permite saber se o cabeçalho foi corretamente recebido; "*Source IP Address*" e "*Destination IP Address*" são os endereços de origem e de destino da mensagem; "*Options*" nem sempre é utilizado e serve para controlo; "*Padding*" não possui informação útil e apenas serve para garantir que o cabeçalho tem um numero de bits múltiplo de 32 e "*Data*" é onde circula os cabeçalhos das camadas superiores e os dados (Steve MacKay, 2004).

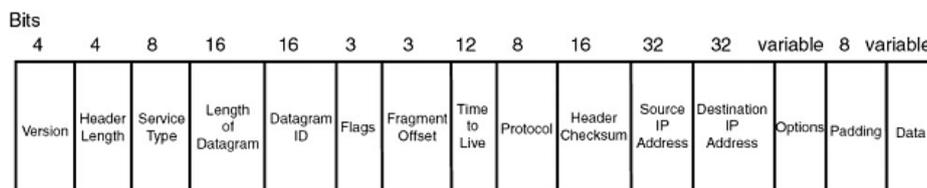


Figura 2.26: Estrutura de uma mensagem do protocolo IP (Santos, 2010d).

O protocolo TCP usa os serviços prestados pelo protocolo IP. No entanto este torna-se mais fiável uma vez que os equipamentos que usam o protocolo TCP criam uma ligação virtual entre eles passando a ser possível a confirmação da receção das mensagens e o seu reenvio em caso de erro (Santos, 2010e).

2.4.4 O WI-FI

O Wi-Fi é um tipo de comunicação sem fios que opera numa gama de frequência na ordem dos 2.4 GHz e utiliza a norma IEEE802.11, figura 2.27. Este tipo de rede pode ser utilizada para comunicar entre dois aparelhos ou como ponto de acesso a vários aparelhos (Rodrigues, 2004).

A rede Wi-Fi consiste em 3 aparelhos os AP's (pontos de acesso), DS's (sistemas de distribuição) e STA's (estações). Um frame Wi-Fi, figura 2.28, possui um tamanho variado (34 a 2336 bytes) e é constituída por: "*Frame Control*" responsável por controlar o frame; O "*Duration/ID*" que indica o tempo necessário para receber a próxima transmissão; O "*Address 1*", "*Address 2*", "*Address 3*" e "*Address 4*" são os quatro endereços MAC que podem ser utilizados para identificar o destino, a fonte dos dados ou a próxima STA que pode ser utilizada para transmitir o frame para o destino; O "*Sequence Control*" serve para identificar o numero do fragmentados dados transportados pela frame; O "*Frame Check Sequence*" é utilizada para detecção de erros. Dentro do "*Frame body*" é possível encontrar uma estrutura de dados TCP/IP que contém bytes para identificação da versão do protocolo, tipo de frame, identificação equipamento que envia os dados e o que irá receber, existência de fragmentos e tipo de segurança

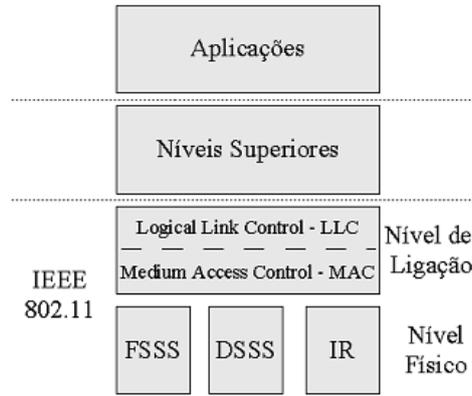


Figura 2.27: Camada protocolar Wi-Fi (Rodrigues, 2004).

(Mizusaki, 2010).



Figura 2.28: Frame Wi-Fi (Mizusaki, 2010).

2.4.5 Bluetooth

O Bluetooth, baseado no IEEE802.15.1 deu origem à chamada PAN (Rede de Área Pessoal), inicialmente com o objectivo de ligar e trocar informações entre dispositivos portáteis como PDA's, telemóveis, computadores, impressoras, entre outros usando ondas de radio-freqüência de curto alcance (1 - 100m), possui um baixo custo e um baixo consumo e está dividido em três classes:

- **Classe 3**-alcance de 1 metro no máximo;
- **Classe 2**-alcance de 10 metro no máximo;
- **Classe 1**-alcance de 100 metro no máximo;

O Bluetooth opera numa faixa de radiofreqüência na ordem dos 2.4 GHz e tem uma característica particular que quando um dispositivo se liga a outro há uma troca com uma freqüência de 1600 vezes por segundo, diminuindo assim a interferência de outros dispositivos que operem na mesma freqüência com a transmissão de dados por Bluetooth. Outra vantagem do Bluetooth é a possibilidade de criar uma rede do tipo "Ad-Hoc" permitindo que dois dispositivos comuniquem entre si quando se encontram dentro do alcance um do outro. Outra característica do Bluetooth é a segurança garantida através de códigos PIN (Personal Identification Number) e com uma encriptação de 128 bits.

O bluetooth permite ainda criar uma BT-WPAN (Bluetooth Wiereless Personal Area Network) que consiste em "piconets" que são dispositivos "Masters" que podem ter até um

conjunto de 8 dispositivos ligados a si. Quando dois "*piconets*" comunicam entre si através de um gateway ou um dispositivo mestre formam uma ligação do tipo "*scatternet*", figura 2.29.

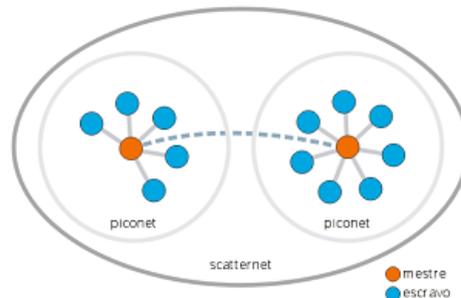


Figura 2.29: Exemplo de comunicação de uma rede Bluetooth.

A comunicação Bluetooth é definida por camadas, figura 2.30, respeitando o modelo standard, OSI. O grupo de protocolos de transporte permitem que dispositivos Bluetooth localizem outros dispositivos e gerenciem links físicos e lógicos para as camadas superiores. O grupo de protocolos "*middleware*" inclui protocolos de terceiros e padrões industriais permitindo que aplicações já existentes e novas aplicações operem sobre links Bluetooth. Já o grupo de aplicação é constituído apenas pelas próprias aplicações que usam o Bluetooth que incluem aplicações antigas ou aplicações orientadas a Bluetooth.

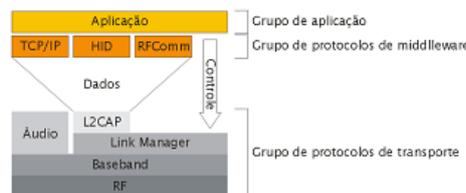


Figura 2.30: Camada protocolar de um rede Bluetooth.

A estrutura típica de uma mensagem de uma *piconet*, figura 2.31, é constituída pelo código de acesso onde contém o endereço da piconet, o cabeçalho que contém o endereço do dispositivo "*slave*" e o payload que contém os dados que irão ser transmitidos (Siqueira, 2006).



Figura 2.31: Estrutura de uma mensagem de uma piconet.

2.4.6 ZigBee

O protocolo de comunicação Zigbee surgiu com o intuito de associar a transmissão de dados sem fios a um reduzido consumo energético e elevada fiabilidade, podendo ser aplicada em controlo industrial ou à automação residencial. O protocolo Zigbee possui algumas características particulares como o reduzido consumo de potência associada à elevada fiabilidade e elevada segurança (recurso a 128 bits de encriptação), possibilita a coordenação de uma

elevada densidade de nós por rede e admite diferentes topologias da rede (estrela, malha ou árvore) (?).

A camada protocolar que define a estrutura do ZigBee figura 2.32, tem como modelo de referência o modelo OSI. O protocolo Zigbee é implementado sob o standard IEEE802.15.4 (duas primeiras camadas inferiores), e as restantes camadas definidas pela ZigBee Alliance (consorcio industrial não lucrativo de produtores de semicondutores, e outras companhias) (Santos, 2012).

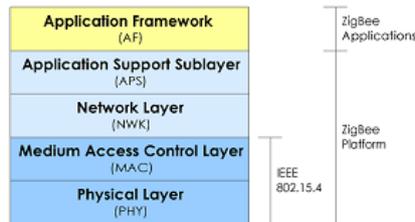


Figura 2.32: Camada protocolar do ZigBee.

A rede ZigBee é então definida por uma PAN (Rede de Área Pessoal), constituída por um *Master*, um ou mais *Slaves* e pode ter ainda possuir um ou mais routers. O *Master* é um dispositivo de função completa (FFD) e é o responsável pelo total funcionamento da rede ZigBee. Ao iniciar o sistema o "*Master*" cria uma rede PAN à qual outros dispositivos se podem juntar. Estes dispositivos são normalmente de funcionalidade reduzida (RFD's) de forma a permitir uma implementação mais barata. Os routers são responsáveis por servir o "*Master*" local, ligando-o à rede de modo a expandir o sinal transmitindo-o a outros "*Masters*" também ligados à rede. Assim os routers possuem as mesmas capacidades que os "*Master*", sendo também um dispositivo FFD, figura 2.33, (Santos, 2012).

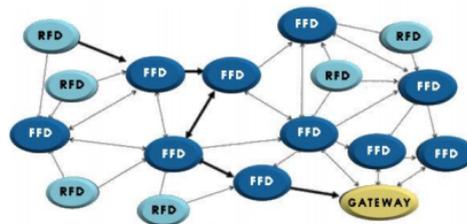


Figura 2.33: Exemplo de uma rede ZigBee em malha.

O endereçamento entre dois dispositivos ZigBee é feito por um endereço IEEE de 64-bits único (extended address) que os "*Slaves*" possuem. Depois de se juntar a uma rede PAN, o dispositivo é nomeado pelo "*Master*" com "*short address*" de 16-bits utilizado como sub endereçamento minimizando assim as tramas (Santos, 2012).

2.5 Opções Comerciais

Existem no mercado soluções comerciais que possibilitam a medição das propriedades dos alimentos. Seguidamente serão apresentadas algumas soluções comerciais aplicadas na medição das propriedades nos alimentos.

2.5.1 O VSA

O VSA (Vapor Sorption Analyzer) é indicado para a medição em alimentos ou na indústria farmacêutica. Tem a capacidade de introduzir simplicidade, controlo e acessibilidade ao processo de medição a partir da utilização das isotérmicas do produto.

O VSA usa dados isotérmicos melhorando o seu desempenho, levando 5 minutos para configurar um teste. Após a configuração basta colocar a amostra. Os dados do teste são guardados automaticamente e enviados para o computador.



Figura 2.34: O Vapor Sorption Analyzer (VSA) (aqu).

A medição das isotérmicas pelo VSA permitem identificar a faixa de humidade crítica para a qualidade do produto e calcular a sua cinética como por exemplo o tempo que uma batata frita começa a perder das suas características quando exposta ao ar com uma humidade relativa de 80%. Os resultados que o VSA pode obter fazem dele um modelo com um bom desempenho aliado a um baixo custo.

2.5.2 O 4TE4

O 4TE4, figura 2.35, é um aparelho que permite medir a actividade da água com um intervalos de 5 minutos e com grande precisão.



Figura 2.35: (aqu).

Sendo a actividade de água dependente da temperatura, o 4TE4 permite o controlo de

temperatura de medição entre os 15 e os 50 °C, podendo este ser utilizado em qualquer lugar. O 4TE4 é utilizado normalmente em laboratórios para obter medições qualidade, testar e verificar a qualidade de produtos e ingredientes.

O 4TE4 possui ainda funções administrativas que podem ser configurados para controlar o acesso aos dados e designar até 25 usuários com senhas exclusivos. A ligação RS-232 que possui possibilita o download dos dados para análise estatística.

2.5.3 O pawkit-3

O PAWKIT-3, figura 2.36, é um aparelho portátil que permite a medição da actividade da água de forma rápida bastando para isso colocar o aparelho sobre o copo que contém a amostra. Entre outras vantagens, o PAWKIT-3 faz leituras em 5 minutos, tem um baixo custo e fácil calibração. No entanto, não possui controlo de temperatura durante a medição. Este aparelho é adequado para a indústria alimentar em casos que a precisão superior não é crítica.



Figura 2.36: O pawkit-3aqu.

2.5.4 O 910sT

O 910sT, figura 2.37, é um medidor de humidade, capaz de obter resultados instantaneamente e de forma não destrutiva. Possui a função de controlo automático de humidade e registo de dados.

O 910sT permite uma medição da humidade num intervalo de 0 a 60%, controlo automático de ganho, permite várias medições com a mesma calibração, entre outras vantagens.

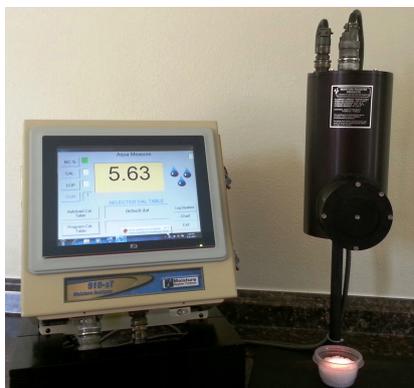


Figura 2.37: (aqu).

Capítulo 3

Sistema Proposto

Na presente dissertação é proposto o desenvolvimento dois protótipos de medição do teor de água baseado na impedância eléctrica. O primeiro protótipo é constituído por um sensor de medição que é utilizado para monitorizar em tempo real a secagem do bacalhau durante o seu processo de seca, tendo como principal objectivo minimizar a necessidade de equipamentos caros e de pessoal especializado. O desenvolvimento deste sensor baseado na condutividade eléctrica proporciona um sistema simples e de baixo custo. De forma a facilitar o processo de monitorização foi desenvolvida uma interface gráfica que monitoriza em tempo real e de forma gráfica os dados recolhidos pelo sensor. A comunicação entre o sensor e o computador ficará a cargo dos módulos *ZigBee*.

Por fim, foi desenvolvido um dispositivo de medição pontual do teor de água baseado nos resultados obtidos pelo método anterior. O objectivo deste sensor é dar ao operador a possibilidade de deslocar-se ao interior da estufa e efectuar a medição do teor de água em determinadas zonas onde o bacalhau possui um tempo de cura menor, podendo retirá-lo no caso de este conter o teor de água pretendido.

3.1 Estrutura Geral

O sistema de monitorização proposto, Fig.3.1, é constituído por cinco partes distintas: A fonte de energia, o controlo do sistema levado a cabo por um microcontrolador, as pontas para medição do teor de água, a comunicação entre os sensores e o computador e a interface de monitorização presente no computador.

3.2 Hardware

O microcontrolador ou PIC (Programmable Intergrated Controller) é um circuito integrado que contém os circuitos necessários para realizar um sistema digital programável. O PIC internamente dispõe de um CPU, uma memória PROM, uma memória RAM e I/O (entradas e saídas). Podemos encontrar varias semelhanças entre os microcontroladores e os PLCs, tais como:

- Ambos possuem memória interna;
- Ambos podem executar automaticamente programas gravados em memória;

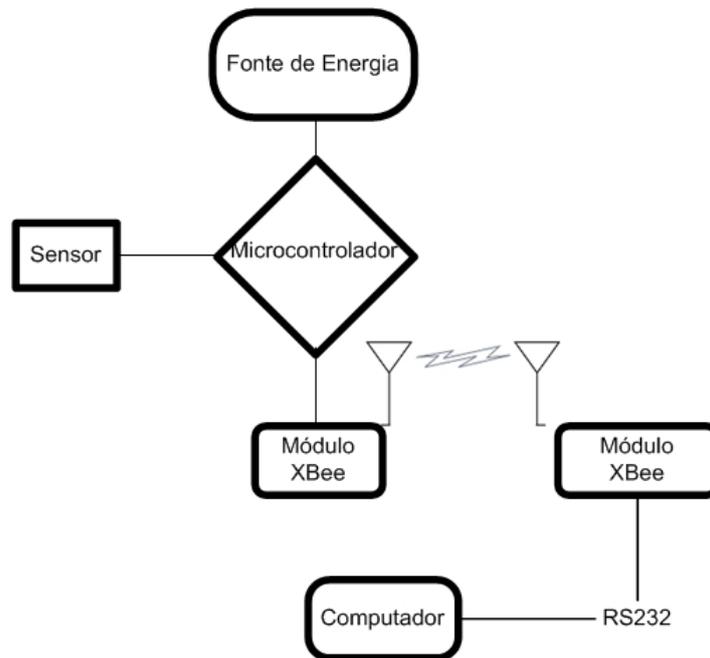


Figura 3.1: Diagrama de Blocos do Sistema implementado.

- Ambos podem ter entradas e saídas (digitais ou analógicas);
- Ambos permitem comunicação do tipo RS-232, RS-485, Ethernet, CAN.

No entanto existem algumas diferenças entre PLC e os microcontroladores. Os PLCs foram inicialmente concebidos para trabalhar em ambientes industriais, são alimentados com correntes elevadas e necessitam de protecções mecânicas e eléctricas devido ao ambiente industrial extremo que os rodeiam. Por outro lado os microcontroladores são alimentados a 5 volts, conseguindo assim debitar nas suas saídas tensões baixas. São também mais frágeis quanto ao ambiente que os rodeia e não possuem protecções.

Os microcontroladores possuem portanto um baixo custo, um baixo consumo e uma reduzida dimensão. Estas características permitem que os microcontroladores sejam usados "dentro" de equipamentos, em aplicações de baixo consumo ou em sistemas portáteis (Santos, 2010a).

A escolha do uso de um microcontrolador (em vez do PLC), deve-se ao facto de que o sistema a implementar terá que possuir um baixo consumo energético, baixo custo, e portátil. Com base nestas características, foi escolhido o seguinte *hardware*:

3.2.1 O PIC16F887

O PIC 16F887, figura 3.2, é um microcontrolador da família *8-bits*. É um microcontrolador bastante utilizado para controlo devido aos seus 40 pinos. Este microcontrolador consome uma corrente de $25mA$; possui 14 entradas conversores ADC (*Analog-to-digital converter*) com uma resolução de *10-bits*; possui 3 *timers*, dois *timers* de *8-bits* e um de *16-bits* com a possibilidade de *prescaler*; possui a capacidade de interface de comunicação MSSP (*Master Synchronous Serial Port*), RS485 e RS-232. Este microcontrolador foi escolhido devido a ter

um baixo custo (podendo encontra-lo facilmente no mercado) e desempenho pretendido, tendo também um número suficiente de entradas e saídas para ligar a um LCD. Em alternativa a este microcontrolador, a utilização de um microcontrolador baseado na tecnologia *nanoWatt XPL* com os pinos suficiente para as ligações pretendidas seria uma escolha possível.



Figura 3.2: Microcontrolador PIC16F887 da Microchip®.

3.2.2 O PIC16F1823

O PIC 16F1823, figura 3.3 pertence à categoria dos microcontroladores que utilizam a tecnologia *nanoWatt XLP* (eXtreme Low Power). Esta nova tecnologia permite que os microcontroladores consumam correntes abaixo dos $9nA$ em modo *sleep* e correntes abaixo dos $34\mu A$ em modo activo, uma eficiência superior a 80% na execução e permitem uma execução do código mais inteligente permanecendo assim mais tempo no modo *sleep* maximizando o tempo de vida da bateria.

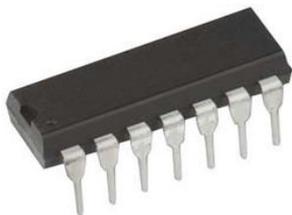


Figura 3.3: Microcontrolador PIC16F1823 da Microchip®.

O PIC16F1823 possui em modo *stand-by* uma corrente de $20nA@1.8V$ e uma corrente de operação de $34\mu A@1.8V$. Possui 14 pinos dos quais 11 podem tomar funções de entradas e saídas digitais (1 pino exclusivo como entrada digital) e 8 entradas analógicas. Os pinos I/O permitem correntes elevadas na ordem dos $25mA$. É possível gerar interrupções a partir da mudança de estado dos pinos. Possui 3 *timers* onde o *Timer0* possui 8-bits, o *Timer1* 16-bits e o *Timer2* 8-bits de tempo mais 8-bits para o registo do período.

A conversão analógica/digital contém uma resolução de 10-bits nos 8 canais disponíveis e permite a conversão durante a hibernação. Permite ainda ligações síncronas (SPI e I2C) e assíncronas através do protocolo RS232 e RS485 (módulo EUSART) e com detecção automática do *baudrate* Microchip (2010). Estes microcontroladores são ideais para a aplicação em sistemas que usam a energia do meio ambiente para operarem.

3.2.3 O XBee

A comunicação entre os sensores e o computador é feito através dos módulos de *XBee*, figura 3.4. Estes módulos comunicam através do protocolo *wireless standard IEEE 802.15.4*. Possuem uma interface capaz de enviar e receber dados relativos à comunicação sem fios.



Figura 3.4: Módulo XBee XB24-Z7WIT-004 da Digi®.

Os módulos *XBee* utilizados (XB24-Z7WIT-004), possuem um alcance máximo de 40m em espaços fechados e um alcance máximo de 120m em espaços abertos com uma taxa de transferência de 250kbps. A gama de taxa de transferência pela interface série vai dos 1200bps até 1Mbps, sendo ainda aceite taxas de *Baudrate* não normalizadas.

A comunicação sem fios é feita através do protocolo *IEEE 802.15.4* que opera numa gama de frequências de 2.4GHz utilizando um dos 16 canais previstos para este protocolo nesta gama de frequências. A transmissão dos dados é feita com uma potência de 1.25mW (+1dBm) e a sensibilidade de recepção de dados de -95dBm. Os módulos *XBee* operam com valores de tensão entre 2,1V e 3,6V.

A configuração dos módulos *XBee* pode ser feita a partir de comandos AT ou através do programa disponibilizado peça digi, o *X-CTU*. Este programa permite configurar todos os parâmetros de qualquer módulo *XBee* através de uma interface gráfica. Para que os módulos *XBee* comuniquem entre si basta configurar os parâmetros CH (canais), ID (PAN ID), DH (endereço de destino mais significativo), DL (Endereço de destino menos significativo), SC (canais procurados) e BD (*Baudrate*).

Embora os módulos *XBee* estejam apenas a ser utilizados para a comunicação entre o computador e o microcontrolador, estes tem a possibilidade de fazerem mais que isso, ou seja, para além dos pinos responsáveis pela alimentação do módulo e dos pinos da comunicação serie, os módulos *XBee* possuem ainda entradas e saídas digitais e analógicas, e permite ainda PWM possibilitando o controlo e aquisição de dados remotamente em dispositivos sem a necessidade de um microcontrolador ou outro dispositivo de controlo.

Existem vários modelos tais como *XBee*, *XBee-PRO* da serie 1 ou da serie 2. Os módulos da serie 1 e da serie 2 são muito semelhantes no entanto não podem comunicar entre si. Relativamente aos módulos *XBee-PRO* estes possuem um alcance máximo entre 60m e 90m para meios urbanos ou recintos fechados, respectivamente e de 3.2km para espaços abertos.

Qualquer módulo *XBee* pode ser usado para fazer a comunicação entre os sensores e o computador sem a necessidade de alterar o código do microcontrolador. No entanto caso se pretenda usar o modo API (Application Programming Interface) em vez do módulo transparente, existirá essa necessidade.(Digi, 2010)

3.3 Aquisição de Dados

3.3.1 Medição da condutividade elétrica

O método de medição por condutividade eléctrica consiste na medição da corrente que atravessa a amostra. Esta corrente é alterada consoante a resistência que a amostra provoca à sua passagem. Em termos práticos, a medição experimental, figura 3.5, consiste em medir a queda de tensão na resistência $R1$ e que varia com a variação da resistividade do bacalhau. Esta variação da resistividade do bacalhau pode ser representada por uma resistência variável em paralelo com um condensador variável.

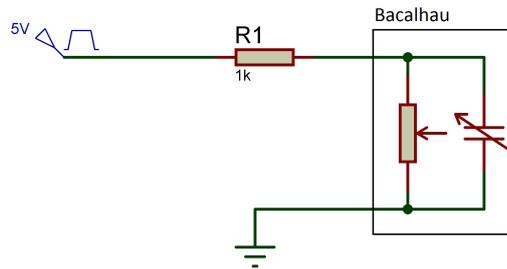


Figura 3.5: Representação do esquema eléctrico equivalente ao fenómeno produzido pelo teor de água no bacalhau.

A tabela 3.1, mostra o comportamento da resistividade e capacitância de uma amostra de bacalhau e que são duas grandezas inversamente proporcionais nestas condições.

Tabela 3.1: Valores da Resistividade e Capacitância medida antes de depois da secagem da amostra.

	Antes da secagem	Depois da secagem
Resistência	114,5 $K\Omega$	0,3 μF
Capacidade	228 $K\Omega$	2,62nF

3.4 Placa de Interface com o Computador

A placa de interface com o computador, figura 3.6, permite que os dados enviado pelo sensor através dos módulos *XBee* sejam lidos pela porta serie do computador. Para isso é necessário que a mensagem a transmitir seja convertida de modo a ser lida pelo protocolo *RS-232*. Esta conversão de tensões de 5V geradas pelo módulo *XBee* para tensões usadas no protocolo *RS-232* é feita pelo circuito integrado *MAX-232*. A placa é alimentada usando uma porta USB que é capaz de fornecer uma tensão de 5V suficiente para alimentar o circuito integrado e o restante circuito eléctrico. Como já foi referido o módulo *XBee* opera com tensões de 3.3V, assim sendo foi necessário utilizar um regulador de tensão para diminuir a tensão de alimentação da placa para a tensão nominal de funcionamento do *XBee*.



Figura 3.6: Esquema de funcionamento da interface de dados com o computador.

3.5 Firmware

3.5.1 Sensor de monitorização online

Para o sensor de monitorização *online* foi desenvolvido um *firmware*, figura 3.7, que consiste essencialmente em dois blocos independentes e distintos. O modo manual e o modo automático. Quando o sensor é ligado este dá início às configurações essenciais do microcontrolador de forma a que seja possível a comunicação entre o microcontrolador e o computador.

Após a configuração inicial, o sensor entra em modo *stand-by* ficando à espera que lhe seja enviada uma mensagem de configuração. Esta mensagem de configuração fornece ao sensor a informação necessária para a escolha de um dos blocos, automático ou manual.

No modo automático, o sensor procede à leitura do valor da porta analógica e envia para o computador através da comunicação sem fios. O intervalo de tempo entre cada leitura da porta analógica é definido na mensagem de configuração.

No modo manual, o sensor efectua a leitura da porta analógica sempre que recebe uma ordem de leitura. Após receber a ordem de leitura, o sensor faz a leitura da porta e envia posteriormente para o computador voltando a ficar à espera de nova ordem de leitura. Para que haja nova configuração do sensor é necessário fazer o *reset* ao sistema utilizando o botão de *reset* que se encontra no sensor ou enviando uma mensagem de *reset* a partir da interface gráfica.

3.5.2 Sensor de monitorização pontual

O sensor de monitorização pontual foi desenvolvido após os testes efectuados com o sensor de monitorização online. A figura 3.8 representa a estrutura lógica do *firmware* do microcontrolador que controla o sensor de monitorização.

Quando o sensor de monitorização pontual é ligado, o microcontrolador procede à configuração do sistema. Após a configuração do sensor este fica à espera das instruções por parte do utilizador utilizando para isso uma interface de três botões. Assim sendo, ao pressionar o botão **Leitura** este executa a instrução de leitura da porta analógica e escreve o seu valor no LCD. No final após o botão de leitura ser desceleccionado a leitura termina e o valor é guardado em memória. O botão de **Memória** permite acesso às últimas 5 leituras efectuadas. A alternância entre as memórias é feita pelo botão **Frente**. No final para sair deste modo é necessário pressionar o botão **Leitura**.

Existe ainda entrar na instrução de configuração pressionando simultaneamente os botões **Memória** e **Leitura**. Este modo permite configurar o valor de teor de água limite. Este valor permite que durante a leitura caso o valor lido seja inferior ao limite de teor de água configurado é accionado um aviso luminoso. A selecção do valor do teor de água é feito pelo botão frente e por fim, para validar o valor o valor é pressionado e o sensor volta ao seu estado inicial.

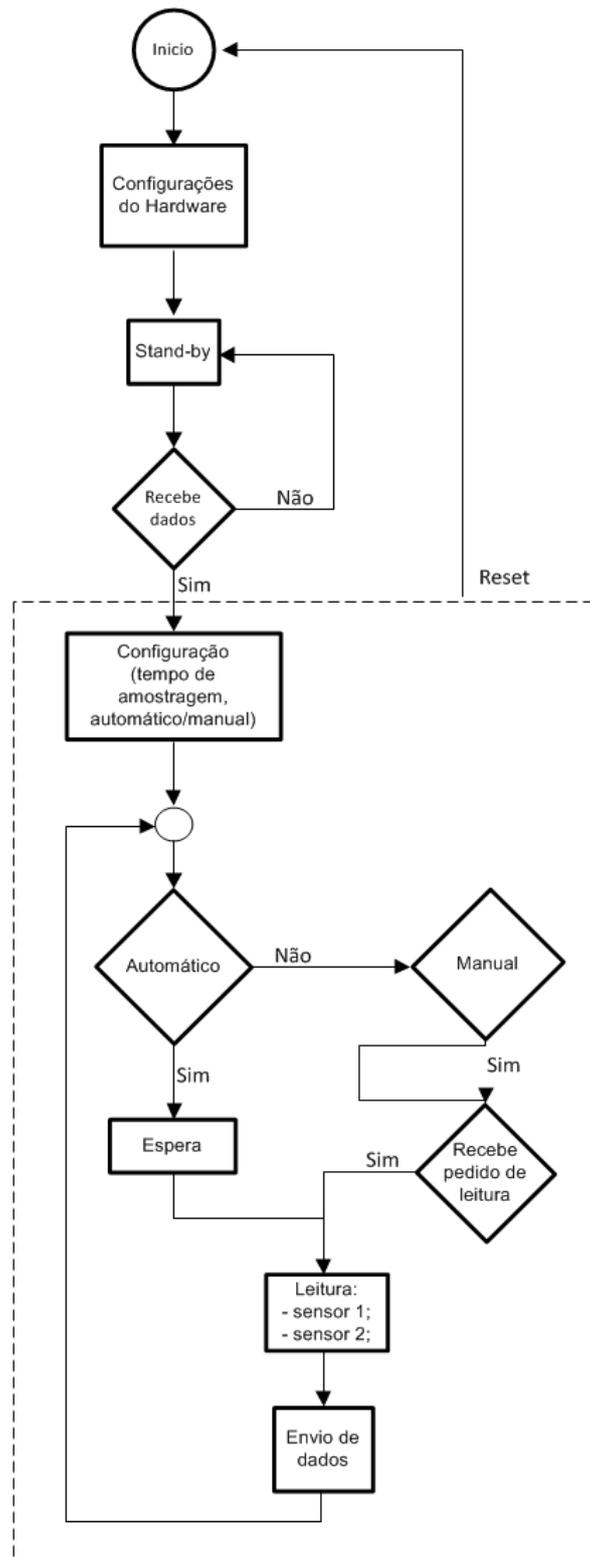


Figura 3.7: Estrutura lógica do sensor de monitorização online.

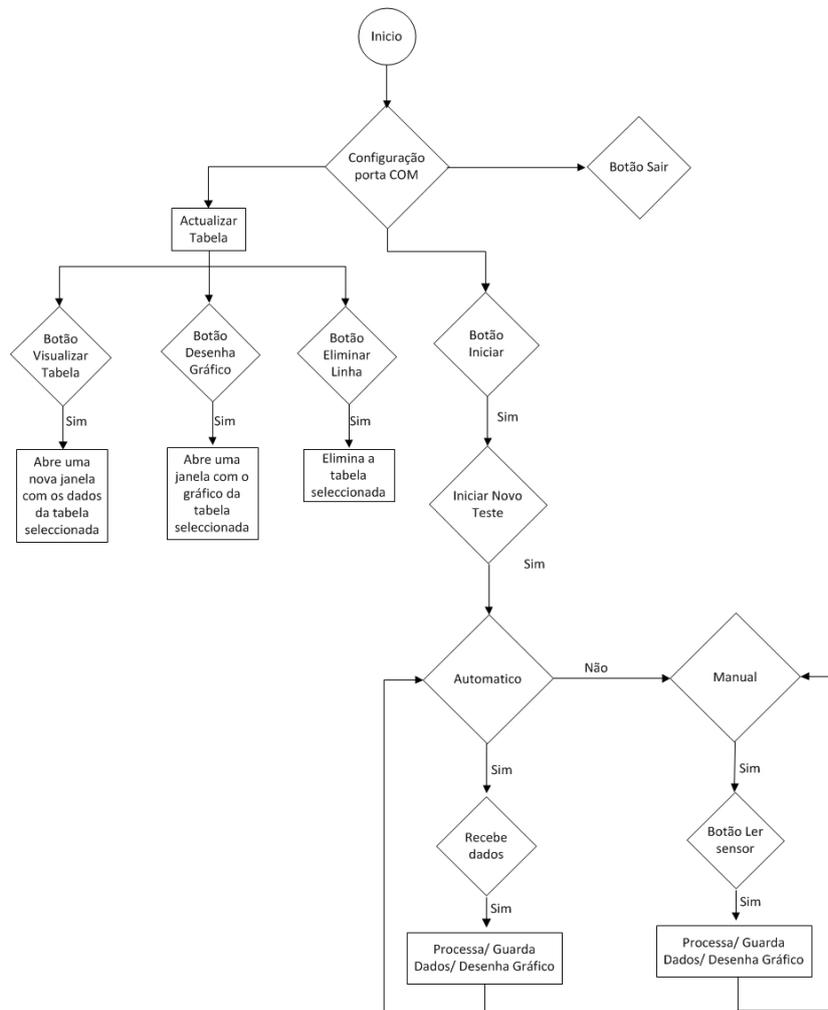


Figura 3.9: Estrutura lógica do software.

Após a ligação estabelecida é possível dar início a um novo teste. Para isso é enviado uma mensagem de configuração com a indicação do modo de funcionamento (automático ou manual) e o intervalo de tempo entre cada medição. Para além do envio da mensagem é feito o registo na tabela de registo de testes. Nesta tabela é registado o nome na tabela a data de início do teste e posteriormente a data do final do teste. Seguidamente é criada uma tabela com o mesmo nome onde é feito o registo dos dados recebidos pelo sensor. Durante a monitorização cada dado recebido é tratado guardado e representado no gráfico de monitorização e que pode ser comutado e representado a tensão, resistividade ou condutividade em função do teor de água.

3.6.1 Estrutura de Mensagens

Seguidamente serão apresentadas a estrutura das mensagens que são enviadas e recebidas pelo software desenvolvido.

Mensagem Enviada

A figura 3.10 representa a mensagem principal de configuração enviada pelo software. A mensagem é constituída por 8 – *bits* indica que é a mensagem que está a ser enviada é de configuração, 8 – *bits* que indicam o modo de funcionamento do sensor, manual (0) e Automático (1), e 16 – *bits* que correspondem ao intervalo de tempo entre cada aquisição de dados no modo automático (8 – *bits* para o valor das horas mais 8 – *bits* para o valor dos minutos).

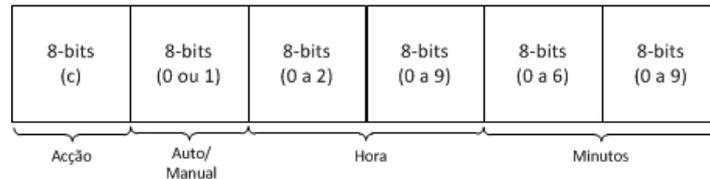


Figura 3.10: Mensagem Enviada.

As restantes mensagens enviadas para o sensor de monitorização on-line são constituídas por 8 – *bits* e que permitem obter valores no modo manual e fazer um *reset* ao sensor de monitorização on-line.

Mensagem Recebida

A mensagem recebida pelo software, figura 3.11, representa a leitura feita pelo sensor, sendo esta a única mensagem recebida pelo software. A mensagem é constituída por 64 – *bits* onde os primeiros 32 – *bits* corresponde à leitura feita pelo primeiro sensor e os restantes 32 – *bits* correspondem ao valor do segundo sensor. Ambos os sensores podem ter um valor entre 0000 e 1023 que correspondem ao valor mínimo de 0V e 5V.

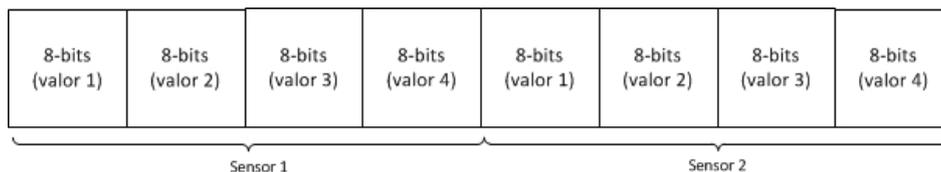


Figura 3.11: Painel de controlo e monitorização.

Capítulo 4

Implementação do Sistema Proposto

Neste capítulo é apresentada a implementação da solução proposta para a medição do teor de água. A figura 4.1 ilustra todo o sistema proposto. Este é então constituído por um computador que possui instalado o painel de monitorização on-line que permite monitorizar os dados recolhidos, apresenta-los graficamente e guarda-los numa base de dados. A placa de interface com o computador, permite a comunicação sem fios com o sensor e converte os dados recebidos pelo sensor para que possam ser lidos pelo computador e vice-versa. O sensor de monitorização on-line processa os dados para que estes sejam recolhidos e enviados. A ponta de medição possibilita ao sensor de monitorização on-line medir os valores da tensão da amostra. Nesta dissertação foram testados duas pontas de medição.

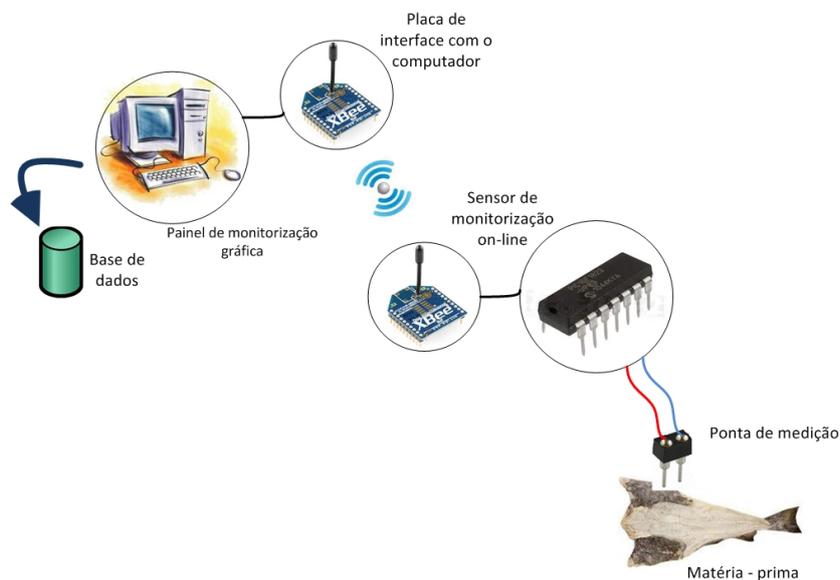


Figura 4.1: Esquema eléctrico do sistema de aquisição, controlo e comunicação do sensor sem fios.

4.1 Protótipo do sensor de monitorização online

Para recolher e monitorizar a perda de água ao longo do tempo durante o processo de secagem do bacalhau, foi desenvolvido um protótipo, figura 4.2, baseado num sistema de baixo custo e baixo consumo capaz de transmitir os dados adquiridos através de comunicação sem fios, utilizando os módulos XBee para este fim. Devido às condições a que o sensor irá ficar sujeito, este sistema pretende ser simples, robusto e capaz de realizar medições precisas.

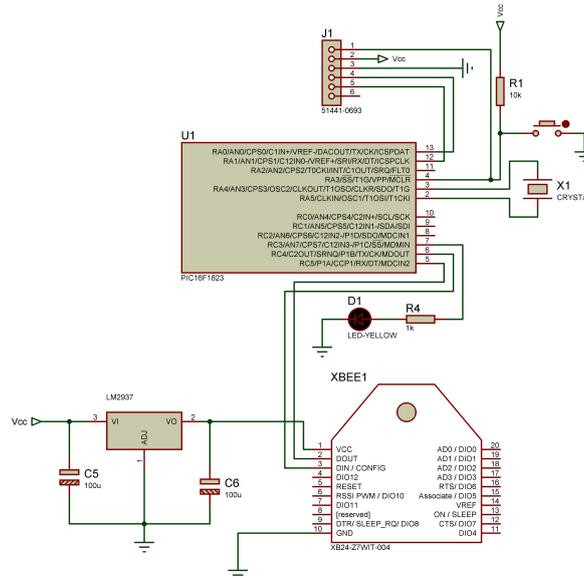


Figura 4.2: Esquema eléctrico do sistema de aquisição, controlo e comunicação do sensor sem fios.

O sensor de monitorização on-line é alimentado por uma tensão de 5V através dos pontos de alimentação V_{cc} , que alimenta o microcontrolador 16F1823 e que é responsável pela aquisição e transmissão de dados. A transmissão de dados é feita pela ligação dos pinos Rx e Tx ao módulo XBee que permite a transmissão sem fios. Como já vimos este módulo XBee possui uma tensão nominal de 3,3V sendo então necessário implementar um circuito regulador de tensão com o auxílio do LM2937 reduzindo a tensão V_{cc} de 5 para 3,3V. O conector J1 é conectado ao microcontrolador proporcionando assim a interface de programação do microcontrolador e que pode de igual forma fornecer ao circuito uma tensão V_{cc} durante a programação.

Após a implementação do controlo e comunicação do sensor de monitorização on-line, desenvolveram-se duas pontas de medição baseadas na condutividade dos alimentos com diferentes configurações com o objectivo de avaliar o comportamento da amostra ao longo da secagem. A figura 4.3 representa a primeira ponta de medição desenvolvida.

Este esquema consiste na aquisição de dados de uma única ponta de medição aplicando uma tensão contínua ou uma onda quadrada a um dos lados da ponta de forma alternada. Os pinos RA2 e RC2 são ligados ao microcontrolador, sendo este responsável por aplicar uma tensão contínua de forma alternada a cada um destes pontos. Assim ao ser aplicada uma tensão em RC2 será aplicada uma tensão contínua à base o transistor Q1. Por outro lado, ao ser aplicado uma tensão em RA2 é activado um LM555 que gera uma onda quadrada

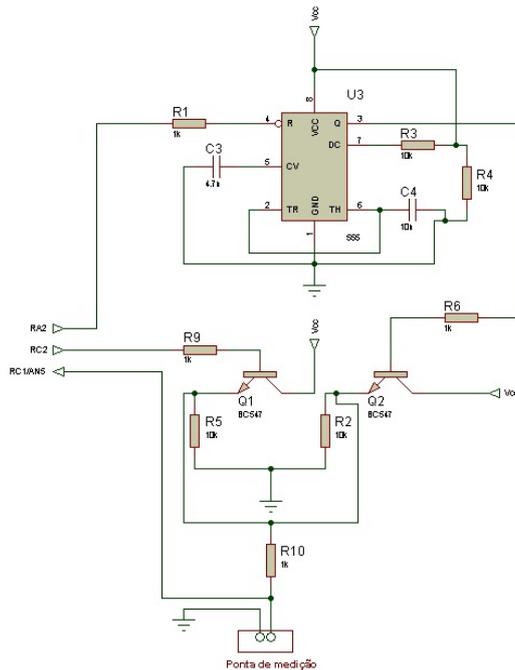


Figura 4.3: Esquema elétrico da ponta de medição 1.

com uma frequência de $10KHz$ e que é aplicada à base do transistor $Q2$. Aos emissores dos transistores $Q1$ e $Q2$ é ligado uma resistência $R10$ e a ponta de medição para que seja medida a queda de tensão entre $R10$ e o bacalhau. A tensão aplicada à resistência $R10$ depende da base do transistor que está activa. Assim sendo quando é aplicada uma tensão na base de $Q1$ é aplicada uma tensão de $4,3V$ à ponta de medição. Por outro lado se $Q2$ está activo é aplicada uma onda quadrada à ponta de medição com uma frequência de $10KHz$ e com uma tensão máxima de $4,3V$. Um dos problemas deste circuito é que ao ser aplicado uma tensão numa das bases do transistor a tensão que sai do emissor desse transistor ($4,3V$) é aplicada à ponta de medição e ao emissor do outro transistor podendo-o levar à destruição.

A segunda ponta de medição desenvolvida, figura 4.4 consiste na realidade em duas pontas de medição independentes que usam uma tensão contínua aplicada às pontas para medição da condutividade.

O princípio de medição é semelhante ao método utilizado anteriormente e que consiste em dois transistores $BC547$ ligados ao microcontrolador permitindo a activação das pontas de medição. De seguida as pontas de medição são ligadas entre a resistência $R10$ e o colector do transistor. Com esta configuração a tensão aplicada à ponta de medição é igual a Vcc .

4.2 Protótipo do sensor de medição pontual

Como já foi referido, um dos problemas que existem nas estufas é a não uniformidade da velocidade entre as prateleiras e que implica que o processo de seca do bacalhau não seja uniforme. A utilização de um sensor de monitorização on-line permite a monitorização localmente, no entanto, a utilização de um sistema manual e portátil iria permitir ao operário a medição de bacalhau de tempos em tempos e que por ventura estão em zonas em que a sua

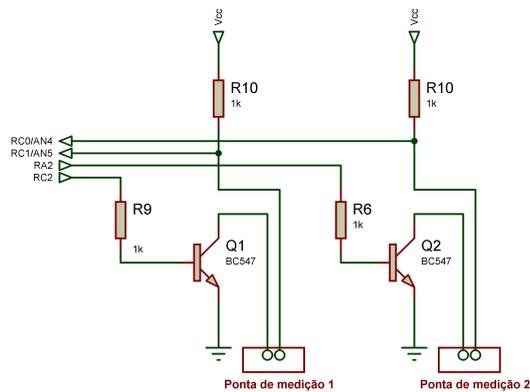


Figura 4.4: Esquema eléctrico da ponta de medição 2.

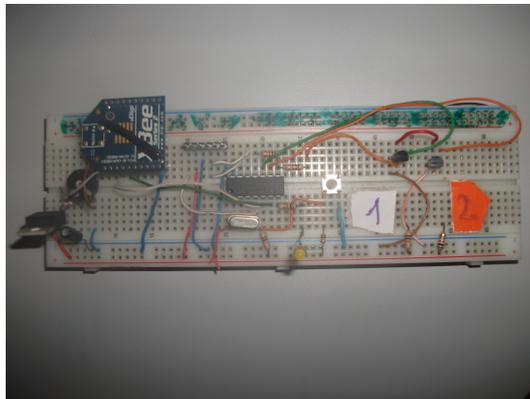


Figura 4.5: Esquema eléctrico da ponta de medição 2.

seca é mais rápida. Assim, desenvolveu-se um protótipo de um sensor de medição pontual, figura 4.6.

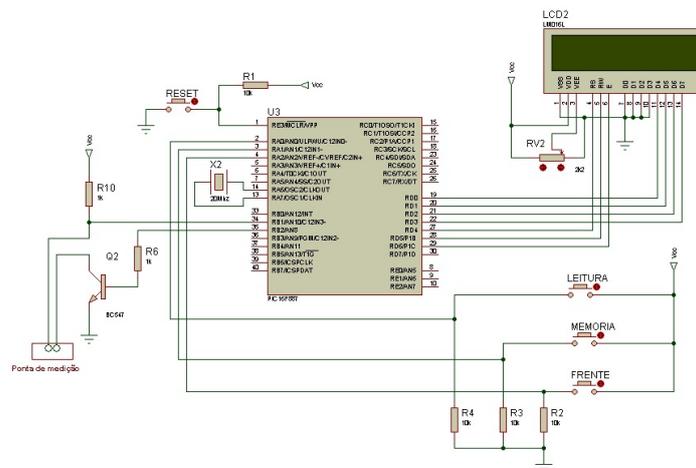


Figura 4.6: Esquema eléctrico do sensor de medição pontual.

O sensor de medição pontual é alimentado por uma tensão 5V através dos pontos alimentação V_{cc} que alimenta o microcontrolador 16F887 e que responsável pela aquisição e escrita dos dados no LDC. Este sistema possui 4 botões de controlo.

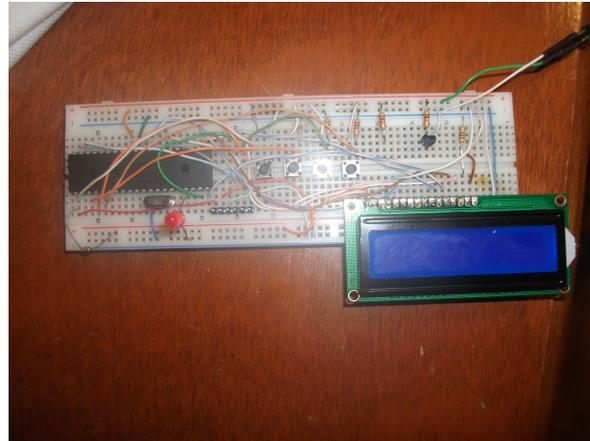


Figura 4.7: Esquema eléctrico do sensor sem fios.

4.3 Placa de interface com o computador

Para receber os dados do sensor de monitorização on-line no computador para que estes sejam tratados pelo software desenvolvido, foi feito uma montagem de uma placa de interface que consiste num módulo XBee que envia e recebe os valores do sensor de monitorização (comunicação sem fios) ligado a um MAX-232 que faz a conversão dos valores recebidos do módulo XBee para que possam ser transmitidos por RS-232 para o computador. Na figura 4.8 é possível visualizar o esquema de montagem da placa de interface com o computador e na figura 4.9 é possível visualizar a montagem feita.

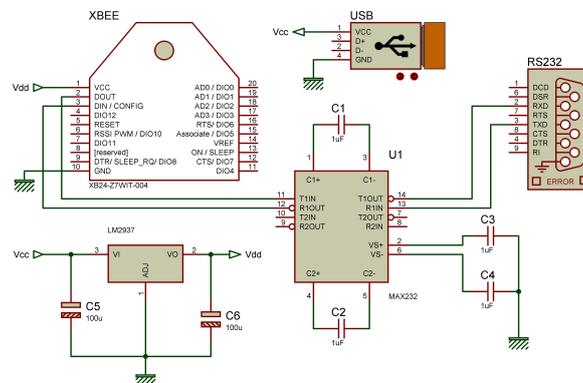


Figura 4.8: Esquema eléctrico da placa de interface com o computador.

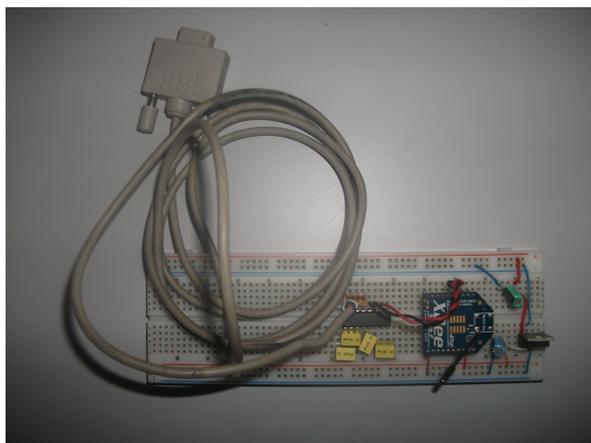


Figura 4.9: Montagem da placa de interface com o computador.

4.4 Painel de monitorização Gráfica

Para recolher e monitorizar os dados relativos à monitorização do processo de secagem do bacalhau, foi desenvolvido um software, figura 4.10. Este software guarda os dados recolhidos numa base de dados, sendo possível consultar esses valores mais tarde e visualizar graficamente esses dados. Os botões teor de água e evolução temporal permitem comutar no gráfico de monitorização on-line qual o gráfico que queremos visualizar, *tenso vs. teordegua* ou *tenso vs. tempo*. Caso o teor de água ultrapasse um determinado valor que pode ser definido pelo utilizador no gráfico, é acionado um alarme sonoro juntamente com um sinal visual no painel de monitorização on-line (sinal intermitente vermelho). Os botões Iniciar(Fechar) e Comunicação permitem abrir/fechar a porta de comunicação com a placa de interface com o computador e a configuração desta porta, respectivamente.

O botão Iniciar(Fechar) novo teste permite que seja criada uma nova tabela de dados com um nome definido pelo computador ou pelo utilizador dando também instrução ao sensor de monitorização on-line para iniciar a aquisição de dados. Para terminar a aquisição de dados basta carregar neste botão que será enviado para o sensor a informação que a aquisição de dados terminou. Por fim, o botão Obter valores permite obter valores no modo manual.

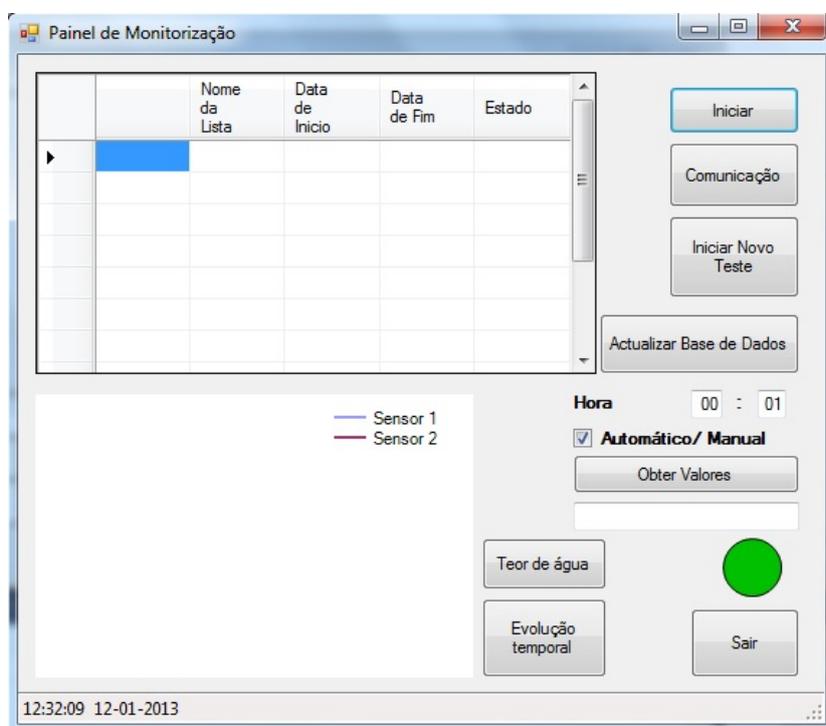


Figura 4.10: Painel de controlo e monitorização.

Capítulo 5

Metodologia Experimental

5.1 Obtenção das amostras

As amostras utilizadas foram retiradas da zona lombar da matéria prima previamente salgada, figura 5.1(a), possuindo uma geometria idêntica à Fig.5.1(b).

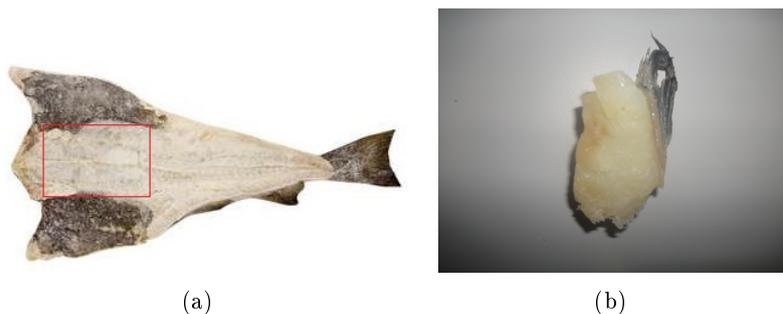


Figura 5.1: Exemplo da amostra retirada da matéria-prima.

Após o corte das amostras com uma geometria plana e com uma dimensão $50 \times 20 \times 10 \text{ mm}$, foram devidamente pesadas. O corte da amostra foi apenas feito antes de cada processo experimental, conservando a matéria-prima numa embalagem plástica devidamente fechada dentro do frigorífico.

5.2 Procedimento experimental

Em cada procedimento experimental foram registados os valores da tensão medida nas pontas de medição e o peso da amostra utilizando uma balança de precisão, figura 5.2.

Para proceder à secagem da amostra colocou-se a balança dentro de uma estufa, figura 5.3, a uma temperatura de 25°C durante um período de 48 horas e com um intervalo de tempo entre cada leitura de 1 hora.

No final deste processo, a amostra foi colocada na estufa a 100°C durante um período de 24 horas com o objetivo de determinar a massa seca da amostra. A obtenção dos dados foi feita ligando a balança e o sistema implementado através da porta serie ao computador. É então usado o software desenvolvido em modo de teste que guarda os valores da balança e do sistema implementado através da porta serie.



Figura 5.2: Balança.



Figura 5.3: Filetes de bacalhau.

Para esta dissertação foram feitos 5 ensaios experimentais utilizando o sistema implementado inicialmente para leitura e envio dos valores lidos da tensão, sendo feitos ajustes após cada teste de forma a melhorar o desempenho do sistema implementado. Nos vários testes realizados foram usadas duas pontas de teste de forma a comparar várias formas de medição excepto nos dois primeiros ensaios experimentais onde foi usada apenas uma ponta de medição e a comutação entre a onda quadrada e uma tensão contínua era feita através do microcontrolador. Assim, nos dois primeiros ensaios foram usados bacalhau fresco (primeiro ensaio) e bacalhau verde (segundo ensaio). A amostra foi colocada dentro da estufa sobre a balança com a ponta de prova espetada no centro da amostra iniciando de seguida a aquisição de dados. A configuração da ponta de medição utilizada está esquematizada na figura 4.3 e que permitirá a aquisição dos valores de tensão aplicando no mesmo ponto uma onda quadrada e uma tensão contínua alternadamente, esperando que a aplicação destas duas tensões fornecessem valores diferentes para as diferentes amostras.

Após os resultados obtidos e que serão mostrados no capítulo seguinte, implementou-se no sistema de aquisição de dados com duas pontas de medição independentes e que usam uma tensão contínua para aquisição de dados, representado na figura 4.4, permitindo assim a obtenção de valores em diferentes zonas.

No terceiro ensaio teve o objectivo de medir e comparar as curvas de secagem referentes à zona central da amostra e zona mais próxima do exterior, figura 5.4, permitindo obter desta forma o desfazamento entre as duas pontas de medição.

Por fim, os últimos dois ensaios experimentais realizados tem o objectivo de calibrar e garantir a repetibilidade da curva obtida usando as pontas de medição com a configuração da figura 4.4.

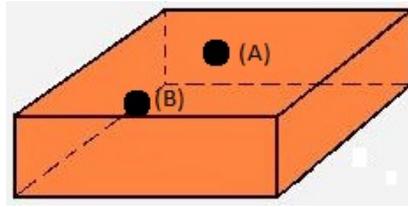


Figura 5.4: Filetes de bacalhau.

5.3 Determinação do teor de água instantâneo da amostra

Após a aquisição dos valores da tensão e da massa da amostra num instante t , procedeu-se à determinação do teor de água inicial da amostra utilizando a equação 5.1, onde X_{Bu} é o teor de água em base húmida e que é dado pela diferença entre a massa inicial m_0 e a massa seca m_f , sobre a massa inicial. Todos os cálculos efectuados tiveram em conta a determinação do teor de água em base húmida.

$$X_{Bu} = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \cdot 100 \quad (5.1)$$

O processo da determinação do teor de água final da amostra é em tudo semelhante à determinação do teor de água inicial, contudo foi utilizada a amostra retirada do secador após o final de cada experiência de secagem. A determinação do teor de água instantâneo da amostra pode então ser calculado a partir da equação 5.2, onde $m(t)$ é a massa da amostra em cada instante e que é recolhido da balança digital ?.

$$X(t) = \frac{(X_0 - X_f)(m(t) - m_0)}{m_0 - m_f} + X_0 \quad (5.2)$$

5.4 Determinação da condutividade

A condutividade, equação 5.3, pode ser definida como sendo o inverso do valor resistência, dependendo ainda da secção transversal do material e da distancia que separa os dois electrodos.

$$C(t) = \frac{l}{R(t) \cdot S} \quad (5.3)$$

Para calcular o valor da resistência eléctrica do bacalhau admitimos que o bacalhau características semelhantes a uma resistência variável e que varia com a variação do teor de água presente no bacalhau. Nestas condições o sistema implementado para a medição da tensão possui características a um divisor resistivo representado na figura 5.5, onde R_2 representa a resistência eléctrica do bacalhau, V_{cc} a tensão aplicada na ponta de medição e V_{ref} a tensão medida pelo sistema implementado em cada instante.

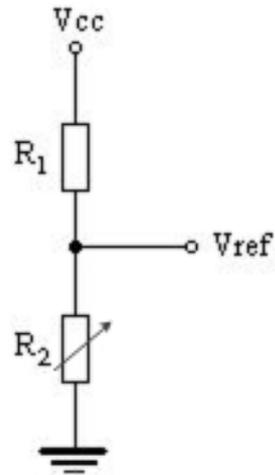


Figura 5.5: Divisor resistivo.

Analisando o circuito eléctrico podemos concluir que a resistência eléctrica instantânea do bacalhau pode ser determinada pela equação 5.4, onde $R_2(t)$ é a resistência eléctrica instantânea do bacalhau e $V_{ref}(t)$ o valor da tensão medida em cada instante.

$$r_2(t) = \frac{-V_{ref}(t) \cdot r_1}{V_{cc} - V_{ref}(t)} \quad (5.4)$$

Capítulo 6

Resultados Experimentais

6.1 Medição da condutividade Bacalhau fresco e Bacalhau "verde"

Seguidamente serão apresentados os resultados experimentais obtidos a partir dos ensaios experimentais feitos em bacalhau fresco (1º ensaio) e bacalhau "verde" (2º ensaio), comparando os valores obtidos e o tipo de tensão aplicada.

6.1.1 Resultados das medições em Bacalhau Fresco

A figura 6.1 representa a comparação dos valores obtidos com a aplicação de uma tensão contínua e uma onda quadrada em função do teor de água calculado a partir da medição da massa.

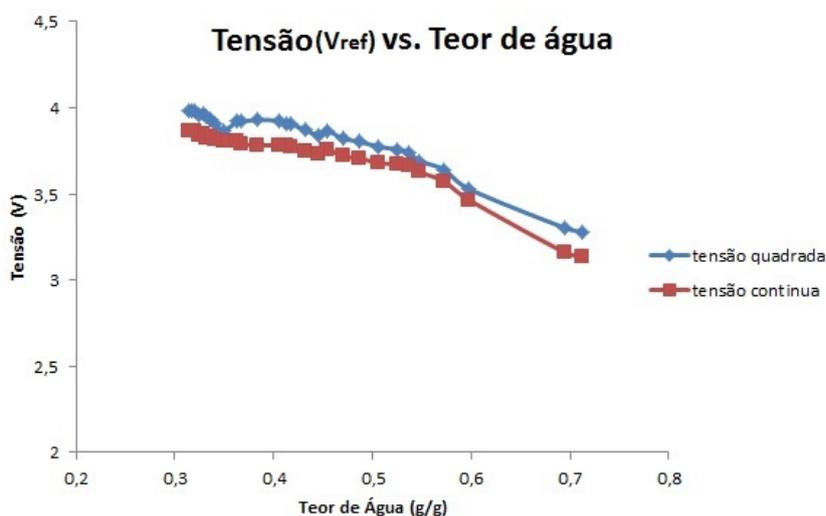


Figura 6.1: Gráfico da tensão de referência (V) em função do teor de água em Bacalhau fresco.

As curvas obtidas mostram que existe uma boa relação entre a tensão obtida tanto com a aplicação de uma tensão contínua como na aplicação de uma onda quadrada possuindo uma relação próxima do linear ao longo de um intervalo de teor de água elevado (entre 30% e os 80%). Ambas as curvas possuem uma forma idêntica ao longo do ensaio, sendo que o

valor da tensão lida quando é aplicada uma tensão contínua à amostra é menor podendo assim utilizar um intervalo de tensões maiores.

Como já foi referido, a condutividade (inverso da resistência eléctrica) é uma propriedade do material que está directamente relacionada com a tensão. Para calcular o valor da condutividade é utilizada a equação 5.4 que calcula a resistência eléctrica da amostra. A figura 6.2 representa a variação da resistência eléctrica em função do teor de água.

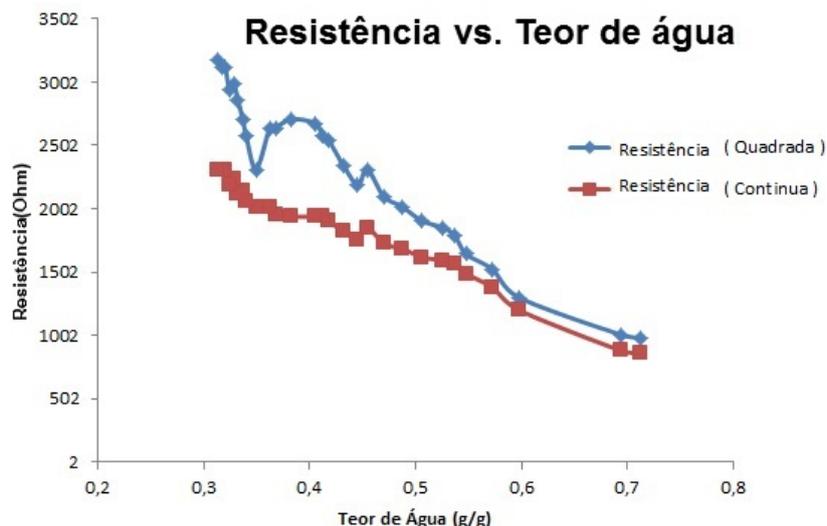


Figura 6.2: Gráfico da Resistência eléctrica (Ohm) em função do teor de água em Bacalhau fresco.

Naturalmente que a relação entre resistência eléctrica da amostra e o teor de água que contém a amostra se mantêm. No entanto, a resistência eléctrica mostrou-se muito mais susceptível a variações da tensão, ou seja, uma pequena variação da tensão implica uma grande variação da resistência eléctrica.

Por fim, a condutividade pode ser expressa como o inverso da resistência eléctrica. Assim, a figura 6.3 representa a condutividade da amostra ao longo do ensaio expressa em função do teor de água.

Ao contrário da resistência eléctrica, a condutividade em termos relativos é menos susceptível à variação de tensões em parte devido a sua ordem de grandeza, ou seja, apesar de ambas as grandezas estarem relacionadas e variarem de igual forma, uma vez que a ordem de grandeza da resistência eléctrica é muito maior, uma pequena variação torna-se mais perceptível em comparação com a condutividade.

6.1.2 Resultados das medições em Bacalhau Verde

Seguidamente, procedeu-se ao mesmo ensaio experimental usando uma amostra de bacalhau verde (bacalhau apenas salgado com um teor de sal de 16%), com o objectivo de comparar os resultados entre bacalhau fresco e bacalhau "verde". A figura 6.4 representa a tensão obtida ao longo do tempo em função do teor de água.

Tal como aconteceu com a amostra de bacalhau fresco, também neste ensaio houve uma boa relação entre condutividade da amostra e teor de água. No entanto é possível observar que o sal influencia de forma negativa a relação próxima do linear que existia inicialmente.

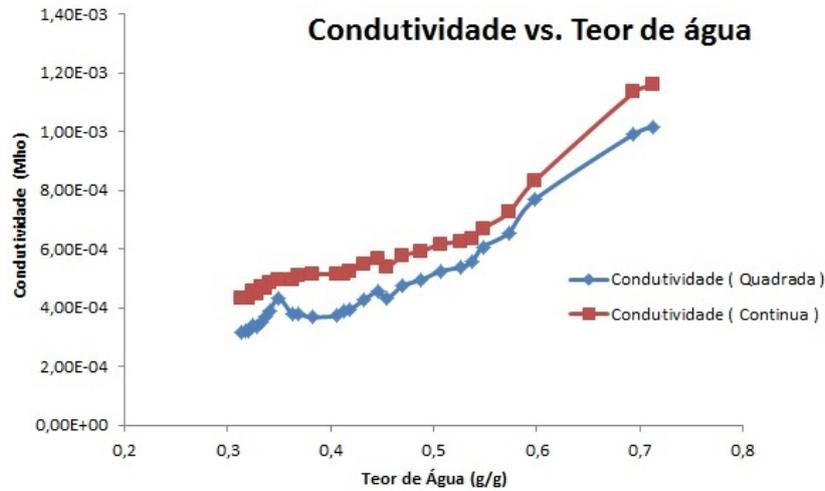


Figura 6.3: Gráfico da Condutividade (Mho) em função do teor de água em Bacalhau fresco.

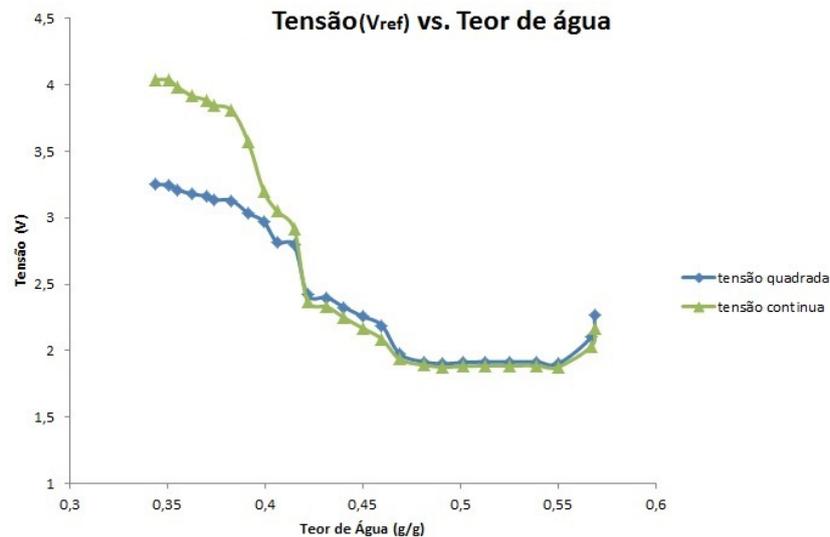


Figura 6.4: Gráfico da tensão de referência (V) em função do teor de água em bacalhau salgado.

É possível observar para teores de água mais elevados (acima dos 46%), a tensão lida é praticamente constante e menor quando comparada com o valor lido no primeiro ensaio para o mesmo teor de água na amostra. Tal como anteriormente é possível expressar a resistência eléctrica (figura 6.5) e a condutividade (figura 6.6) em função do teor água, apresentando as mesmas características que as curvas anteriores.

6.1.3 conclusão

Em ambos os ensaios observou-se que é possível obter uma relação entre a condutividade da amostra e o teor de água que esta possui. Nos resultados experimentais obtidos no segundo ensaio verificou-se que o sal influencia de forma negativa a leitura da condutividade, ou seja,

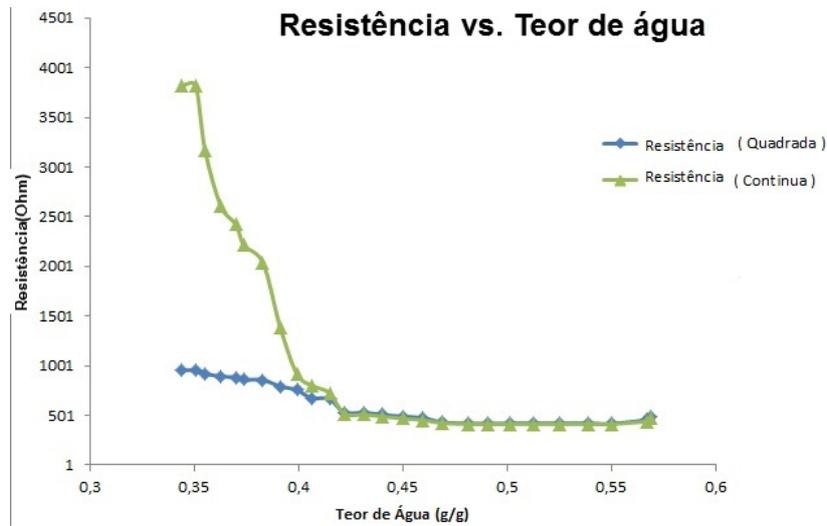


Figura 6.5: Gráfico da resistência eléctrica (Ohm) em função do teor de água em bacalhau salgado.

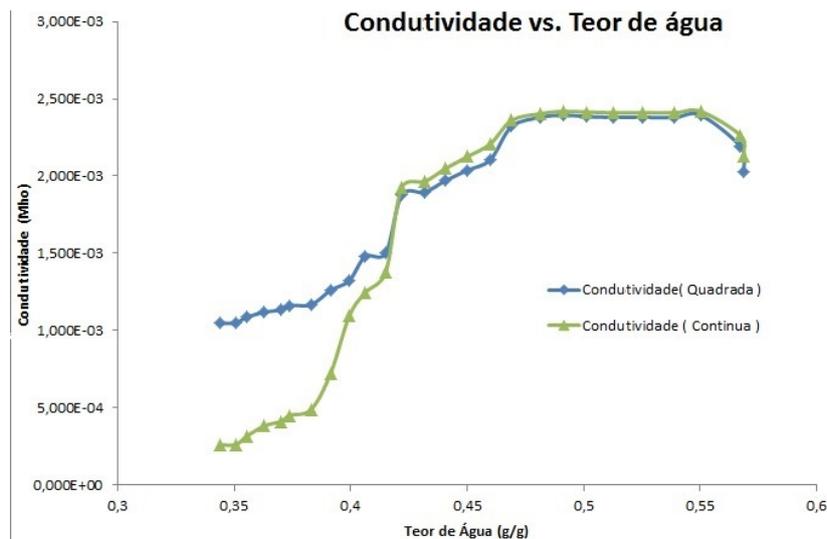


Figura 6.6: Gráfico da Condutividade (Mho) em função do teor de água em bacalhau salgado.

para valores elevados de teor de água (acima dos 46%) a condutividade é constante. Como já referido anteriormente, os valores de teor de água comercialmente permitidos (entre 46% e 58%). Contudo, para valores de teor de água abaixo dos 46% a curva da tensão obtida da amostra de bacalhau "verde" comporta-se de forma semelhante à curva amostra de bacalhau fresco o que mostra ser possível encontrar uma relação entre a condutividade e o teor de água para um intervalo de teor de água mais pequeno.

Analisando o esquema eléctrico (figura 4.3) que foi utilizado nestes dois ensaios experimentais é possível concluir que o valor da tensão lida é influenciada directamente por R_1 . O valor desta resistência afecta tanto a sensibilidade do sistema como a grandeza dos valores de tensão obtidos. Como se verificou, a aplicação de uma onda quadrada não trás qualquer

vantagem na medição da condutividade. Por outro lado, o esquema eléctrico a apresentado apresenta algumas limitações tais como o limite da tensão máxima ser de $4,3V$ devido aos $0,7V$ de queda entre a base e o emissor. Além disto, o sal comporta-se de forma capacitiva fazendo com que exista um intervalo de tempo para que este seja completamente carregado, a comutação entre pontas de medição pode fazer com que a amostra seja parcialmente descarregada não dando tempo suficiente para completar o carregamento antes de efectuar uma nova leitura.

6.2 Velocidade de Secagem em Bacalhau "verde"

Após os resultados experimentais obtidos do primeiro e segundo ensaios, optou-se por aplicar apenas uma tensão contínua para aquisição de dados. Tal como já foi descrito no capítulo 4, para este ensaio experimental foi utilizado um sensor constituído por duas pontas de medição que trabalham com a aplicação de um tensão constante de $5V$. Estas pontas são independentes podendo ser utilizadas na mesma amostra ou em amostras diferentes. Seguidamente serão apresentados os resultados obtidos que mostram a diferença do tempo de evaporação da água entre o centro da amostra e a extremidade da amostra.

Assim na figura 6.7, tal como feito anteriormente apresenta-se o gráfico que mostra a variação da tensão em função do teor de água.

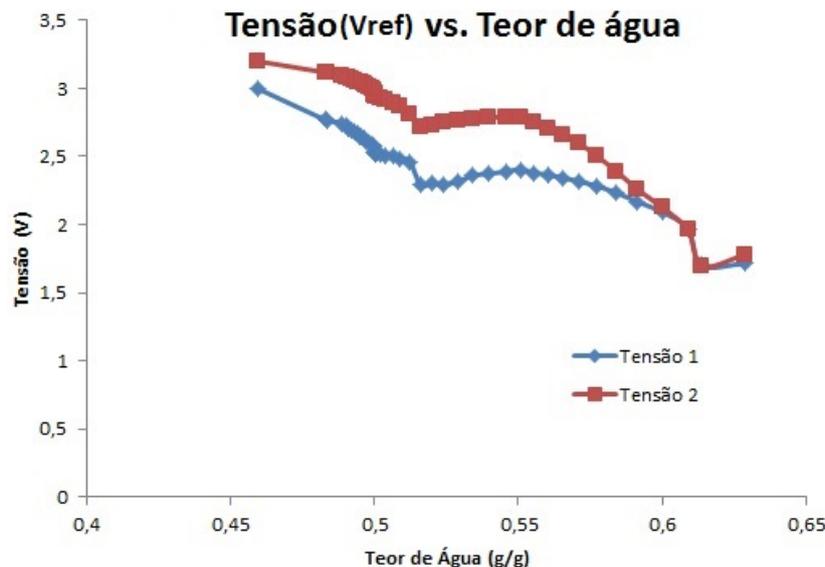


Figura 6.7: Gráfico da tensão de referência (V) em função do tempo em bacalhau salgado.

A nova configuração das pontas de medição permitem obter uma curva que traduz uma boa relação entre a condutividade e o teor de água, eliminando o problema existente inicialmente em que para teores de água elevados havia pouca variação da condutividade.

Tal como nos ensaios experimentais efectuados anteriormente, é possível relacionar matematicamente a tensão obtida com a resistência eléctrica e a condutividade da amostra. Assim a figura 6.8 representa a resistência eléctrica da amostra em função do teor da água e a figura 6.9 representa a condutividade da amostra em função do teor de água.

Nos gráficos apresentados, a curva 1 representa a medição efectuada pela ponta de medição

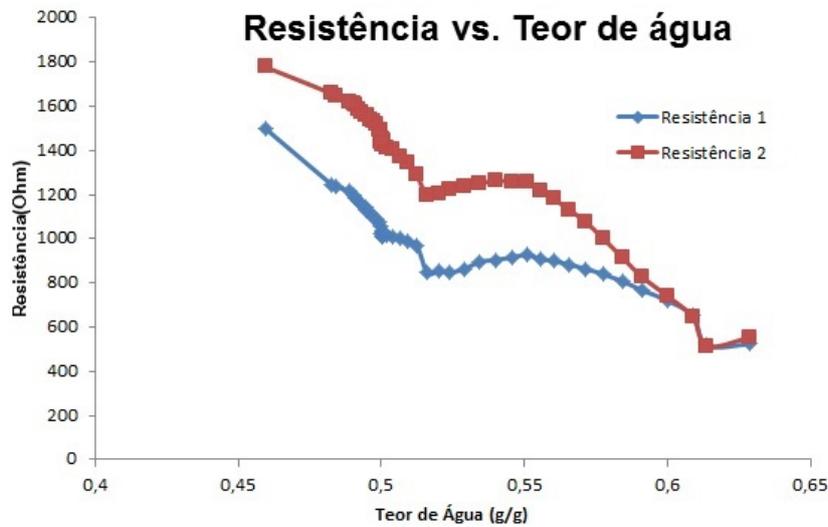


Figura 6.8: Gráfico da resistência eléctrica (Ohm) em função do tempo em bacalhau salgado.

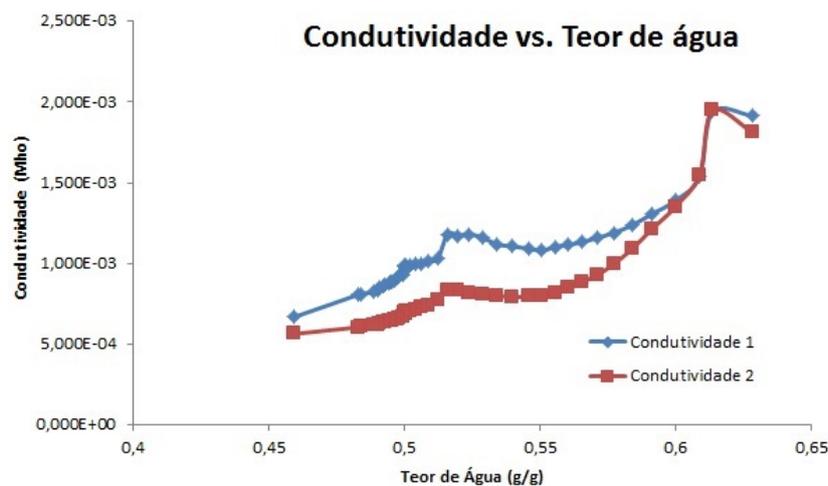


Figura 6.9: Gráfico da condutividade (Mho) em função do tempo em bacalhau salgado.

1 que se encontrava no centro da amostra e a curva 2 a medição efectuada pela ponta de medição 2 que se encontrava na extremidade da amostra. Observando as curvas obtidas é possível concluir que existe uma proporcionalidade directa entre a condutividade e o teor de água nomeadamente para o intervalo de valores comercialmente permitidos. Esses valores como referidos anteriormente são de 51% a 58% para bacalhau salgado verde, de 47% a 51% para bacalhau semi-seco, inferior a 47% para bacalhau seco e inferior a 47% para bacalhau de cura amarela.

Como referido no capítulo 2 na secção sistemas de secagem, a velocidade de evaporação da água na amostra é diferente de ponto para ponto, ou seja, a perda de água nas extremidades (superfícies) da amostra ocorre muito mais rapidamente que no seu interior. Como forma de compara a velocidade de evaporação entre a superfície e o centro da amostra, obtiveram-se os gráficos das figuras 6.10, 6.11 e 6.12, que representam respectivamente a tensão, a resistência

eléctrica da amostra e a condutividade da amostra em função do tempo. A curva 1 representa a medição efectuada pela ponta de medição 1 que se encontrava no centro da amostra e a curva 2 a medição efectuada pela ponta de medição 2 que se encontrava na extremidade da amostra.

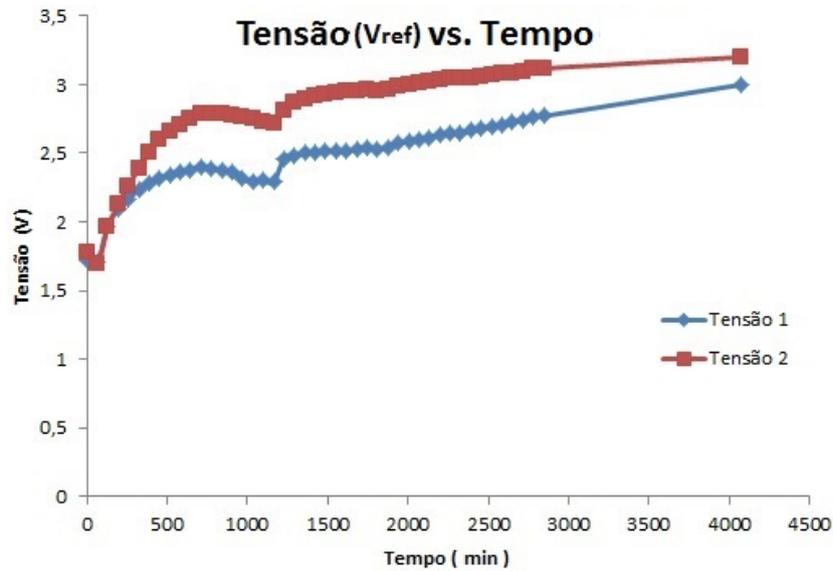


Figura 6.10: Gráfico da tensão referência (V) em função do tempo em bacalhau salgado.

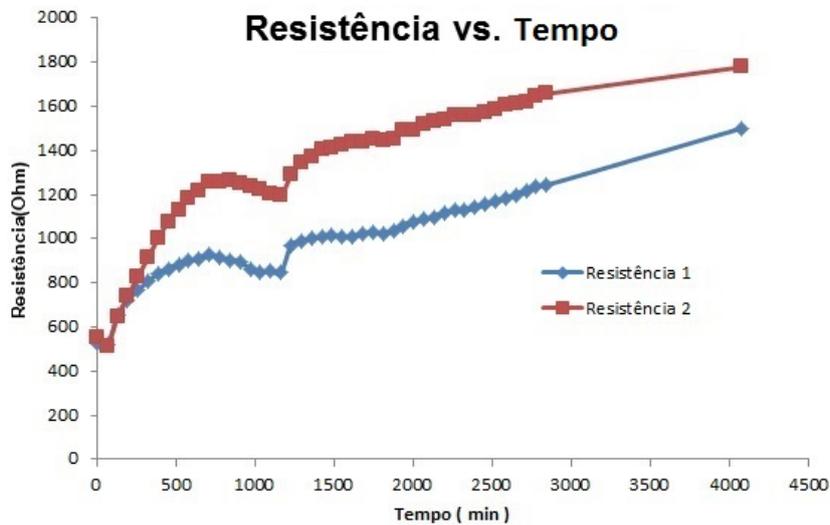


Figura 6.11: Gráfico da resistência eléctrica (Ohm) em função do tempo em bacalhau salgado.

6.2.1 conclusão

Nas curvas obtidas são possível observar que existem duas zonas críticas que se comportam de forma inconstante. A primeira zona crítica é no início do ensaio experimental onde existe um decaimento entre o primeiro valor de tensão lido e o segundo. Após este decaimento a

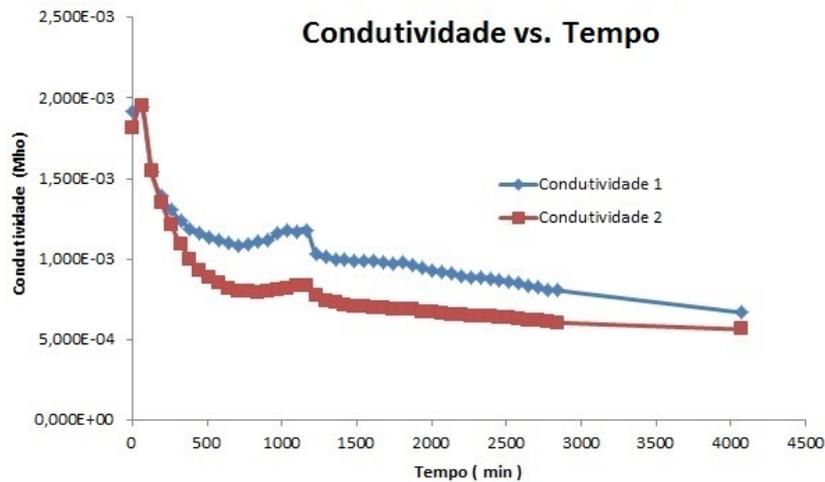


Figura 6.12: Gráfico da Condutividade (Mho) em função do tempo em bacalhau salgado.

curva mantêm uma forma constante. As causas que podem causar este decaimento não são certas porém, podem acontecer devido à actividade de água que aumenta com a temperatura fazendo com que a condutividade da amostra aumente. A temperatura é sem dúvida uma variável importante para a secagem. Esta afirmação pode ser justificada com a segunda zona critica na curva onde existe novamente uma queda nas medições. Esta quebra coincidiu com o momento em que a porta da estufa foi aberta durante o ensaio experimental. É importante manter uma temperatura de secagem constante sem que esta seja demasiada baixa alongando assim o tempo de secagem nem que esta seja demasiada alta fazendo com que haja uma cristalização do sal na superfície impedindo que a água do interior seja evaporada.

Em relação à velocidade de secagem da amostra podemos observar que esta começa a sofrer um desfasamento após algumas horas. Desfasamento esse que se mantêm constante ao longo do ensaio experimental começando a diminuir até que ambas as curvas voltam a coincidir. Nas curvas obtidas, mostram esta convergência para um ponto único. Tal como observamos experimentalmente também na secagem industrial do bacalhau existe o conhecimento do desfasamento entre a superfície e o interior do bacalhau. Actualmente a forma que existe para contornar é dividir a secagem do bacalhau em estágios onde cada estágio está dividido por um intervalo de tempo de descanso permitindo que o teor de água que se encontra no interior do bacalhau encontre o seu equilíbrio. Este intervalo de tempo é incerto e depende de várias variáveis. Assim sendo é possível monitorizar o tempo de descanso do bacalhau até que este esteja novamente em equilíbrio, eliminando assim tempos mortos entre cada estágio.

6.3 Sensibilidade de Secagem em Bacalhau " verde "

Este ensaio teve como principal objectivo avaliar a sensibilidade que a resistência $R1$ dá à aquisição de dados. Para tal o valor da resistência $R1$ da ponta de medição 1 foi alterada de $1K\Omega$ para $10K\Omega$. Nas figuras 6.13 e 6.14 estão representados os gráfico do valores obtidos utilizando uma resistência de $10K\Omega$ na curva 1 e de $1K\Omega$ (utilizada nos ensaios anteriores) na curva 2. Ambas as leituras foram feitas no centro da amostra.

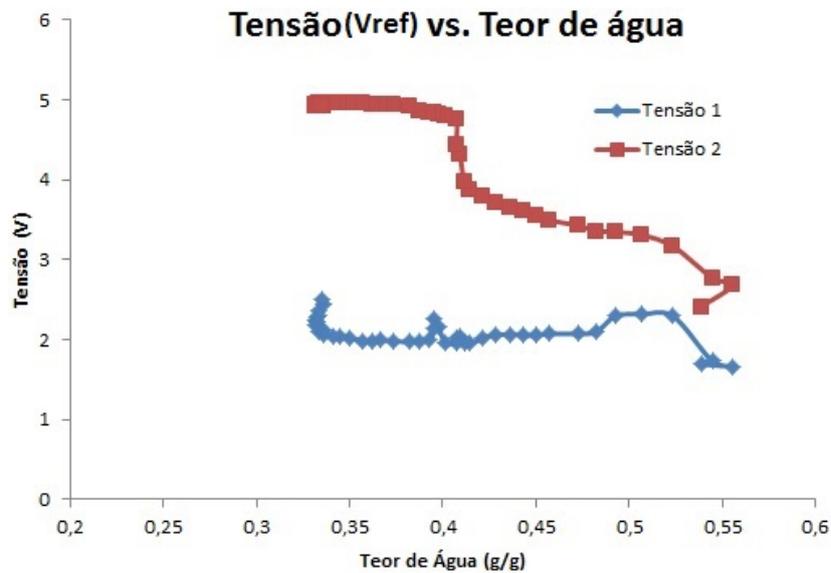


Figura 6.13: Gráfico da tensão de referência (V) em função do teor de água em bacalhau salgado.

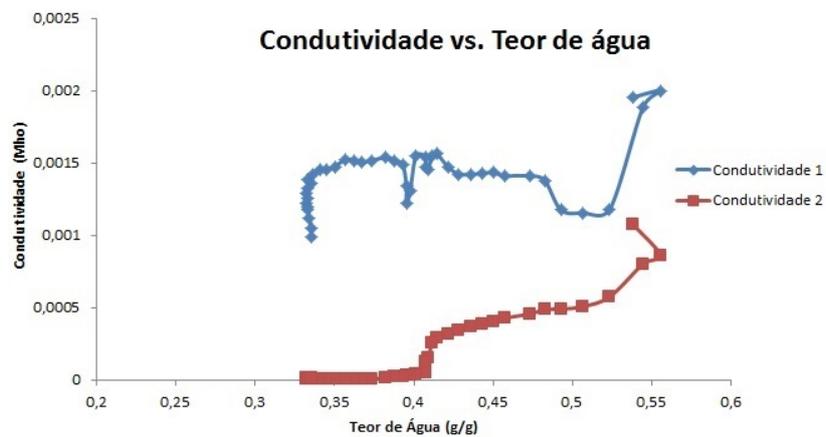


Figura 6.14: Gráfico da condutividade (Mho) em função do teor de água em bacalhau salgado.

6.3.1 Conclusão

O ensaio realizado demonstra que a sensibilidade do sensor pode ser ajustada pela resistência $R1$. Neste caso o valor de $10KHz$ foi demasiado grande levando a que a condutividade lida se mantivesse constante ao longo de quase todo o ensaio experimental. Observando os gráficos obtidos podemos observar que apenas no final do ensaio o valor da condutividade começa a alterar, ou seja, o aumento do valor de $R1$ altera o intervalo de valores do teor de água em que o sensor é sensível.

Esta propriedade pode-se tornar bastante interessante na utilização da medição do teor de água noutros alimentos em que pretendemos monitorizar um teor de água diferente. No caso desta dissertação, como já referimos o intervalo de valores de teor de água que são comercializados variam desde os 45% (ou inferior) até aos 58%. Observando a curva 2 é

possível concluir que para esta dissertação o valor escolhido de $1K\Omega$ para a resistência $R1$ é ideal.

Por fim, é ainda importante referir que devido à irregularidade natural da espessura da amostra e apesar de se ter tentado efectuar as medições utilizando mesma espessura em cada amostra, neste ensaio foi possível visualizar a diferença de espessura em relação ao ensaio anterior. Posto isto pode-se observar que tal como foi dito no ensaio anterior, a velocidade de evaporação não é uniforme e depende entre outras variáveis da espessura. Tal facto é possível observar no início de cada ensaio em que temos uma diferença de teor de água considerável.

6.4 Determinação do teor de água

Este ensaio experimental tem o objectivo de validar a determinação do teor de água directamente a partir da medição da tensão relacionando-a com o teor de água. Para determinar a curva capaz de relacionar a tensão de referência V_{ref} com o teor de água, foi criada uma linha de tendência recorrendo ao Excel. Tendo em conta que os valores do teor de água que são encontrados no bacalhau que é comercializado se encontra num intervalo entre 40% e 58%, recorrendo aos ensaios anteriores e aos valores obtidos no centro da amostra e com uma resistência de $1K\Omega$, obteve-se o gráfico da figura 6.15 que representa os valores da tensão de referência em função do teor de água no intervalo 40% e 58%.

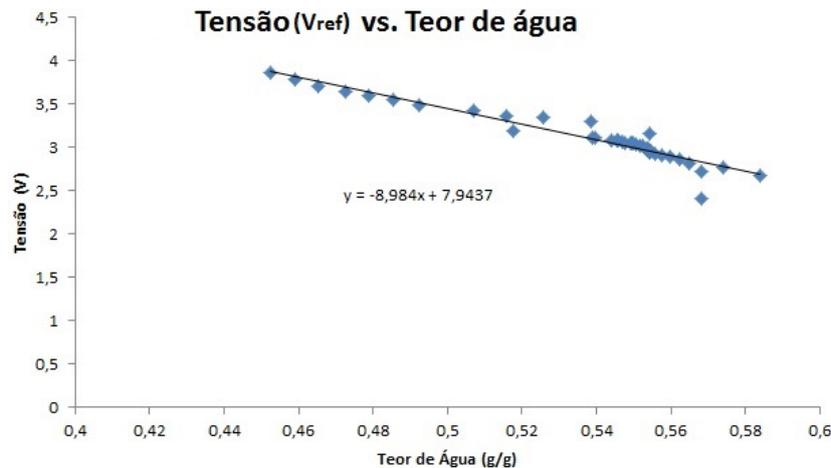


Figura 6.15: Determinação da expressão que relaciona a tensão medida com o teor de água.

A curva de tendência que se encontra no gráfico relaciona de forma linear a tensão em função do teor de água e pode ser dada pela equação 6.1 onde, $V(t)$ é o valor da tensão num dado instante e $X(t)$ é o valor do teor de água nesse mesmo instante. A linha de tendência possui um valor de correlação de 0,92 com os pontos obtidos experimentalmente o que significa que a curva encontrada está muito perto do comportamento dos valores que obtivemos experimentalmente.

$$V(t) = -8,984 \cdot X(t) + 7,9437 \quad (6.1)$$

Resolvendo a equação 6.1 em ordem ao teor de água é possível determinar o teor de água

tendo como base a medição da tensão. A equação que define o teor de água em função da tensão medida num dado instante pode se dada pela expressão 6.2.

$$X(t) = \frac{V(t) - 7,9437}{-8,984} \quad (6.2)$$

Por fim, para validar a equação que traduz o comportamento da condutividade durante a seca do bacalhau procedeu-se à secagem de uma amostra retirando alguns valores da tensão durante o processo. No gráfico da figura 6.16, é possível observar a vermelhos os pontos obtidos a partir da equação 6.1 e a azul os valores obtidos on-line durante um ensaio utilizando a equação 6.2.

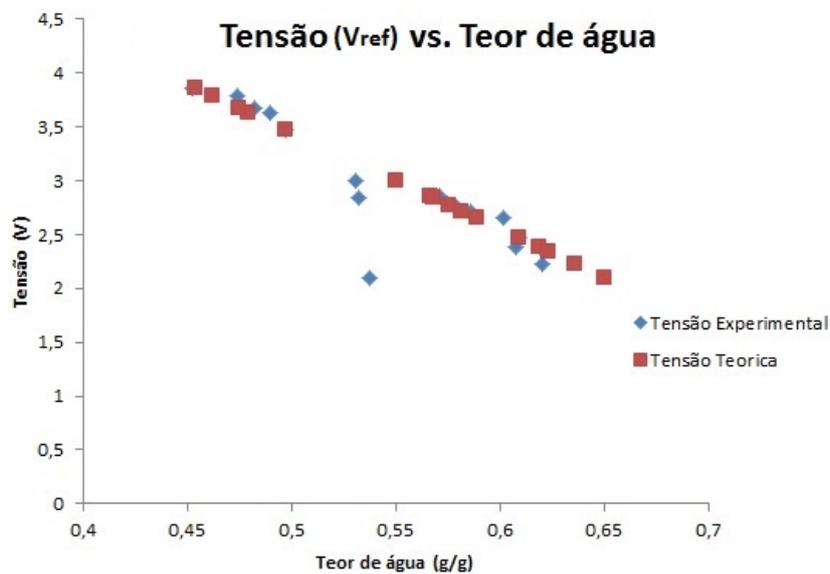


Figura 6.16: Gráfico de comparação entre valores experimentais e curva teórica.

Na figura 6.16, No gráfico é possível observar que existem pontos que se afastam mais da curva teórica. De facto ao contrário dos ensaios anteriores este não foi monitorizado durante todo o seu processo sendo apenas retirados alguns valores durante a seca levando a concluir que até que os valores da condutividade da amostra se equilibrem é necessário esperar algum tempo.

Capítulo 7

Conclusões

7.1 Conclusão e Discussão

Após a realização deste trabalho podem ser retiradas as seguintes conclusões:

Relativamente ao sistema de sensores sem fios, a utilização dos módulos XBee proporcionam uma grande mobilidade no posicionamento do sensor de monitorização online. Este ao ser alimentado por 5V possibilita a utilização de baterias para o seu funcionamento. Na aquisição de dados, o modulo conversor analógico para digital do microcontrolador fornece uma conversão com o tamanho de 10-bits (conversão de 0 a 1023). Para enviar o valor de conversão, o valor obtido era convertido numa String passando a ter um tamanho total de 32-bits. Inicialmente a mensagem correspondente aos 10-bits era enviada com erros principalmente em ambientes com bastante poluição electromagnéticas. Outra das razões que contribuíram para os erros de transmissão de dados foi, possivelmente algum problema com o esquema e montagem do circuito eléctrico. Para resolver este problema optou-se por enviar 8-bits que corresponde ao tamanho de um caractere que constitui a string havendo um pequeno *delay* entre o envio de cada caractere. Apesar deste método não resolver o problema e tornar o envio da mensagem mais lento, o envio de mensagens fragmentadas diminui o erro de transmissão e não prejudica o sistema e a monitorização, levando a que se mantenha uma implementação simples.

A utilização dos módulos XBee possibilita a colocação do sensor em qualquer ponto da estufa e a utilização de duas pontas de medição possibilita que no máximo sejam monitorizados apenas dois pontos diferentes na estufa continuando haver zonas críticas. A solução para este problema passa por colocar vários sensores de medição pela estufa como uma rede de sensores.

Relativamente aos ensaios experimentais realizados, é possível concluir que o método escolhido permite relacionar de uma forma muito próxima do linear a relação que existe entre a condutividade e o teor de água. Os primeiros 2 ensaios tiveram como objectivo apenas de prever o comportamento da condutividade do bacalhau com alteração da concentração de sal e o tipo de comportamento que poderíamos esperar das medições futuras. Tal como era de esperar estes ensaios mostraram que o sal influencia de forma negativa a condutividade. O esquema inicialmente desenvolvido mostrou-se pouco sensível principalmente para o intervalo de teor de água comercialmente vendido. Contudo, tendo em conta que no mundo industrial o processo de salga é completamente manual e sem qualquer controlo e a sua monitorização

será feita em matérias-primas com uma concentração de sal próxima dos 16% podendo esta flutuar em valores próximos, podemos considerar que estas flutuações não provocam grande influencia na medição da condutividade.

Durante os restantes ensaios experimentais foi possível visualizar que a espessura da amostra utilizada para cada ensaio era diferente devido à irregularidade natural que a matéria-prima possui. Apesar desta variável influenciar a medição da condutividade devido sobretudo por haver uma penetração maior de sal durante a salga e um menor teor de água, como já referido na revisão bibliográfica, os resultados obtidos mostraram que este método de medição não se mostrou sensível a esta variável.

Em relação ao ensaio experimental que mostrou a diferença de velocidade existente entre a superfície da amostra e o seu centro, foi possível observar que ao longo do ensaio a diferença do teor de água mantém-se constante começando a diminuir para valores de teor de água inferiores aos normais de comercialização. Industrialmente, a monitorização da diferença de velocidade entre a superfície e o centro poderá trazer duas vantagens na optimização do processo. A primeira vantagem é a possibilidade de monitorização do tempo de descanso necessário até que haja novamente o equilíbrio do teor de água na amostra eliminando o tempo excedente após o teor de água atingir o equilíbrio na matéria-prima. Outra das vantagens é a possibilidade de passar a monitorizar os valores de teor de água à superfície e centro da matéria-prima e, conjugando estes valores antecipar o fim do processo de secagem eliminando assim o tempo de descanso durante o processo, permitindo que a matéria-prima adquira o teor de água pretendido através da obtenção de equilíbrio do teor de água fora da estufa.

Apesar deste método se ter mostrado bastante viável, não possibilita um grau de exactidão muito elevado devido não só às características da matéria-prima, características do meio envolvente, mas também devido ao sistema electrónico e à sua baixa implementação e custo que afecta a aquisição de dados. Contudo, sendo o processo de transformação de bacalhau um método natural sem grande controlo não necessitando de uma grande exactidão, este sensor de monitorização online proporciona um bom controlo nas estufas, principalmente devido à sua capacidade de monitorizar pontos diferentes na mesma matéria-prima ou em matérias-primas diferentes.

Contudo, houve limitações que dificultaram a obtenção de dados nos ensaios experimentais. A estufa usada para a secagem da amostra não possui-a controlo de humidade aumentando o tempo do ensaio. O controlo de temperatura dentro da estufa era inconstante provocando erros no valor da temperatura de 2 a 3 graus. Devido ao erro no controlo de temperatura da estufa e à temperatura usada no segundo ensaio mais elevada, foi possível observar a cristalização do sal na superfície da amostra, sendo um este um factor que influenciou o tempo de secagem da amostra aumentando-o.

Por fim, um problema que poderá influenciar os valores medidos foi o fenómeno de corrosão das pontas utilizadas para a medição. Devido ao tamanho das amostras houve a necessidade de utilizar pequenas pontas finas. No final de cada ensaio era possível observar nas pontas alguma deterioração. A resolução deste problema passa por utilizar pontas devidamente protegidas para que este fenómeno não aconteça. Contudo é importante salientar que pontas de medição mais grossas irão produzir uma destruição parcial da amostra.

Em conclusão este trabalho proporcionou resultados que podem levar a afirmar a possibilidade de usar este sistema na monitorização da seca do bacalhau. Contudo, será interessante utilizar este sistema em ensaios com amostras de bacalhau provenientes de outros lotes de forma a testar a repetibilidade de aquisição de dados em matérias-primas diferentes. A utilização deste sistema de sensores poderá ser expandido a outras indústrias alimentares onde exista a necessidade de monitorização do processamento de cura. Relativamente ao sensor de medição pontual este é baseado no mesmo princípio que o sensor de medição online dando apenas a flexibilidade de medição ao operador.

7.2 Trabalhos propostos

Este trabalho permitiu obter conclusões interessantes sobre a seca do bacalhau havendo contudo bastante trabalho que pode continuar a ser desenvolvido. Deixa-se então aqui algumas propostas de melhoria e de futuros trabalhos que possam ser desenvolvidos. Uma das melhorias propostas passa pelo estudo do efeito do sal na condutividade eléctrica conjugando o teor de sal, o teor de água e a condutividade eléctrica obtendo uma curva de secagem independente da do teor de sal inicial.

O método utilizado para a medição da condutividade, conforme estudado no estado da arte, é um método considerado não destrutivo, no entanto existe a penetração na amostra fazendo com que não seja possível aplicar este método em outros alimentos onde esta penetração apesar de pequena causa problemas de estética e influência a deterioração dos alimentos como é o caso das frutas. Assim propõe-se o estudo de outras técnicas de medição como o ultrassons para determinação das propriedades do bacalhau nomeadamente o teor de sal, conjugando o estudo já feito com este novo método possibilitando assim o controlo do processo de salga e secagem do bacalhau possibilitando ainda encontrar novas combinações de sal e água no bacalhau obtendo novos sabores e uma melhor qualidade. O estudo de outras técnicas de medição das propriedades do bacalhau baseado na aquisição de dados em tempo real pode ser ainda interessante para a aplicação em outros processos de transformação e conservação de alimentos.

Como vimos anteriormente e segundo (Boeri, 2012), a temperatura é uma variável que influencia directamente a secagem e a obtenção de produto final de qualidade. Propõe-se então o estudo do comportamento da condutividade térmica durante a secagem do bacalhau desenvolvendo um sistema de monitorização e controlo das estufas com base na temperatura do bacalhau de forma a eliminar a cristalização.

Propõe-se ainda o desenvolvimento de um ponto de acesso para que sejam utilizados n sensores.

Por fim, sendo este sistema implementado com *hardware* de baixo consumo de energia, a implementação de um sistema de captação de energia para alimentação tanto do sistema de monitorização em tempo real como o sistema de medição pontual seria um tema interessante uma vez que elimina a necessidade de baterias ou outras fontes de energia.

Bibliografia

Aqua lab. URL <http://www.aqualab.com/>.

C. N. Boeri. *Secagem convectiva de produtos alimentares: otimizacao e controlo*. PhD thesis, 2012.

C. Byrne, G. Downey, D. Troy, and D. Buckley. Non-destructive prediction of selected quality attributes of beef by near-infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1098 nm. *Meat Science*, 49(4):399 – 409, 1998. ISSN 0309-1740. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00005-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00005-9). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174098000059>.

L. M. T. A. Carneiro. *Antecipacao da colheita, secagem e armazenagem na manutencao da qualidade de graos e sementes de trigo comum e duro*, 2003.

A. S. Cassini. *Analise das caracteristicas de secagem da proteiAna texturizada de soja*, 2004.

A. H. Dias. *Optimizacao da secagem de produtos agro alimentares*, 2008.

Digi. Xbee xb24-z7wit-004 datasheet. Technical report, Digi, 2010.

G. Downey. Non-invasive and non-destructive percutaneous analysis of farmed salmon flesh by near infra-red spectroscopy. *Food Chemistry*, 55(3):305 – 311, 1996. ISSN 0308-8146. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00118-2](http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146(95)00118-2). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0308814695001182>.

E. M. Giroto and I. A. Santos. Medidas de resistividade electrica DC em solidos: como efetua las corretamente. *Quimica Nova*, 25:639 – 647, 07 2002. ISSN 0100-4042. URL http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000400019&nrm=iso.

H. R. Heldmann, D.R. *Principles Of Food Processing*. 2000.

S. N. JHA and T. MATSUOKA. Non-destructive techniques for quality evaluation of intact fruits and vegetables. *Food Science and Technology Research*, 6(4):248–251, 2000.

M. Kamruzzaman, G. ElMasry, D.-W. Sun, and P. Allen. Non-destructive prediction and visualization of chemical composition in lamb meat using {NIR} hyperspectral imaging and multivariate regression. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16(0): 218 – 226, 2012. ISSN 1466-8564. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.003>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856412000896>.

E. Lamosa. *Mundo do bacalhau*, 2008. URL <http://www.bacalhau.com.br>.

- R. Masot, M. Alcaniz, A. Fuentes, F. C. Schmidt, J. M. Barat, L. Gil, D. Baigts, R. M. Manez, and J. Soto. Design of a low-cost non-destructive system for punctual measurements of salt levels in food products using impedance spectroscopy. *Sensors and Actuators A: Physical*, 158(2):217 – 223, 2010. ISSN 0924-4247. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424710000117>.
- D. McClements. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology*, 6(9):293 – 299, 1995. ISSN 0924-2244. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89139-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89139-6). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224400891396>.
- Microchip. Pic16f1823 datasheet. Technical report, Microchip, 2010.
- L. E. P. Mizusaki. Comparacao de mecanismos de comunicacao para a casa inteligente, 2010.
- D. Novoa-Diaz, J. Garcia-Alvarez, J. Chavez, A. Turo, M. Garcia-Hernandez, and J. Salazar. Comparison of methods for measuring ultrasonic velocity variations during ageing or fermentation of food materials. *Science, Measurement Technology, IET*, 6(4):205–212, 2012. ISSN 1751-8822. doi: 10.1049/iet-smt.2011.0178.
- J. D. Ponting. Osmotic dehydration of fruit. *Food Technology*, 10:125–128, 1996.
- T. Reis. Pesca do bacalhau, 2008. URL <http://www.geocities.com/j.aldeia/barcos/bacalhau.htm>.
- N. G. Rodrigues. Implementacao de uma rede wi-fi. 2004.
- R. Saggin and J. N. Coupland. Non-contact ultrasonic measurements in food materials. *Food Research International*, 34(10):865 – 870, 2001. ISSN 0963-9969. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00110-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00110-7). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996901001107>.
- J. Santos. Tecnologias e accionamento e comando: Capitulo 1. 2010a.
- J. Santos. Informatica industrial: Capitulo 4. 2010b.
- J. Santos. Tecnologias e accionamento e comando: Capitulo 6. 2010c.
- J. Santos. Informatica industrial: Capitulo 8. 2010d.
- J. Santos. Informatica industrial: Capitulo 9. 2010e.
- J. A. d. C. M. Santos. Sistema domotico baseado em redes zigbee, 2012.
- J. N. V. d. Silva. Suporte de qualidade de servico para aplicacoes tcp/ip sobre redes atm, 2012.
- T. Siqueira. bluetooth - caracteristicas, protocolos e funcionamento. 2006.
- u. D. R. Steve MacKay, Edwin Wright. *Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting*. 2004.
- B. e. S. J. Vaz, J.; Lopes. Processamento de bacalhau salgado seco, 2007.