

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Sistema de Monitorização de Máquina de Extração de Bebidas

Ricardo Filipe Gonçalves Ferreira

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Doutor Armando Araújo

7 de Outubro de 2019

Resumo

Hoje em dia, verifica-se que há uma grande tendência em automatizar os aparelhos eletrônicos, ou seja, diminuir a intervenção humana no seu funcionamento. Tendo isto em conta, neste projeto pretende-se melhorar a eficiência energética do sistema em estudo, aumentando a sua inteligência. O controlador convencional da máquina disponibilizada baseia-se num sistema do tipo SISO, limitando-se apenas a formar gelo, através da ativação dos motores a cada 21 minutos, de forma cíclica, até que a sonda detete a espessura máxima de gelo. Uma vez que este controlador funciona sem qualquer preocupação com o consumo de energia, efetuou-se uma análise do modelo termodinâmico da máquina, de modo a desenvolver um novo controlador que visa a redução do consumo energético, pois permite um controlo mais eficiente dos motores.

Para isso, foram colocados, estrategicamente, 5 sensores de temperatura em diferentes pontos da máquina. Por outro lado, utilizam-se duas sondas com o intuito de adquirir a quantidade de massa de gelo que se forma ao longo do tempo, dentro do depósito de água. Enquanto que a sonda discreta permite saber a massa de gelo existente em apenas 4 níveis, a nova sonda desenvolvida neste projeto mede continuamente o valor de massa de gelo ao longo do tempo.

Por último, com a finalidade de promover uma maior interação do utilizador com o sistema, facilitando a monitorização da máquina em tempo real, apresenta-se a base de dados implementada, que estabelece a ligação entre a máquina e o *website*. Para além de indicar o estado dos motores e os valores de temperatura, este também mostra a quantidade total de bebida extraída e a bebida restante dentro do barril, sendo, assim, possível prevenir o fim do *stock* de bebida inesperadamente. A página *web* tem ainda as funcionalidades de criar eventos, isto é, programar consumos horários previstos, e visualizar os consumos diários durante uma semana.

Abstract

Nowadays, there is an increasing trend to automate electronic devices, that is, to decrease human intervention in their operation. Taking this into account, this project aims to improve the energy efficiency of the system under study by increasing its intelligence. The conventional machine controller provided is based on a SISO system. Ice is formed by activating the motors every 21 minutes until the probe detects the maximum ice thickness. As this controller operates without any concern for energy consumption, an analysis of the thermodynamic model of the machine was carried out in order to develop a new controller that aims to reduce energy consumption as it allows more efficient control of the motors.

So, 5 temperature sensors were strategically placed at different points of the machine. On the other hand, two probes are used to acquire the amount of ice mass that forms over time inside the water tank. While the discrete probe lets you know the existing ice mass at only 4 levels, the new probe developed in this project continuously measures the ice mass value over time.

Finally, in order to promote greater user interaction with the system and improve real-time machine monitoring, the implemented database is presented, which establishes the connection between the machine and the website. Besides indicating the condition of the engines and the temperature values, it also shows the total amount of beverage extracted and the beverage remaining in the barrel, thus preventing the beverage stock from ending unexpectedly. The web page also allows the user to create events, that is, scheduling expected beverage consumptions, and viewing daily consumptions for a week.

Agradecimentos

A realização da presente dissertação de mestrado, seria impossível sem o precioso apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, desejo manifestar o meu maior agradecimento ao meu orientador, Professor Doutor Armando Sousa Araújo, professor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, por toda a paciência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho e durante todo o meu percurso académico.

Agradeço aos meus amigos e colegas de curso, que me acompanharam e ajudaram ao longo do meu percurso académico.

Desejo ainda agradecer ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores e ao técnico Isidro Ribeiro Pereira, por me acolherem nas suas instalações onde desenvolvi este trabalho.

Por último, mas não menos importante, à minha família por todo o apoio incondicional, durante esta etapa da minha vida, que foi decisivo nos momentos mais difíceis e me permitiu completar esta jornada.

Ricardo Ferreira

*“The real problem is not whether machines think
but whether men do. ”*

B. F. Skinner

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Motivação	2
1.3	Estrutura da Dissertação	2
2	Revisão Bibliográfica	5
2.1	Máquina de extração de bebidas à pressão	5
2.2	Subsistemas	6
2.2.1	Sistema de extração	6
2.2.2	Sistema de refrigeração	7
2.2.3	Sistema de controlo	9
2.3	Módulo de controlo	10
2.4	Ganho energético de uma máquina de extração de bebidas	12
3	Modelo matemático do sistema em estudo	15
3.1	Ganhos energéticos no corpo da máquina	15
3.1.1	Superfícies laterais	16
3.1.2	Superfícies superior	17
3.1.3	Superfície inferior	18
3.1.4	Ganho energético da extração de bebida	20
3.1.5	Capacidade frigorífica da máquina	20
3.1.6	Ganho energético do agitador	20
3.1.7	Balanço energético total	21
3.2	Modelo termodinâmico do sistema	21
3.3	Conclusão	22
4	Software	23
4.1	Programas	23
4.1.1	PuTTY	23
4.1.2	TightVNC	24
4.1.3	Qt Creator	25
4.2	Controlador desenvolvido	25
4.2.1	Modelo termodinâmico	27
4.2.2	Estimador da massa de gelo necessária	27
4.2.3	Estimador do tempo de ativação	28
4.2.4	Quantidade de bebida extraída	29
4.2.5	Quantidade de bebida dentro do barril	29
4.2.6	Consumos de bebida reais	30

4.2.7	Bloco de controlo	30
4.3	Conclusão	33
5	Sistema	35
5.1	Arquitetura	35
5.2	<i>Hardware</i>	36
5.2.1	Alimentação do sistema	36
5.3	Circuito de controlo dos motores	36
5.3.1	Botão <i>force start</i>	37
5.3.2	Aquisição de fluxo de bebida	38
5.3.3	Aquisição de temperaturas	39
5.3.4	Sondas de gelo	41
5.3.5	Ligação sem fios (<i>Wi-Fi</i>)	45
5.4	Base de dados	46
5.4.1	Modelo entidade-relação	46
5.4.2	Implementação base de dados	48
5.4.3	Informação recolhida da máquina	48
5.4.4	Informação enviada para a máquina	49
5.5	<i>Website</i>	50
5.5.1	Funcionalidade	52
5.5.2	Verificar consumos de bebida	53
5.6	Conclusão	53
6	Resultado	55
6.1	Comportamento do sistema	55
6.2	Análise do fluxo de bebida extraída	57
6.3	Programar evento	57
6.4	Sonda de medição da massa de gelo contínua	58
6.5	Base de dados e <i>website</i>	61
7	Conclusões e Trabalho Futuro	63
7.1	Satisfação dos Objectivos	63
7.2	Trabalho Futuro	63
A	Base de dados e <i>website</i>	65
	Referências	73

Lista de Figuras

2.1	Máquinas de extração de bebidas vertical e horizontal respetivamente. Retirado de [1] e [2]	6
2.2	Sistema de extração de bebida da máquina de extração de bebidas. Adaptado de [3]	7
2.3	Diagrama representativo do ciclo de compressão a vapor. Adaptado de [4]	8
2.4	Controladores espessura de gelo. Adaptado de [4]	9
2.5	Máquina de estados do controlador convencional	9
2.6	Sonda de gelo convencional. Adaptado de [5]	10
2.7	BeagleBone Black. Retirado de [6]	11
2.8	<i>Inputs e outputs</i> da BBB. Retirado de [7]	11
3.1	Corte longitudinal de uma superfície lateral e resistências térmicas de cada camada	16
3.2	Corte longitudinal da superfície superior e resistências térmicas de cada camada	18
3.3	Corte longitudinal da superfície inferior e resistências térmicas de cada camada	19
3.4	Modelo termodinâmico	22
4.1	Interface gráfica do PuTTY	24
4.2	Ambiente remoto da BeagleBone	24
4.3	Interface gráfica do TightVNC Viewer	25
4.4	IDE Qt Creator	25
4.5	Diagrama de blocos do controlador	26
4.6	Máquina de estados para o estimador da massa de gelo	27
4.7	Máquina de estados para o estimador do tempo de ativação	28
4.8	Algoritmo de distribuição do tempo	29
4.9	Quantidade de bebida extraída	29
4.10	Quantidade de bebida dentro do barril	30
4.11	Consumos de bebida reais	30
4.12	Máquina de estados do ventilador	31
4.13	Máquina de estados do compressor	32
4.14	Máquina de estados do agitador	32
5.1	Arquitetura do sistema	36
5.2	Fonte de alimentação Mean Well. Retirado de [8]	36
5.3	Circuito de controlo dos motores. Retirado de [9]	37
5.4	Botão <i>force start</i>	37
5.5	Circuito para o botão <i>force start</i>	38
5.6	Caudalímetro eletrónico. Retirado de [10]	38
5.7	Circuito elétrico para o caudalímetro	39
5.8	Sensor de temperatura DS18B20 <i>waterproof</i> . Retirado de [11]	40
5.9	Circuito elétrico para os sensores de temperatura	40

5.10	Divisor de tensão para o sensor de temperatura	41
5.11	Protótipo da sonda discreta	42
5.12	Circuito elétrico da sonda discreta	42
5.13	Protótipo da sonda contínua	43
5.14	Protótipo final da sonda contínua	44
5.15	Circuito elétrico da sonda contínua	44
5.16	Adaptador wireless TL-WN725N. Retirado de [12]	45
5.17	Reconhecimento do adaptador após a instalação dos <i>drives</i>	45
5.18	Configuração da rede <i>Wi-Fi</i>	46
5.19	Ligação <i>Wi-Fi</i> estabelecida	46
5.20	Modelo entidade-relação	47
5.21	Fluxograma representativo do funcionamento do <i>website</i>	51
6.1	Variação das temperaturas	55
6.2	Modo de funcionamento dos motores	56
6.3	Fluxo de bebida	57
6.4	Resposta do sistema a um evento criado	58
6.5	Teste da sonda continua antes de ser colocada na máquina	59
6.6	Variação da tensão	59
6.7	Relação entre tensão e quantidade de gelo produzido	60
6.8	Comparação entre a massa de gelo obtida e massa estimada	60
A.1	Base de dados	65
A.2	Página inicial do <i>website</i>	65
A.3	Página de registo	66
A.4	<i>Login</i> bem sucedido	67
A.5	<i>Login</i> inválido	67
A.6	Página de seleção das máquinas	68
A.7	Informações em tempo real da máquina	69
A.8	Programar consumos horários de bebida previstos	70
A.9	Consultar consumos de bebida programados	71
A.10	Página de consulta dos consumos horários de bebida	72

Lista de Tabelas

3.1	Constantes térmicas [13, 14, 15]	16
3.2	Dimensões das camadas que constituem a superfície lateral	17
3.3	Dimensões das camadas que constituem a superfície superior da máquina	18
3.4	Dimensões das camadas que constituem a superfície inferior da máquina	20
5.1	Massa de gelo nas varetas da sonda discreta	43
5.2	Constituição da <i>string</i>	49
5.3	Atributos da tabela “ <i>Timetable</i> ”	50

Abreviaturas e Símbolos

Abreviaturas

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
BBB	<i>BeagleBone Black</i>
BD	<i>Base de Dados</i>
CO ₂	<i>Dióxido de carbono</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
FEUP	<i>Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PHP	<i>PHP: Hypertext Preprocessor</i>
SISO	<i>Single-Input Single-output</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
V _{DD}	<i>Voltage Drain Drain</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>

Símbolos

c_p	Calor específico	$J/(kg \cdot ^\circ C)$ ou $J/(kg \cdot K)$
e	Espessura	m
E	Energia elétrica	kWh
h	Coeficiente de convecção térmica	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ou $W/(m^2 \cdot K)$
L_f	Calor latente de fusão	J/kg
m	Massa	kg
$\dot{m}$	Caudal mássico	kg/s
p	Perímetro	m
P	Potência ativa	W
Q	Potência calorífica	W
r	Raio	m
R	Resistência elétrica	Ω
R_{cond}	Resistência térmica associada à condução	$^\circ C/W$
R_{conv}	Resistência térmica associada à convecção	$^\circ C/W$
S	Área	m^2
T	Temperatura	$^\circ C$
V	Volume	m^3
$\dot{V}$	Capacidade máxima de extração	$L/hora$
ρ	Massa volúmica	kg/m^3
λ	Condutividade térmica	$W/(m \cdot ^\circ C)$ ou $W/(m \cdot K)$

Capítulo 1

Introdução

Neste primeiro capítulo, pretende-se introduzir todo o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação.

O Super Bock Group, antiga Unicer, é a maior empresa portuguesa de bebidas refrescantes, cuja atividade principal se baseia nos negócios da cerveja e da água engarrafada [16]. As máquinas de extração de bebidas permitem extrair bebida a partir de um barril de metal previamente pressurizado com CO_2 . Este sistema é uma solução conveniente e económica para organizações ou indivíduos que vendem grandes volumes de bebida, pois é capaz de a refrigerar, permitindo a tiragem e consumo da bebida à temperatura correta. É neste enquadramento que o Super Bock Group fornece este tipo de máquinas a estabelecimentos de norte a sul do país.

Assim, a presente dissertação tem como principais objetivos, a monitorização em tempo real de uma máquina de extração de bebidas, bem como a criação de um modelo associado à formação do bloco de gelo.

1.1 Objetivos

No presente, as máquinas de extração de bebidas encontram-se ligadas a maior parte do tempo, mesmo que não estejam a ser utilizadas, consumindo energia desnecessariamente. De modo a melhorar o ciclo de manutenção, a eficiência energética e a qualidade do serviço prestado ao cliente final, os objetivos nesta dissertação passam pela implementação de um sistema de sensores/atuadores, que, com acesso a uma rede ethernet, permitem monitorizar e controlar em tempo real uma máquina de refrigeração de bebidas.

Através da utilização de sensores, será possível obter uma estimativa do tempo necessário para se obter uma determinada massa de gelo. Assim, pode-se definir um horário para ligar/desligar a máquina, de modo a utilizar-se apenas a energia estritamente necessária para a tiragem horária de bebida.

Além disso, é necessário implementar uma base de dados para armazenamento de dados provenientes do controlador e, também, uma interface do sistema de monitorização da máquina, baseado numa página *web*. A finalidade da interface não é exclusivamente apresentar os valores presentes

nos sensores e consequentemente o comportamento dos atuadores, mas também permitir ao consumidor agendar os consumos de bebida diários, saber a quantidade de bebida extraída do barril e consultar os consumos que correspondem à realidade.

Assim, para alcançar estes objetivos, foram definidos os seguintes passos:

- Análise das soluções anteriormente desenvolvidas;
- Estudo do funcionamento das máquinas de extração de bebidas;
- Modelizar e validar um modelo termodinâmico para estimar a massa de gelo;
- Implementar e validar o modelo termodinâmico da máquina de extração;
- Cálculo do caudal da bebida a extrair;
- Implementar e validar sonda para medição da massa gelo contínua;
- Otimização do controlador atualmente implementado na máquina;
- Desenvolvimento de uma página *web* para monitorização da máquina;
- Teste e validação da solução.

1.2 Motivação

Atualmente, a energia é o vetor essencial para o desenvolvimento das nações, constituindo o motor que alimenta o seu progresso. A contrapartida do uso intensivo de energia, nas suas diversas formas, relewa-se na destruição progressiva do meio ambiente e na degradação da qualidade de vida [17].

Assim sendo, torna-se essencial a adoção de estratégias de descarbonização e de utilização mais sustentável dos recursos. Para além da poupança energética, a utilização eficiente da energia leva a poupanças financeiras tanto a nível empresarial como também a nível nacional, reduzindo a dependência energética do país.

A indústria cervejeira, da qual faz parte o Super Bock Group, necessita de estratégias para maximizar a eficiência dos seus refrigeradores, especificamente das máquinas de extração de bebidas à pressão, pois possui mais de 50 mil máquinas refrigeradoras espalhadas por todo o país. Nessa perspetiva, o Super Bock Group, em parceria com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, decidiu desenvolver uma solução energética mais eficiente das suas máquinas de extração de bebidas, projeto que originou a presente dissertação.

1.3 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais 7 capítulos:

- Capítulo 2, apresenta-se a revisão bibliográfica sobre as máquinas de extração de bebidas e o seu funcionamento. Além disso, é representado o módulo de controlo utilizado e, por último, efetua-se o estado de arte do ganho energético do sistema;
- Capítulo 3, é descrito o modelo termodinâmico associado à máquina de extração de bebidas em estudo;
- Capítulo 4, é referido o *software* utilizado e o controlador final desenvolvido;
- Capítulo 5, contém a arquitetura do sistema. Sendo assim, referido o *hardware* utilizado e a implementação da base de dados. Por fim apresenta-se o *website* e as suas funcionalidades;
- Capítulo 6, demonstração, com recurso a gráficos, dos resultados obtidos;
- Capítulo 7, conclusões e trabalhos futuros, de forma a melhorar o sistema.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, é descrito o estado da arte desta dissertação, com o objetivo de esclarecer o leitor sobre os principais assuntos abordados para o desenvolvimento do tema apresentado ao longo deste documento. Portanto, ao longo da revisão bibliográfica, são apresentados diferentes sistemas de máquinas de refrigeração, as diversas tecnologias que fazem parte da sua constituição e o seu funcionamento.

2.1 Máquina de extração de bebidas à pressão

As máquinas utilizadas a nível nacional podem apresentar diferentes aspetos, número de colunas de extração, métodos de refrigeração e capacidades de água e bebida. No entanto, de acordo com a máquina disponibilizada para a presente dissertação, foi dado ênfase às máquinas de extração de bebidas convencionais, que utilizam o ciclo de compressão a vapor para arrefecer um certo volume de água, que será responsável pelo arrefecimento da bebida.

O Super Bock Group, dentro deste modelo de extração, disponibiliza máquinas que podem ser verticais, horizontais ou invertidas com diferentes capacidades de extração de bebida (40l, 60l, 100l, 200l), capacidades de água na cuba (26l a 80l) e capacidades frigoríficas [1].

Na figura 2.1, estão ilustrados o modelo vertical e o modelo horizontal. Os modelos são diferenciados pela posição do ciclo frigorífico, no caso do modelo vertical encontra-se na parte inferior do depósito de água, no horizontal, o ciclo frigorífico encontra-se na parte lateral. Existe também o modelo invertido, semelhante à máquina vertical, com a diferença do ciclo frigorífico que é instalado por cima do depósito de água.



Figura 2.1: Máquinas de extração de bebidas vertical e horizontal respetivamente. Retirado de [1] e [2]

2.2 Subsistemas

A máquina fornecida pelo Super Bock Group para a presente dissertação é um modelo vertical de 100L de capacidade de extração de bebida e 52l de capacidade de água, sendo capaz de acumular 20kg de gelo no interior do depósito. A máquina de extração de bebidas pode ser separada em 3 subsistemas principais:

- Sistema de extração e transporte de bebida;
- Sistema de refrigeração;
- Sistema de controlo.

2.2.1 Sistema de extração

O principal objetivo das máquinas de extração de bebidas é a tiragem de bebida do barril e seu transporte até à torneira, sendo, para isso, necessário haver uma diferença de pressão entre o barril e a torneira. De modo a obter uma extração de bebida eficiente, o sistema, representado numericamente na figura 2.2, é composto pelos seguintes componentes:

1. **Botija de gás:** Armazena CO_2 a uma pressão de 50 bar;
2. **Manómetro:** Controla o caudal da extração, impedindo a injeção excessiva de pressão para o barril e evitando a gaseificação excessiva da bebida;
3. **Barril:** Recipiente que armazena a bebida, estes variam em formato e capacidades;
4. **Válvula de pressão:** Faz a ligação do barril à tubagem e cria a diferença de pressão necessária para a extração de bebida, através da injeção de gás pressurizado para dentro do barril;

5. **Tubo de bebida:** Canal responsável pelo transporte da bebida desde que esta é retirada do, passando pelo sistema de refrigeração, até à torneira;
6. **Coluna de extração:** Coluna que se encontra na parte superior da máquina de extração de bebida, que sustenta a torneira para servir a bebida. Por isso, no seu interior passa a tubagem de bebidas, mas também dois tubos de água proveniente do depósito, com o objetivo de reduzir as trocas de calor entre a bebida e o exterior.
7. **Torneira:** Utilizada para servir a bebida, controlando o fluxo de bebida extraída e a formação de espuma.

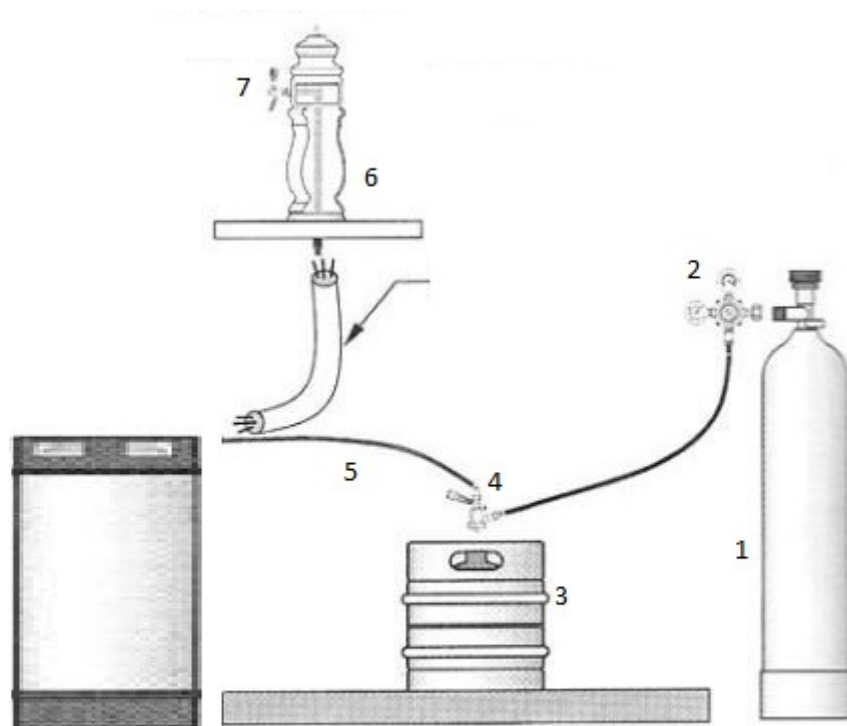


Figura 2.2: Sistema de extração de bebida da máquina de extração de bebidas. Adaptado de [3]

2.2.2 Sistema de refrigeração

Para diminuir a temperatura, é necessário retirar energia térmica de determinado corpo ou meio através de um ciclo termodinâmico. O sistema de refrigeração permite extrair o calor do ambiente a ser refrigerado e enviá-lo para o ambiente externo. A refrigeração não destrói o calor, que é uma forma de energia, apenas o transfere de um lugar não desejado para o exterior.

O sistema de refrigeração da máquina de extração de bebidas utilizada é composto pelo depósito de água e pelo sistema frigorífico, sendo controlado pelo sistema de controlo. O depósito de

água, como já foi referido, tem uma capacidade de 52l de água, sendo possível formar no seu interior um máximo de 20kg de gelo. No interior do depósito, encontram-se a serpentina de bebida, as sondas de gelo, o evaporador e o agitador.

O agitador é responsável pela homogeneização da temperatura da água dentro do depósito, através de um motor elétrico monofásico acoplado a uma hélice na ponta do seu veio. Permite, também, através de um disco de pás no meio do veio, bombear água pela coluna de extração, de modo a aumentar a eficiência do processo de refrigeração e qualidade da bebida, até à sua extração. O evaporador é responsável pela formação de gelo dentro do depósito de água, sendo a espessura do gelo produzido controlado pelas sondas de gelo instaladas. A serpentina de bebida está imersa na água do depósito o que permite trocas de calor entre ambas, de modo a ajustar a temperatura da bebida a extrair.

Os principais ciclos de refrigeração são o ciclo de refrigeração padrão por compressão, o ciclo de refrigeração por absorção e o ciclo de refrigeração por magnetismo. O sistema frigorífico da máquina a utilizar funciona segundo o método baseado no ciclo de compressão a vapor. Para isso, são necessários quatro componentes essenciais: um condensador, um compressor, uma válvula de expansão e um evaporador, ilustrado na figura 2.3. Esta tecnologia é possível através da utilização de um circuito fechado, por onde circula um fluido refrigerante, R-134a [1] que permite trabalhar com pressões mais baixas e é um produto muito eficiente do ponto de vista energético para temperaturas positivas e médias. Este, na forma de líquido saturado, passa pelo dispositivo de expansão, onde é submetido a uma queda de pressão brusca, circulando posteriormente para o evaporador, que arrefece a água do depósito por absorção do calor. De seguida, o fluido refrigerante é comprimido no compressor, até atingir a pressão de vaporização, para que possa ser conduzido através do condensador, onde o calor acumulado pelo gás é libertado para o exterior, com o auxílio de um ventilador. Por fim, o fluido é condensado para iniciar um novo ciclo de refrigeração.

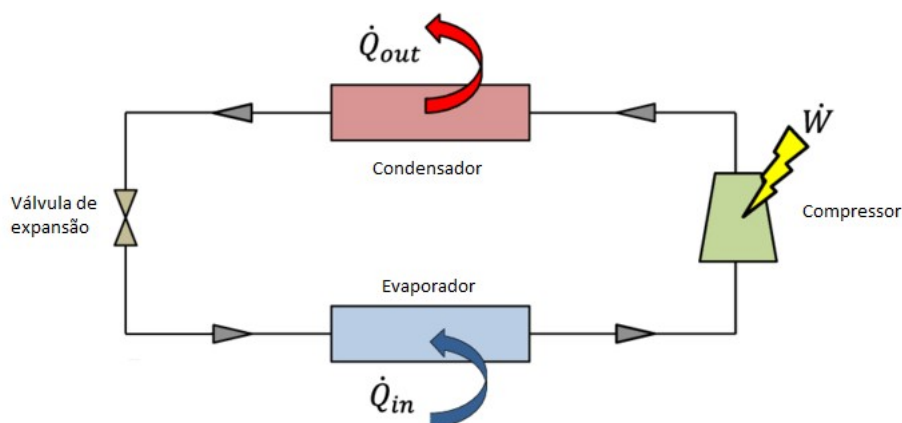


Figura 2.3: Diagrama representativo do ciclo de compressão a vapor. Adaptado de [4]

2.2.3 Sistema de controlo

O sistema de controlo que é habitualmente usado nas máquinas de extração de bebidas, semelhantes à máquina em estudo, contém um controlador AL.912 da Barcinova, figura 2.4, baseado no modelo anterior AL.908 tanto a nível electrónico como a nível da ligação física em relação aos diferentes componentes da máquina. Também, é frequente usar o modelo AL.901 que é compatível com os modelos AL.100, AL.101, AL.108 e AL.111.

O funcionamento deste controlador é muito simples, baseando-se numa máquina de estados com apenas 2 estados: um deles onde o compressor, ventilador e agitador se encontram ativos e outro estado em que estes componentes se encontram desligados, figura 2.5. Contudo, este controlador é energeticamente pouco eficiente.



Figura 2.4: Controladores espessura de gelo. Adaptado de [4]

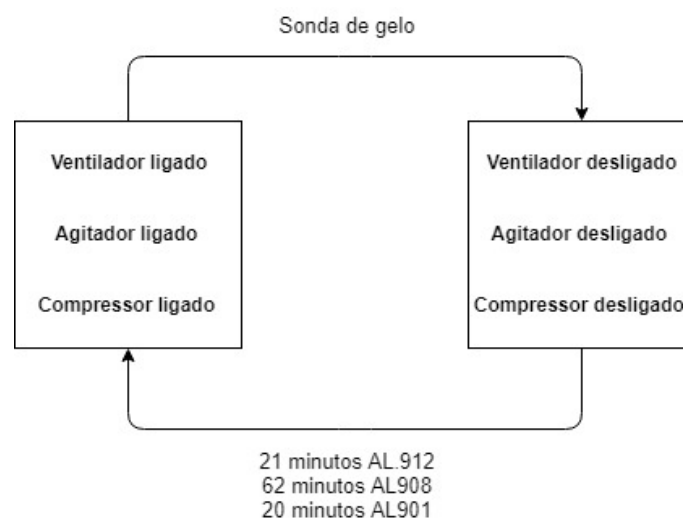


Figura 2.5: Máquina de estados do controlador convencional

Quando a sonda de gelo deteta que a massa de gelo formado atingiu o valor máximo, o controlador transita para o segundo estado, sendo desligada a alimentação dos motores durante 21 minutos. Este tempo de paragem não é igual para os outros controladores, pois o processador utilizado é diferente. Assim, para o controlador AL908, a alimentação das saídas é desligada durante 62 minutos e 20 minutos para o controlador AL901. Após este período de tempo, o processo repete-se de forma cíclica.

A sonda de gelo, figura 2.6, permite ao controlador impedir que o gelo entre em contacto com a serpentina que conduz a bebida, para não a congelar. O seu funcionamento é semelhante ao de um interruptor eléctrico, pois o facto de a água ser um condutor eléctrico permite a passagem de corrente entre os eléctrodos da sonda, ao contrário do gelo. Assim, enquanto a sonda está submersa, mas sem gelo, o valor de tensão é sempre positivo e superior a 0V. Quando os eléctrodos ficarem cobertos de gelo, o valor de tensão é nulo, o que permite ao controlador saber que o gelo produzido já alcançou o nível máximo e, então, desligar o compressor.

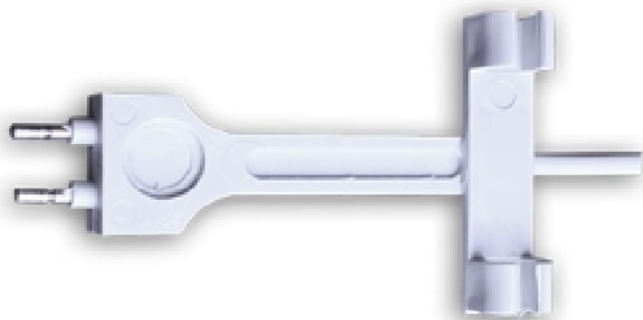


Figura 2.6: Sonda de gelo convencional. Adaptado de [5]

2.3 Módulo de controlo

A fim de obter os valores dos sensores e controlar os motores, é necessário utilizar uma plataforma de controlo. Atualmente, para realizar integrações deste tipo são utilizados microcontroladores, pois, ao nível da portabilidade e económico, são vantajosos em comparação com outras opções. O modelo de controlo utilizado neste estudo foi uma BeagleBone Black (BBB), figura 2.7. A escolha desta plataforma, em detrimento de outras, deve-se ao facto de esta ter sido utilizada recentemente em estudos efetuados na mesma máquina. Assim, é possível reaproveitar funcionalidades já implementadas.

A BBB é um computador de placa única desenvolvido pela Texas Instruments, que corre o sistema operativo Linux, de baixo custo e *open-source*. Além disso, é composto por um processador, na ordem de 1 Ghz [18], que permite o desenvolvimento de aplicações complexas. Este módulo de controlo suporta bibliotecas e aplicações *open-source*, o que é vantajoso para o utilizador. Além disso, permite o acesso à internet via ligação ethernet, suporta também ligação USB e HDMI [19].

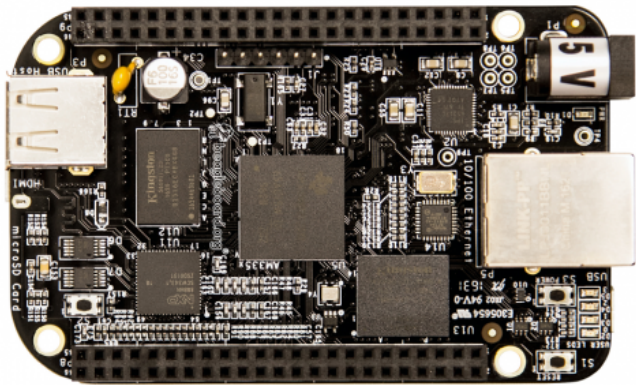


Figura 2.7: BeagleBone Black. Retirado de [6]

No total, a BBB possui 92 pinos, dos quais 65 deles podem ser usados como portas programáveis de entrada e saída (GPIOs), representadas na figura 2.8. Sendo assim, com este elevado número de *inputs* e *outputs*, é possível realizar tarefas diferentes ao mesmo tempo.

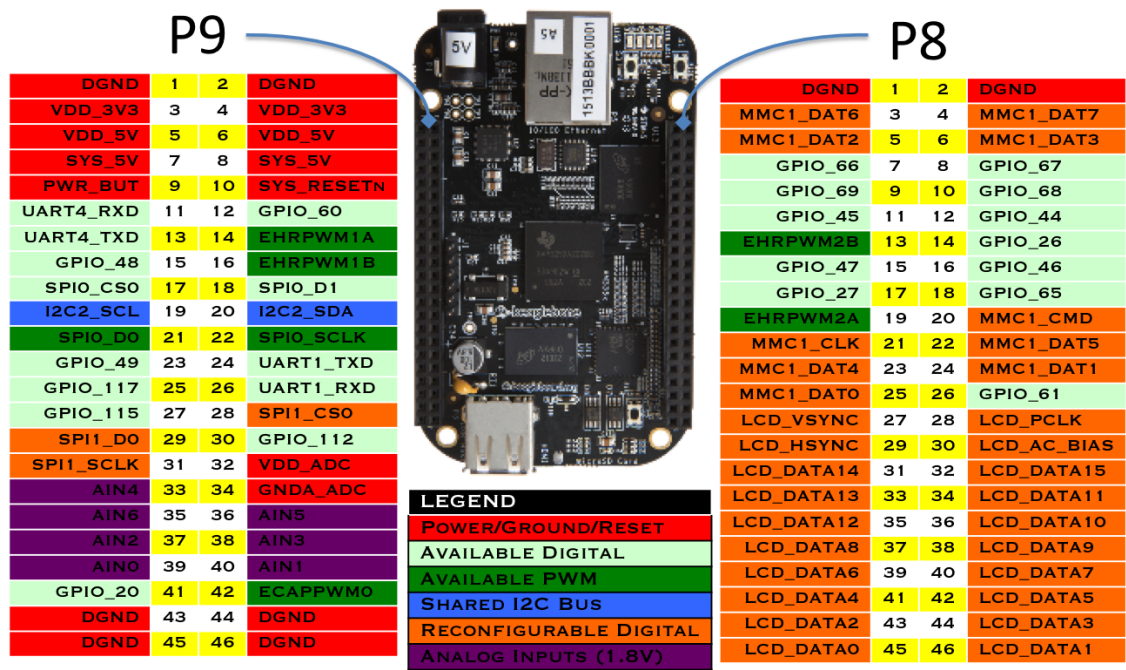


Figura 2.8: Inputs e outputs da BBB. Retirado de [7]

2.4 Ganho energético de uma máquina de extração de bebidas

A troca e a transformação de energia são fenómenos que ocorrem constantemente na natureza. O ganho energético de uma máquina de extração de bebidas não depende só das trocas de energia efetuadas pelos motores, mas também do líquido a extrair e das trocas de energia com o exterior e, conseqüentemente, dos materiais que formam as paredes da máquina.

Sendo assim, neste subcapítulo, será analisado, de uma forma geral, o balanço energético presente numa máquina de extração de bebidas. Note-se, então, que o balanço energético dentro do depósito de água pode ser obtido pela seguinte expressão.

$$\dot{Q}_{recebido} = \dot{Q}_{paredes} + \dot{Q}_{bebida} + \dot{Q}_{Agitador} - \dot{Q}_{evaporador} \quad (2.1)$$

A principal função do agitador, que é colocado dentro do depósito de água, é agitar a água de forma a manter uma temperatura igual em todo o depósito. Paralelamente a esta função, o agitador bombeia água dentro de um tubo que se encontra na coluna de extração, com o propósito de a refrigerar. Neste caso, o ganho energético do agitador pode ser calculado através da equação 2.2, onde se pode verificar que é igual à soma dos ganhos caloríficos das funcionalidades apresentadas.

$$\dot{Q}_{agitador} = \dot{Q}_{bomba} + \dot{Q}_{eixo} \quad (2.2)$$

O $\dot{Q}_{paredes}$ representado na expressão 2.1 é igual a soma dos ganhos de todas as superfícies da máquina. Contudo, as faces laterais não são iguais, em dimensões e estrutura, às faces superior e da base, sendo estas, também, diferentes uma da outra. Assim, o ganho energético do corpo da máquina é obtido pela seguinte expressão.

$$\dot{Q}_{paredes} = 4 * \dot{Q}_{lateral} + \dot{Q}_{base} + \dot{Q}_{SupSuperior} \quad (2.3)$$

O barril que contém a bebida pode se colocado dentro de um refrigerador ou simplesmente perto da máquina de extração, estando assim sujeito, às condições atmosféricas. Por outro lado, quando a bebida circula do barril até à torneira, ocorrem transferências de calor com a água do depósito. Então, recorrendo à equação 2.4, é possível analisar o ganho energético da extração de bebida.

$$\dot{Q}_{extracao} = \dot{m}_{bebida} \cdot c_{p_{bebida}} \cdot (T_{entrada} - T_{saida}) \quad (2.4)$$

Por fim, de forma a não violar as leis térmicas e as propriedades físicas da água, a sua temperatura não pode ser inferior a 0°C. O processo de formação de gelo só ocorre quando a temperatura da água for 0°C, mantendo-se aproximadamente nula durante este processo. Portanto, as expressões 2.5 e 2.6 representam a evolução da temperatura da água e a formação da massa de gelo, com o tempo, no interior do depósito, respetivamente.

$$Temperatura_{agua} = Temperatura_{agua}(t - \Delta T) + \frac{\dot{Q}_{recebido}(t)}{c_{p_{agua}} * massa_{agua}} \quad (2.5)$$

$$Massa_{gelo} = Massa_{gelo}(t - \Delta T) - \frac{Q_{recebido}(t)}{L_f} \quad (2.6)$$

Note-se que o calor específico da água, $c_{p_{agua}}$, é $4187 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ [20], a massa de água do depósito em estudo é de 52 kg [1] e o calor latente de fusão da água, L_f , é aproximadamente $334000 \text{ J}/\text{kg}$ [21].

Capítulo 3

Modelo matemático do sistema em estudo

Neste capítulo, é exposto o modelo termodinâmico da máquina de extração de bebidas em estudo.

No primeiro subcapítulo (3.1), são apresentados os ganhos energéticos da máquina.

No segundo subcapítulo (3.2), é definido o modelo termodinâmico que permite estimar a temperatura da água no depósito e a massa de gelo produzido.

3.1 Ganhos energéticos no corpo da máquina

O depósito de água, onde se forma a camada de gelo, da máquina de extração de bebidas em estudo apresenta a forma de um paralelepípedo. Então, é necessário calcular a potência calorífica de todas as 6 faces. No entanto, como já referido anteriormente, não é possível calcular o ganho de uma face e multiplicar por 6, pois nem todas as superfícies têm as mesmas dimensões nem os mesmos materiais. Todas as faces laterais e a base são isoladas termicamente com a exceção da superfície superior, sendo assim obrigatório calcular, separadamente, o seu ganho energético.

Contudo, apenas as faces laterais são consideradas em conjunto, com o mesmo ganho calorífico, pois estão sujeitas as mesmas condições atmosféricas, têm as mesmas dimensões e são constituídas pelos mesmos materiais.

Nas próximas secções, são apresentadas as expressões para o cálculo do ganho energético das faces laterais, superfície superior e da base. Neste caso, é necessário consultar a tabela 3.1, que expõe as constantes térmicas dos materiais que compõem as diferentes camadas do corpo da máquina.

Material ou substância	Condutividade térmica, $\lambda_{material}$ (W/(m·K))	Convecção térmica, $h_{material}$ (W/(m ² ·K))
Ar exterior	-	2,66
Bolsa de ar	0,024	-
Aço AISI 304	14,9	-
Poliuretano	0,026	-
PVC	0,19	-
Água	-	102,79

Tabela 3.1: Constantes térmicas [13, 14, 15]

3.1.1 Superfícies laterais

Assumindo que a temperatura ambiente e a temperatura da água são iguais e constantes ao longo de todas as faces laterais, pode-se concluir que têm o mesmo ganho calorífico, visto que apresentam todas a mesma constituição e dimensões iguais. Na figura 3.1, é visível o corte longitudinal de uma das superfícies laterais e a respetiva resistência térmica de cada camada.

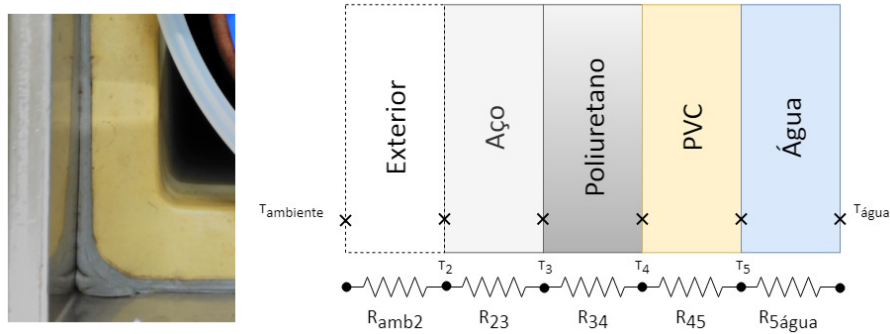


Figura 3.1: Corte longitudinal de uma superfície lateral e resistências térmicas de cada camada

Deste modo, é possível obter o valor da potência calorífica para cada superfície lateral através da expressão 3.1. As resistências térmicas da água e do ambiente, $R_{5água}$ e R_{amb2} , podem ser calculadas através da equação 3.2, pois são resistências associadas à convecção [22]. As restantes resistências, associadas à condução de calor, podem ser obtidas através da expressão 3.3.

$$\dot{Q}_{lateral} = \frac{T_{ambiente} - T_{água}}{R_{amb2} + R_{23} + R_{34} + R_{45} + R_{5água}} \quad (3.1)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{superficie} * S_{superficie}} \quad (3.2)$$

$$R_{cond} = \frac{e_{superficie}}{\lambda_{superficie} * S_{superficie}} \quad (3.3)$$

Em que h é o coeficiente de convecção térmica do material, S a área da superfície, λ corresponde à condutividade térmica do material e e à sua espessura.

Os valores destas variáveis podem ser consultados na tabela 3.1, no que diz respeito às constantes térmicas dos materiais. Por outro lado na tabela 3.2, encontram-se as dimensões das resistências térmicas de cada camada.

Camada	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Espessura (m)
R_{amb2}	0,460	0,440	0,202	-
R_{23}	0,460	0,440	0,202	0,001
R_{34}	0,355	0,380	0,135	0,025
R_{45}	0,355	0,380	0,135	0,005
R_{5agua}	0,355	0,380	0,135	-

Tabela 3.2: Dimensões das camadas que constituem a superfície lateral

Com base nestes dados os valores das resistências são, respetivamente:

- $R_{amb2} = 1,857 \text{ °C/W}$;
- $R_{23} = 3,316 \cdot 10^{-4} \text{ °C/W}$;
- $R_{34} = 7,413 \text{ °C/W}$;
- $R_{45} = 0,195 \text{ °C/W}$;
- $R_{5agua} = 0,072 \text{ °C/W}$.

3.1.2 Superfícies superior

A forma de calcular o ganho calorífico desta superfície é semelhante às laterais, com a exceção de a superfície superior não conter uma camada de isolamento térmico, como se pode observar na figura 3.2.

Desta forma, o ganho calorífico pode ser calculado através da equação 3.4.

$$\dot{Q}_{SupSuperior} = \frac{T_{ambiente} - T_{agua}}{R_{amb2} + R_{23} + R_{34} + R_{4agua}} \quad (3.4)$$

As resistências térmicas são calculadas recorrendo às equações 3.2 e 3.3, sendo necessário os valores presentes na tabela 3.3, relativos às dimensões de cada camada, e as constantes térmicas presentes na tabela 3.1. Assim sendo, os valores das resistências são, respetivamente:

- $R_{amb2} = 1,942 \text{ °C/W}$;
- $R_{23} = 3,467 \cdot 10^{-4} \text{ °C/W}$;
- $R_{34} = 23,03 \text{ °C/W}$;
- $R_{4agua} = 0,050 \text{ °C/W}$.

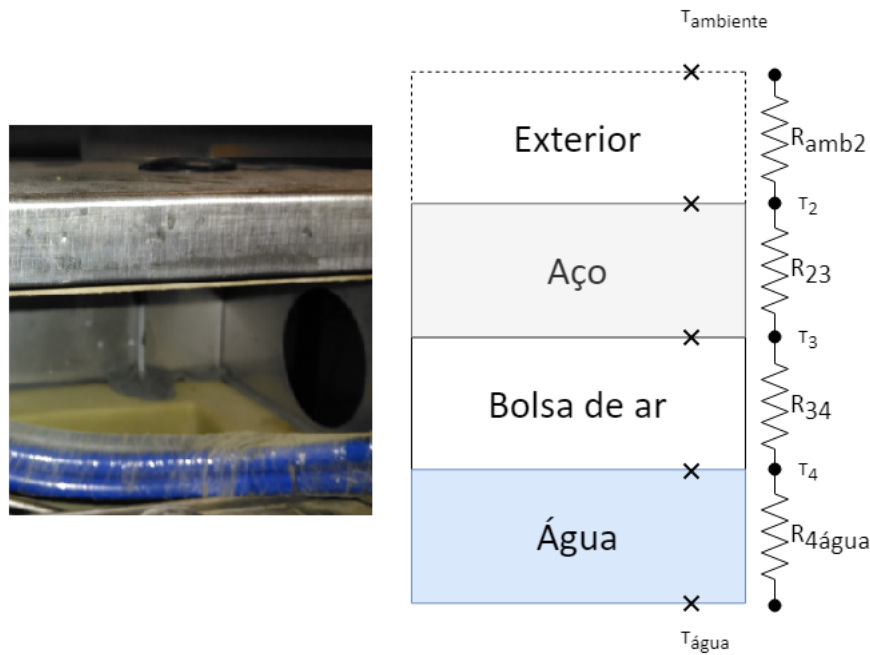


Figura 3.2: Corte longitudinal da superfície superior e resistências térmicas de cada camada

Camada	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Espessura (m)
R_{amb2}	0,440	0,440	0,194	-
R_{23}	0,440	0,440	0,194	0,001
R_{34}	0,440	0,440	0,194	0,107
R_{4agua}	0,440	0,440	0,194	-

Tabela 3.3: Dimensões das camadas que constituem a superfície superior da máquina

3.1.3 Superfície inferior

O ganho energético da base do depósito de água, pode ser calculado através da equação 3.5, de acordo com as diferentes camadas desta superfície, assim como as resistências térmicas associadas à mesma, figura 3.3.

$$\dot{Q}_{base} = \frac{T_{maquinas} - T_{agua}}{R_{agua2} + R_{23} + R_{34} + R_{45} + R_{5maquinas}} \quad (3.5)$$

Como se pode observar no corte longitudinal da base, por baixo do depósito de água encontram-se as "máquinas", ventilador e compressor, respetivamente. Por isso, a temperatura nessa zona pode atingir valores muito superiores à temperatura ambiente, o que faz aumentar o ganho calorífico da base, pois o calor libertado pelos motores tende a ascender.

Assim, no cálculo do ganho energético em vez de se usar apenas a temperatura ambiente, T_{amb} , como nas restantes superfícies, recorre-se à "temperatura das máquinas", $T_{maquinas}$, obtida através da equação 3.6. Porém, se o compressor e o ventilador estiverem desligados, o valor de $T_{maquinas}$

é igual à T_{amb} . As temperaturas $T_{extra_compressor}$ e $T_{extra_ventilador}$, recolhidas experimentalmente [23], assumem os valores 20°C e 8°C , respetivamente.

$$T_{maquinas} = T_{amb} + T_{extra_compressor} + T_{extra_ventilador} \quad (3.6)$$

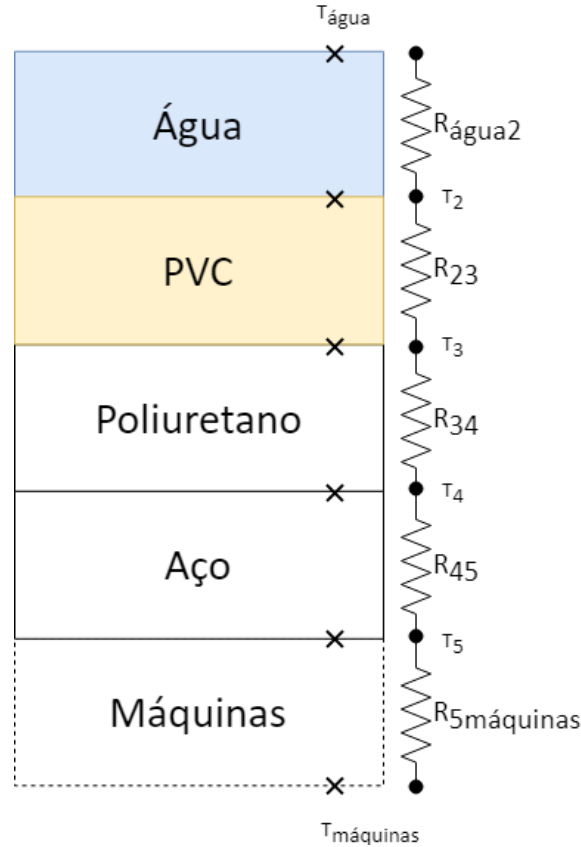


Figura 3.3: Corte longitudinal da superfície inferior e resistências térmicas de cada camada

As resistências térmicas de cada camada podem ser calculadas de acordo com dimensões presentes na tabela 3.4 e as constantes térmicas presentes na tabela 3.1. Assim sendo, os valores das resistências são, respetivamente:

- $R_{agua2} = 1,942^{\circ}\text{C/W}$;
- $R_{23} = 0,182^{\circ}\text{C/W}$;
- $R_{34} = 6,925^{\circ}\text{C/W}$;
- $R_{45} = 3,467 \cdot 10^{-4}^{\circ}\text{C/W}$;
- $R_{5maquinas} = 2,604^{\circ}\text{C/W}$.

Camada	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Espessura (m)
R_{agua2}	0,380	0,380	0,144	-
R_{23}	0,380	0,380	0,144	0,005
R_{34}	0,380	0,380	0,144	0,025
R_{45}	0,440	0,440	0,194	0,001
$R_{5maquinas}$	0,380	0,380	0,144	-

Tabela 3.4: Dimensões das camadas que constituem a superfície inferior da máquina

3.1.4 Ganho energético da extração de bebida

Como já foi referido no capítulo 2, o ganho energético da extração de bebida é calculado através da equação 2.4, pois durante a extração ocorrem trocas de calor. A variável T_{saida} , que representa a temperatura de saída da cerveja, assume o valor de 4°C, que é considerada a temperatura ideal para o consumo da bebida. A temperatura de entrada da cerveja, $T_{entrada}$, corresponde à temperatura ambiente, pois no sistema em estudo, o barril encontra-se a essa temperatura.

Por fim, o valor de m_{bebida} é obtido recorrendo à equação 3.7.

$$\dot{m}_{bebida} = \rho_{cerveja} * \dot{V}_{cerveja} \quad (3.7)$$

A capacidade máxima de extração da máquina em estudo, $\dot{V}_{cerveja}$, é 100 L/hora [1]. O calor específico da cerveja $c_{p_{cerveja}}$ é 3768 J/(kg·°C) e a massa volúmica da cerveja, $\rho_{cerveja}$, é aproximadamente 1050 kg/m³ [24].

3.1.5 Capacidade frigorífica da máquina

A equação 3.8 representa o ganho energético do compressor, determinado experimentalmente em trabalhos de dissertação anteriores [24]. O consumo energético do compressor não é constante e varia com a temperatura do líquido de refrigeração no evaporador. Assim sendo, o ganho energético do compressor é expresso pelo calor libertado no evaporador.

$$\dot{Q}_{evaporador} = 460 + 900 \frac{T_{agua}}{T_{amb} + 5} \quad (3.8)$$

3.1.6 Ganho energético do agitador

O ganho energético do agitador é calculado pela equação 2.2 do capítulo 2. Neste caso, $\dot{Q}_{eixo}$ representa o ganho energética da função de agitar a água no depósito, para manter a temperatura desta o mais uniforme possível. De modo a evitar que a temperatura da bebida aumente, o agitador bombeia água do depósito através da coluna de extração, $\dot{Q}_{bomba}$ representa o ganho energético desta funcionalidade. Então, para obter o ganho energético do agitador, são necessárias as equações 3.9 e 3.10, que representam os ganhos energéticos das duas funcionalidades.

$$\dot{Q}_{eixo} = \sqrt{h_{agua} * \pi^2 * r^3} * (T_{agitador} - T_{agua}) \quad (3.9)$$

O eixo do agitador é constituído por aço AISI tipo 302, de raio 0.0035m, o valor da condutividade térmica é de 15,1 W/(m·K) [13]. O coeficiente de transferência térmica por convecção da água, h_{agua} , pode ser consultado na tabela 3.1.

$$\dot{Q}_{bomba} = \dot{m}_{agua} * c_{p_{agua}} * (T_{entrada} - T_{agua}) \quad (3.10)$$

O calor específico da água, $c_{p_{agua}}$, é 4187 J/(kg·°C) [20] e o caudal mássico bombeado, $\dot{m}_{agua}$ do agitador da máquina em estudo é, aproximadamente, 0,0789 kg/s [25].

A temperatura do agitador, $T_{agitador}$, e a temperatura da chegada da água ao depósito, $T_{entrada}$, devido à dificuldade de medição dos seus valores, foram definidos experimentalmente [24]. Assim, os seus valores médios são, respetivamente, 3°C e 0,2°C acima da temperatura da água.

3.1.7 Balanço energético total

Por fim, com todos os ganhos energéticos do sistema disponíveis, é possível calcular o ganho energético total da máquina de extração de bebidas em estudo, com uso da equação 3.11, isto é, a soma de todos os ganhos energéticos apresentados anteriormente menos a potência calorífica libertada pelo evaporador.

$$\dot{Q}_{recebido} = \dot{Q}_{fornecido} - \dot{Q}_{evaporador} \quad (3.11)$$

Onde,

$$\dot{Q}_{fornecido} = 4 * \dot{Q}_{lateral} + \dot{Q}_{SupSuperior} + \dot{Q}_{base} + \dot{Q}_{extracao} + \dot{Q}_{eixo} + \dot{Q}_{bomba} \quad (3.12)$$

3.2 Modelo termodinâmico do sistema

O modelo termodinâmico construído para a máquina em estudo está representado na figura 3.4. Este modelo permite estimar a temperatura da água no depósito e a massa de gelo, para isso são utilizadas as equações 2.5 e 2.6, apresentadas no capítulo 2, sendo assim necessários os ganhos energéticos expostos anteriormente.

Este modelo foi simulado na ferramenta MATLAB R2014b, no qual foram definidas como entradas as temperaturas ambiente e do barril, os estados de funcionamento em tempo real dos motores, ventilador, agitador e compressor (desligado ou ligado), e também o modo da torneira (aberta ou fechada). As saídas do sistema, temperatura da água e massa de gelo estimadas, são também entradas do modelo. Então, como o sistema é realimentado, inicialmente é necessário atribuir valores à massa de gelo e temperatura da água. Desenvolveu-se uma interface [23], que permite definir esses valores, alterar os estados das restantes entradas e observar a evolução das saídas.

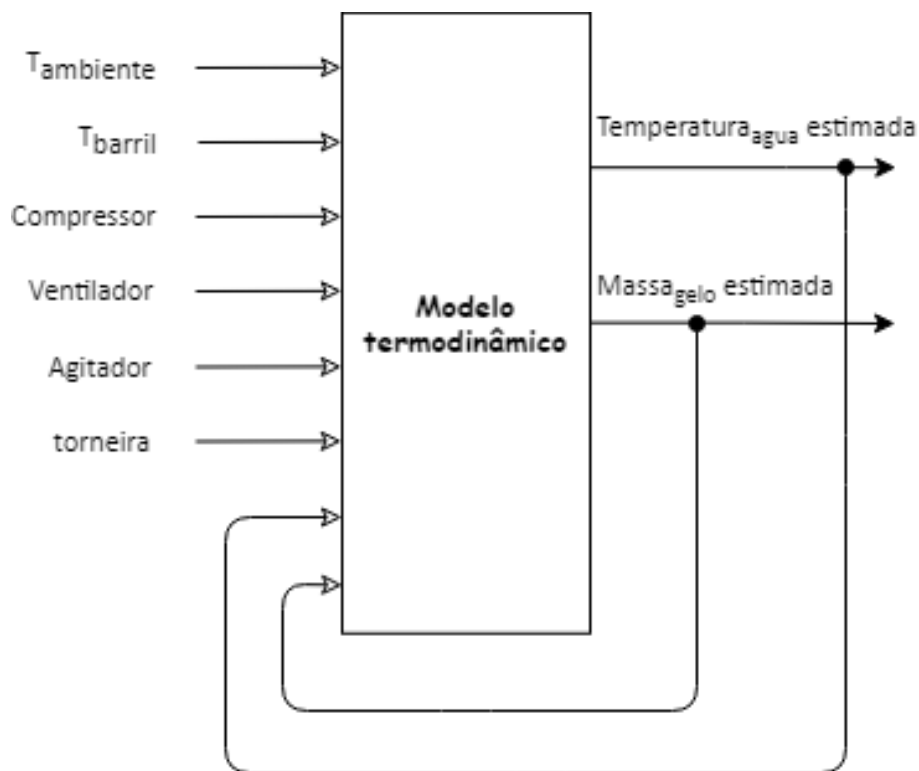


Figura 3.4: Modelo termodinâmico

3.3 Conclusão

Neste capítulo, foram apresentados todos os ganhos energéticos envolvidos na máquina de extração de bebidas em estudo. As equações apresentadas permitiram a construção do modelo termodinâmico exposto no fim do capítulo. De seguida, utilizando a ferramenta MATLAB R2014b, o modelo foi implementado e validado, através de testes efetuados no sistema, comparando os valores obtidos da massa de gelo estimada e temperatura estimada com os valores reais. Por fim, a análise aos dados obtidos comprovou que o modelo termodinâmico aproxima-se da realidade, sendo assim, viável a sua utilização no sistema de controlo a desenvolver.

Capítulo 4

Software

Neste capítulo são apresentados os programas utilizados e o sistema de controlo implementado, para monitorizar a máquina de extração de bebidas.

O sistema utilizado é adaptado do projeto de dissertação realizado anteriormente na mesma máquina [23], sendo efetuadas algumas alterações, de forma a melhorar o controlador. Assim, algumas das figuras expostas são adaptadas de trabalhos anteriores [23] [9]. No primeiro subcapítulo 4.1, apresenta-se os programas utilizados. No segundo subcapítulo 4.2, apresenta-se o controlador desenvolvido.

4.1 Programas

Neste subcapítulo apresentam-se os programas utilizados para aceder remotamente ao módulo de controlo e implementação do algoritmo em linguagem C++, nomeadamente, PuTTY, TightVNC e

4.1.1 PuTTY

O PuTTY é um *software* de emulação de terminal grátis e de código livre. Este programa é utilizado para fazer a ligação entre dois pontos, neste caso, o PC do programador com a BBB.

A conexão realiza-se utilizando o protocolo SSH, que permite o acesso remoto a servidores via *shell* de forma segura e a construção de "túneis" cifrados entre servidores. Além disso, suporta conexão direta (*raw*), telnet, rlogin e por porta série [26].

Tal como se pode verificar na figura 4.1, de maneira a realizar a ligação ao ambiente remoto da BBB, é necessário inserir o IP associado à mesma e o número da porta.

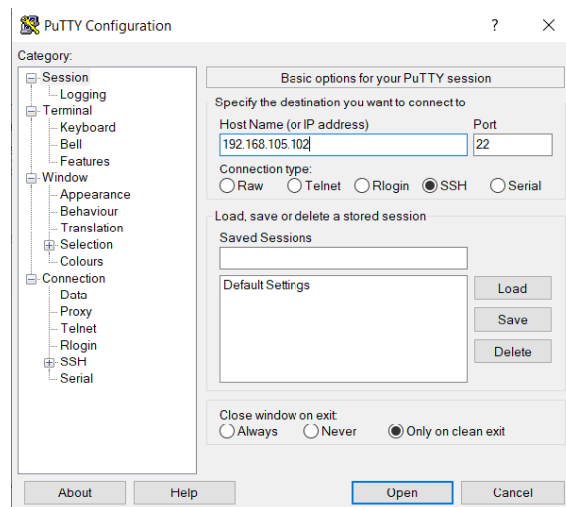


Figura 4.1: Interface gráfica do PuTTY

4.1.2 TightVNC

O TightVNC é um *software open-source* que permite a ligação remota entre diferentes dispositivos. Assim, o utilizador pode controlar o ambiente gráfico de outro computador remotamente [27].

Após estabelecer a ligação SSH, a partir da linha de comandos que surge, o próximo passo é inicializar o TightVNC Server. De seguida, é possível aceder ao ambiente remoto da BBB, figura 4.2, recorrendo ao TightVNC Viewer, cuja a interface é apresentada na figura 4.3.

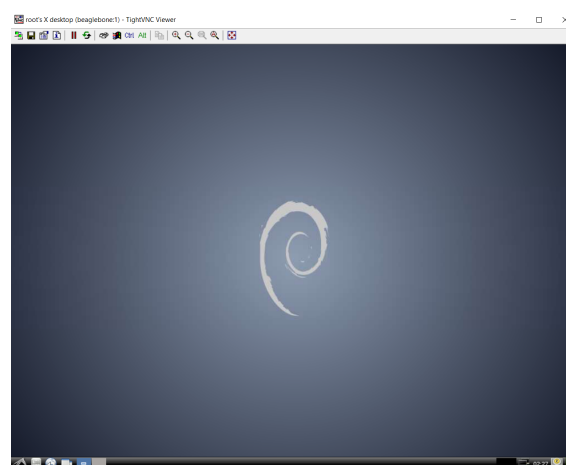


Figura 4.2: Ambiente remoto da BeagleBone

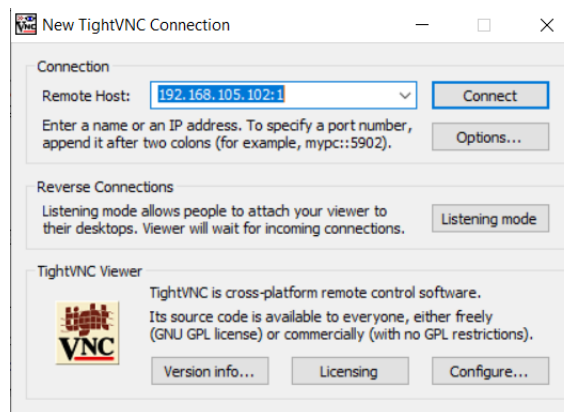


Figura 4.3: Interface gráfica do TightVNC Viewer

4.1.3 Qt Creator

O IDE utilizado na implementação do algoritmo apresentado nas secções seguintes é o Qt Creator [28], que permite o desenvolvimento de aplicações multiplataforma. A linguagem C++ foi escolhida para esta tarefa, uma vez que esta já foi utilizada em projetos anteriores e é a linguagem preferencial para programação orientada a objetos.

O ambiente gráfico deste IDE encontra-se representado na figura 4.4.

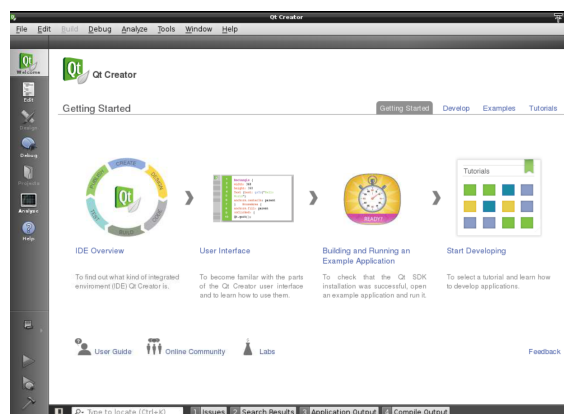


Figura 4.4: IDE Qt Creator

4.2 Controlador desenvolvido

O sistema de controlo convencional, já referido anteriormente, é pouco eficiente a nível energético e também, não permite ao utilizador monitorizar o estado da máquina. Assim, a figura 4.5 representa o diagrama de blocos do controlador implementado, este permite diminuir os desperdícios de energia pois, a formação de gelo é regulada e admite novas aplicações, essenciais para a monitorização do sistema.

As aplicações do controlador permitem :

- Observar a quantidade de litros extraídos, durante o tempo que a máquina está ligada;

- Programar consumos de bebida durante um período de uma semana;
- Observar o estado dos motores;
- Obter os consumos de bebida reais;
- Saber a quantidade que bebida que contém o barril ao longo do tempo;
- Analisar a quantidade de gelo formada e a temperatura em diversos pontos da máquina.

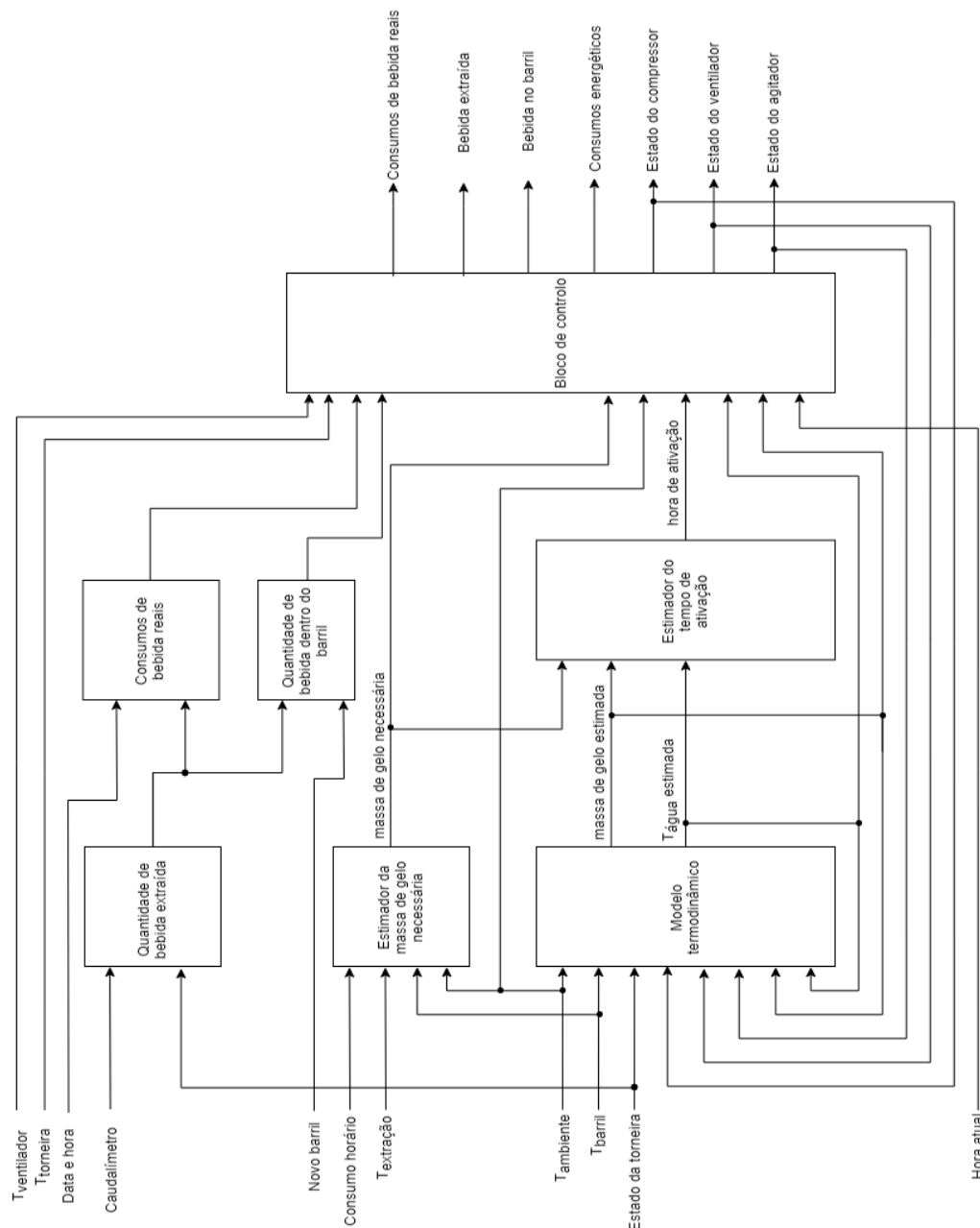


Figura 4.5: Diagrama de blocos do controlador

Através da figura 4.5, verificamos que o controlador tem como entradas o estado da torneira, a hora atual, os consumos de bebida por hora e diversos valores de temperatura que são importante para obter um funcionamento correto dos motores, de acordo com o bloco de controlo, subcapítulo 4.2.7. Por outro lado, as saídas incluem os estados dos motores, bebida extraída, os consumos energéticos, quantidade de bebida no barril e os consumos de bebida reais.

4.2.1 Modelo termodinâmico

Este bloco, já apresentado no subcapítulo 3.2, permite estimar a massa de gelo formado e a temperatura da água, no interior do depósito, a cada instante.

4.2.2 Estimador da massa de gelo necessária

De acordo com os consumos de bebida previsto para uma determinada hora, este bloco indica a massa de gelo que é necessário produzir, de forma a extrair essa quantidade de bebida a uma temperatura adequada.

Assim, como é representado no diagrama figura 4.6, o algoritmo presente neste bloco, calcula o calor transferido para a água, quando são extraídos os litros de bebida iguais à quantidade de bebida prevista consumir num intervalo de uma hora. Sabendo o valor de calor transferido, no pior caso, é possível determinar a massa de gelo necessário para servir a bebida a aproximadamente 4°C , valor definido para a temperatura de extração da cerveja.

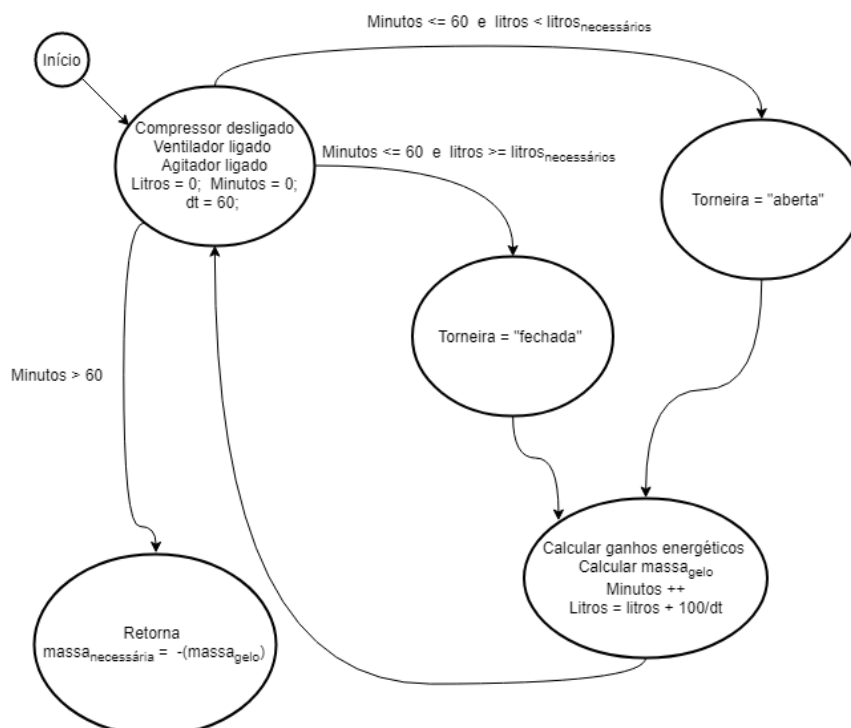


Figura 4.6: Máquina de estados para o estimador da massa de gelo

Note-se que, o calor máximo transferido, pior caso, corresponde diretamente a um derretimento mais rápido da massa de gelo, para isso acontecer, o agitador e o ventilador encontram-se sempre ligados.

4.2.3 Estimador do tempo de ativação

O bloco estimador do tempo de ativação permite saber a que horas o compressor da máquina deve ligar, com o objetivo de produzir a massa de gelo necessário para extrair a bebida prevista à temperatura ideal. Este bloco simula o arrefecimento da água, desde a temperatura do depósito de água nesse momento, até que a massa de gelo formada alcance o valor de temperatura necessário. Assim, o momento em que o compressor deve ser ligado corresponde ao tempo que se demora a atingir essa temperatura desejada.

Durante esta simulação o compressor está sempre ligado, pois está a formar gelo para diminuir a temperatura da água, e com a finalidade de calcular o tempo no pior caso, o agitador e ventilador encontram-se sempre ativos. Neste caso, é necessária a hora atual, as saídas do bloco modelo termodinâmico e a saída do bloco estimador da massa de gelo.

A máquina de estados na figura 4.7, apresenta o algoritmo implementado neste bloco.

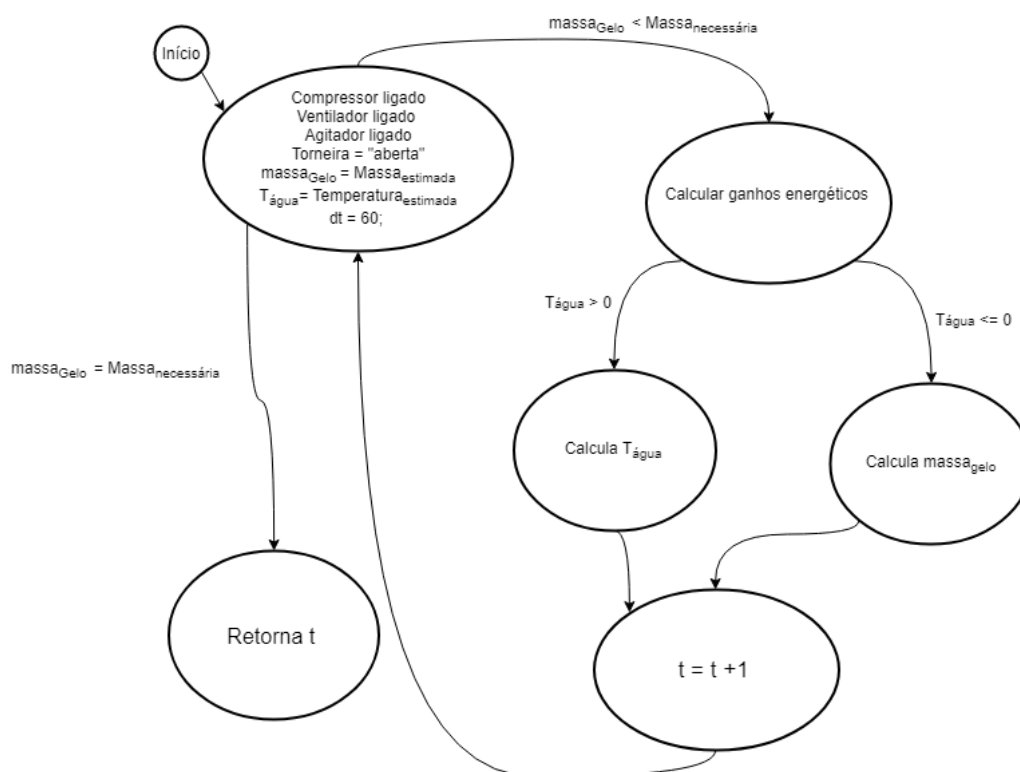


Figura 4.7: Máquina de estados para o estimador do tempo de ativação

O algoritmo apresentado tem uma limitação, pois se o tempo calculado for superior a 1h pode originar conflitos com outros períodos em que o compressor se encontrava ligado. Esta limitação pode causar uma perda da massa de gelo pois, o tempo de recuperação da máquina em

estudo é consideravelmente lento. Assim, foi implementado o algoritmo da figura 4.8, que permite distribuir os minutos pelas horas anteriores [23].

```

1:  $i \leftarrow 24$ 
2: Enquanto  $i > 0$ 
3:   Se  $HoraDeLigar[i] > 60$ 
4:      $HoraDeLigar[i - 1] = HoraDeLigar[i - 1] + (HoraDeLigar[i] - 60);$ 
5:      $HoraDeLigar[i] = 60;$ 
6:   Fim
7:    $i = i - 1;$ 
8: Fim

```

Figura 4.8: Algoritmo de distribuição do tempo

4.2.4 Quantidade de bebida extraída

Este bloco, representado na figura 4.9, através do estado da torneira e do valor presente no caudalímetro instalado, calcula o valor de bebida extraída, que será, posteriormente, enviado para a base de dados. Assim, o proprietário sabe a quantidade de bebida extraída durante o funcionamento da máquina.

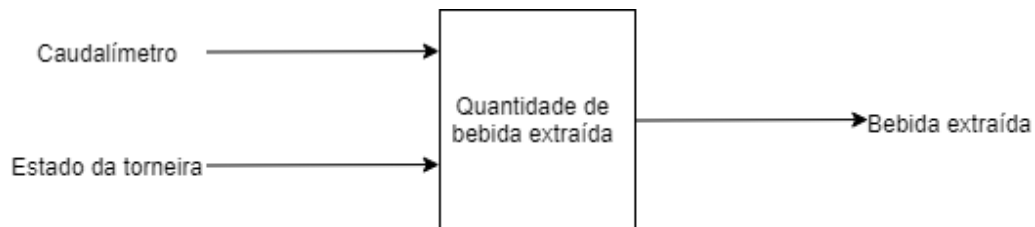


Figura 4.9: Quantidade de bebida extraída

4.2.5 Quantidade de bebida dentro do barril

Sabendo, continuamente, a quantidade de bebida que é extraída é possível obter a quantidade ainda disponível no barril. Contudo, é essencial ter conhecimento dos momentos em que se efetua a troca do barril. Assim sendo, como se pode ver na figura 4.10, este bloco têm como entradas a bebida extraída e a variável "novo barril".

A saída deste bloco permite ao utilizador saber se ainda têm bebida disponível e, mais importante, prevenir a troca do barril.

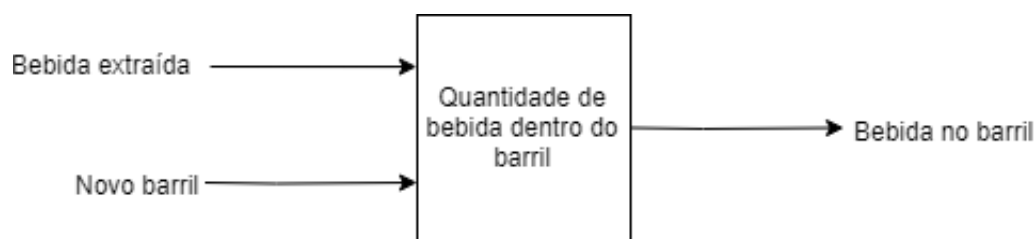


Figura 4.10: Quantidade de bebida dentro do barril

4.2.6 Consumos de bebida reais

O bloco exposto na figura 4.11, produz na saída um registo semanal dos consumos de bebida, este registo contém os litros de bebida extraída por hora, de cada dia.

A bebida extraída, a data e a hora são as entradas do bloco, contudo no algoritmo desenvolvido o tempo é visto como múltiplos de 60, de forma a representar cada hora do dia. Assim, ao fim de cada 60 minutos este regista o valor de bebida extraída, mas para obter o valor de extração em uma certa hora é também, necessário subtrair o valor registado de bebida extraída, no minuto inicial dessa mesma hora.

Paralelamente a este processo, na saída, são enviados os dados correspondentes a cada dia da semana. Com estes registos, o utilizador tem a noção da quantidade de bebida vendida durante a semana, e as horas de maior rendimento.

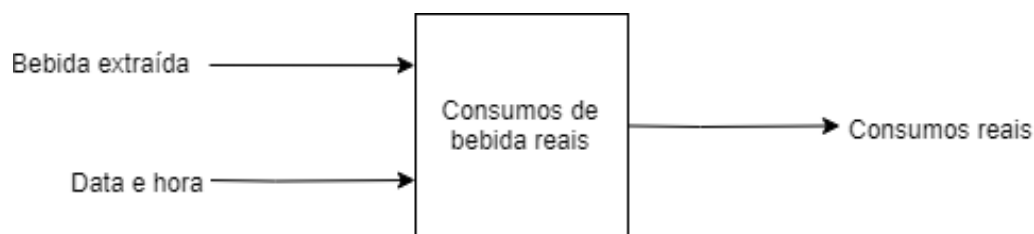


Figura 4.11: Consumos de bebida reais

4.2.7 Bloco de controlo

O algoritmo desenvolvido no bloco de controlo é responsável pelo funcionamento dos motores da máquina.

Visto que, praticamente todas as saídas dos blocos apresentados anteriormente são entradas deste bloco, este, de acordo com esses valores tem a função de decidir quais os motores devem estar desligados e ligados a cada instante.

Este bloco principal é também, responsável pelo cálculo dos consumos energéticos. De seguida, são apresentados os algoritmos individuais de cada motor, implementados no bloco de controlo.

4.2.7.1 Ventilador

O controlo do ventilador é realizado de uma forma simples, o algoritmo compara a temperatura na zona das máquinas, entre o compressor e o ventilador, com a temperatura ambiente. Se a temperatura nessa zona, onde é libertada maior quantidade de calor e a temperatura sobe consideravelmente, for inferior 3°C em relação à temperatura ambiente o ventilador é ligado, com o objetivo de a diminuir, como se pode ver na máquina de estados da figura 4.12.

Quando as temperaturas atingem o mesmo valor o ventilador é desligado, este processo ocorre de maneira cíclica.

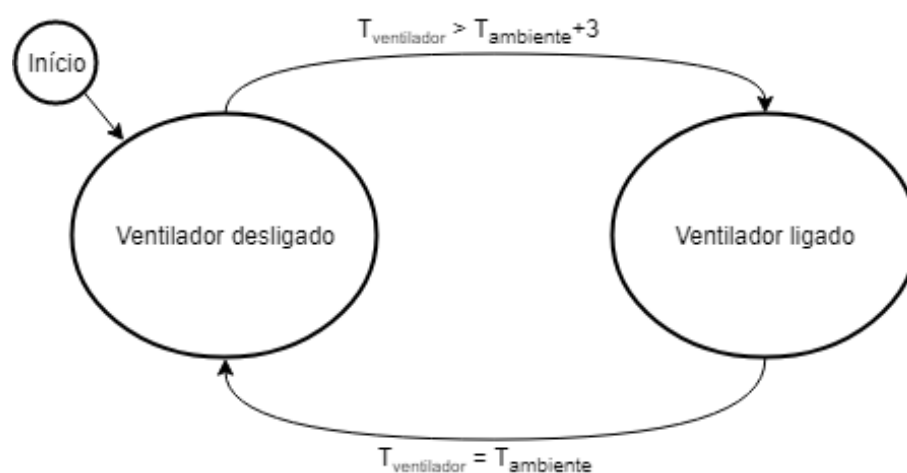


Figura 4.12: Máquina de estados do ventilador

4.2.7.2 Compressor

O funcionamento do compressor é baseado na máquina de estados apresentada na figura 4.13. O compressor é o elemento principal de uma máquina de extração de bebidas pois, este é o responsável pelo arrefecimento da água e formação da massa de gelo. Em consequência disso, note-se que o compressor é responsável pela maior parte do consumo energético total da máquina.

Este motor é ligado no instante temporal calculado pelo bloco estimador do tempo de ativação, isto é, quando a $hora_{atual}$ for igual à $hora_{ligar}$. O compressor mantém-se em funcionamento até atingir a massa de gelo necessário para o consumo previsto.

Além disso, é feita uma verificação constante da temperatura da água, uma vez que, durante os períodos nos quais o consumo de bebida é nulo, pretende-se que esta seja inferior a 1°C . Neste caso, o compressor liga automaticamente até a água atingir os 0°C .

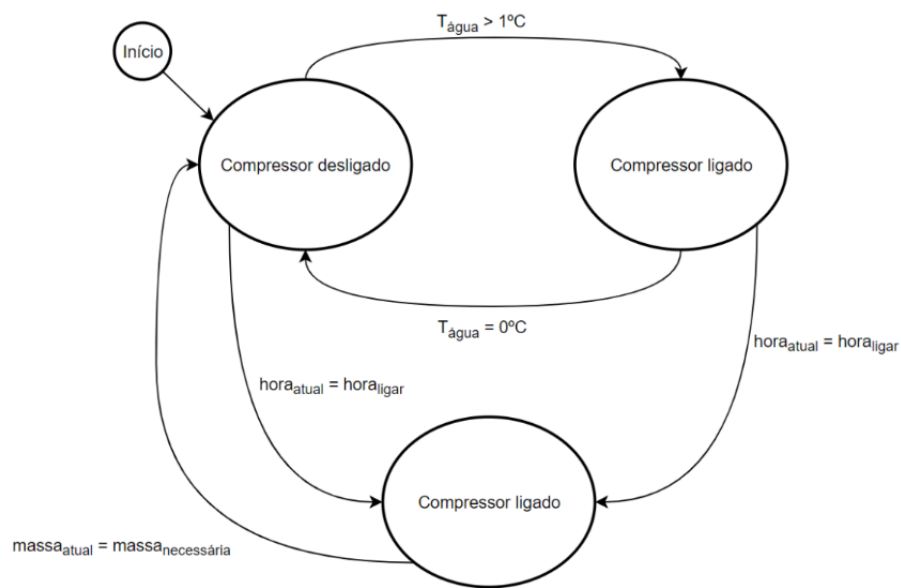


Figura 4.13: Máquina de estados do compressor

4.2.7.3 Agitador

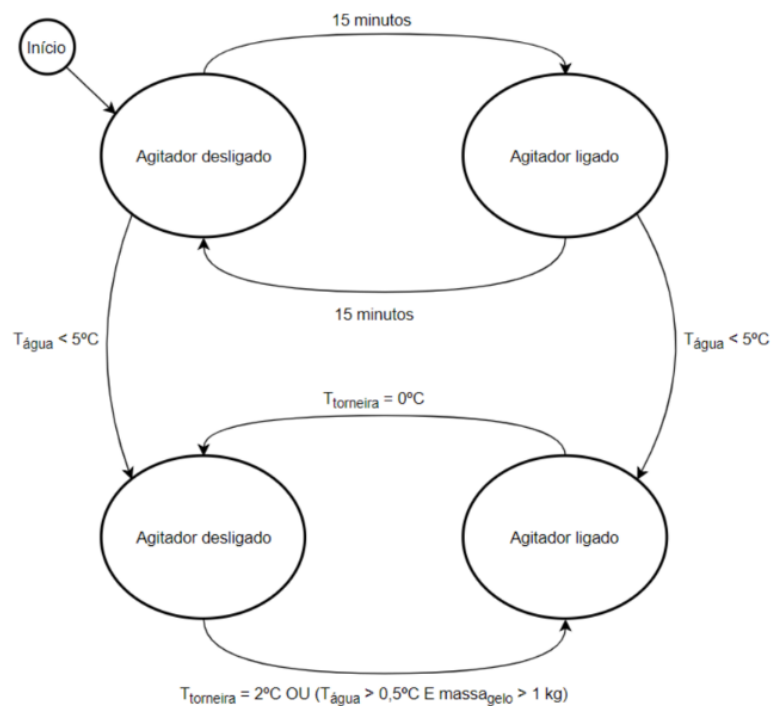


Figura 4.14: Máquina de estados do agitador

O controlo do agitador é condicionado pela temperatura da água, como se pode observar na figura 4.14. Isto é, se a temperatura da água for superior a 5°C , o agitador alterna entre dois

estados, desligado e ligado, respetivamente. Assim sendo, o motor encontra-se ativo ao longo de 15 minutos e, de seguida, permanece desligado durante o mesmo tempo. Este processo acontece de modo consecutivo até a água atingir uma temperatura inferior a 5°C .

Neste caso, o agitador é controlado de acordo com as suas funcionalidades. Então, para uniformizar a temperatura da água, o agitador é ativo quando esta for superior a $0,5^{\circ}\text{C}$ e se verificar a presença de gelo. Por outro lado, a fim de arrefecer a coluna de extração, o agitador é ligado quando a temperatura da torneira atingir 2°C . Em ambos os casos, desliga-se o agitador quando a temperatura da torneira for inferior a 0°C .

4.2.7.4 Consumo energético

Por fim, é necessário calcular os consumos energético dos componentes da máquina. A fórmula 4.1 permite calcular a energia consumida por cada motor.

$$E_{consumida} = P * \Delta t * 0.001 \quad (4.1)$$

Assim sendo, em primeiro lugar é preciso obter os valores da potência ativa de cada motor. Os valores do agitador e ventilador foram definidos como sendo 75W e 35W, respetivamente, de acordo com estudos anteriormente realizados [23].

Quanto ao compressor, segundo a folha de características [29], conclui-se que o valor médio da potência ativa, que depende da temperatura do líquido refrigerador (R134a), é 460W pois considerou-se que esta varia entre -5°C e 0°C .

4.3 Conclusão

Neste capítulo, apresentam-se o *software* utilizado para implementar o algoritmo e estabelecer a comunicação com a BeagleBone.

Para além dos blocos já implementados na máquina anteriormente, foram criados novos blocos no controlador, que permitem obter a quantidade de bebida extraída, os consumos reais de bebida e a quantidade restante dentro do barril.

Este novo método de controlo dos motores possibilita uma poupança diária de 37 mil euros [23], o que corresponde a 220 mil kwh de energia poupada no universo de 50 mil máquinas pertencentes ao Super Bock Group .

Capítulo 5

Sistema

Este capítulo explica a maneira como todo o sistema se encontra implementado, a nível de *hardware* e base de dados. Por fim, apresenta-se a interface desenvolvida para o utilizador conseguir comunicar com a máquina.

No primeiro subcapítulo (5.1), descreve-se a arquitetura do sistema completo.

No segundo subcapítulo (5.2), apresenta-se o *hardware* utilizado.

No terceiro subcapítulo (5.4), é abordada a implementação da base de dados,

No quarto subcapítulo (5.5), explicam-se as principais funcionalidades do *website*, e a forma como este interage com a arquitetura do sistema.

5.1 Arquitetura

De forma a atingir os objetivos definidos, foram efetuadas alterações à arquitetura inicial do sistema.

Visto que, em estudos anteriores, a arquitetura do sistema foi modificada através da incorporação de novos materiais, foi necessário identificar esses materiais e perceber o seu funcionamento.

A arquitetura proposta nesta dissertação, figura 5.1, tem em consideração essas alterações e tenta reaproveitar as soluções implementadas anteriormente. Esta foi dividida em *hardware* e base de dados.

Na figura 5.1, o nível de *hardware* representa todas as ligações físicas estabelecidas com a BBB, nomeadamente, o conversor utilizado para alimentar todo o sistema, o adaptador que permite estabelecer ligação sem fios (*Wi-Fi*), o *drive* escolhido para acionar os motores e, por último, todos os sensores utilizados. Estes permitem medir a espessura do gelo no depósito de água, saber a temperatura em diferentes pontos da máquina e calcular o fluxo de bebida.

O módulo de controlo envia, periodicamente, toda a informação do estado da máquina para a base de dados desenvolvida. De seguida, estes dados são interpretados e apresentados ao utilizador, através de uma página *web*. Neste caso, é essencial a ligação à internet por parte da BBB. De outro modo, os dados obtidos são guardados no módulo de controlo, que pode ser acedido através de um computador, por conexão SSH ou, simplesmente, através de uma ligação USB.

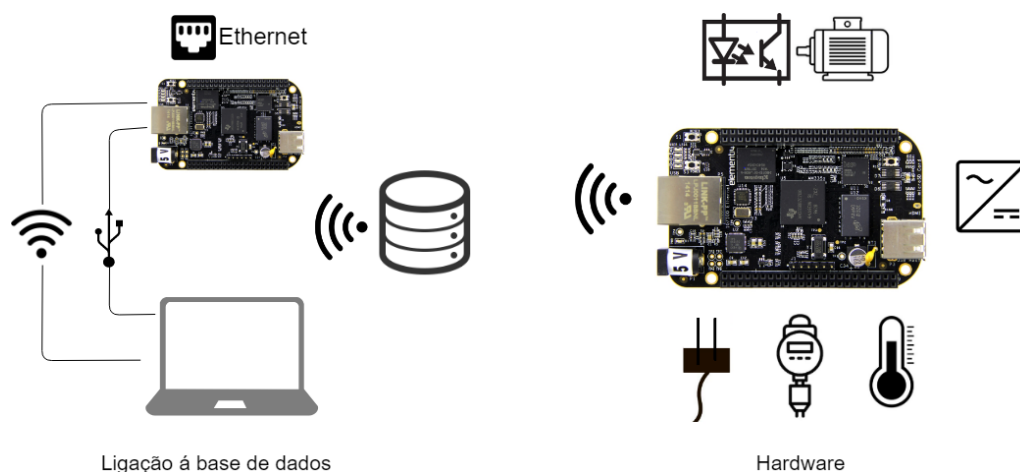


Figura 5.1: Arquitetura do sistema

5.2 Hardware

Neste subcapítulo, descreve-se detalhadamente todos os componentes que fazem parte do nível de *hardware* do sistema.

5.2.1 Alimentação do sistema

Tendo em conta que a tensão de alimentação de alguns materiais utilizados é aproximadamente 5V, foi necessário alimentar a BBB com uma fonte de alimentação comutada de 15W (5V@3A) da Mean Well, modelo RS-15-5 [30], figura 5.2.

Esta alimentação permite converter os 230V da rede elétrica em 5V contínuos, de forma a alimentar a BBB.



Figura 5.2: Fonte de alimentação Mean Well. Retirado de [8]

5.3 Circuito de controlo dos motores

O modo de funcionamento dos motores é definido pelo controlador implementado na BBB, e de seguida, esta envia sinais, de acordo com as saídas do controlador, de forma a ligar ou desligar os motores, individualmente. Neste caso, foi construído o circuito representado na figura 5.3 [23], que permite enviar essas mensagens e proteger todo o sistema de uma possível avaria. Este, é

composto por um circuito de *drive* e um circuito de isolamento entre a parte de potência e a parte de controlo, que garantem a transmissão dos sinais e segurança do sistema, respetivamente.

Isto é, o circuito da figura 5.3, é composto por um opto acoplador de saída TRIAC (MOC3041), que também impede a formação de *kickbacks* pelos motores e confere isolamento ótico entre os comandos de controlo e o respetivo circuito de potência. De modo a garantir corrente suficiente para acionar os motores, foi colocado o TRIAC BT139 na saída do circuito. Por último, a fim de diminuir o ruído eletromagnético e os picos de tensão, causados pela comutação do TRIAC, foi incorporado um circuito RC *snubber*.

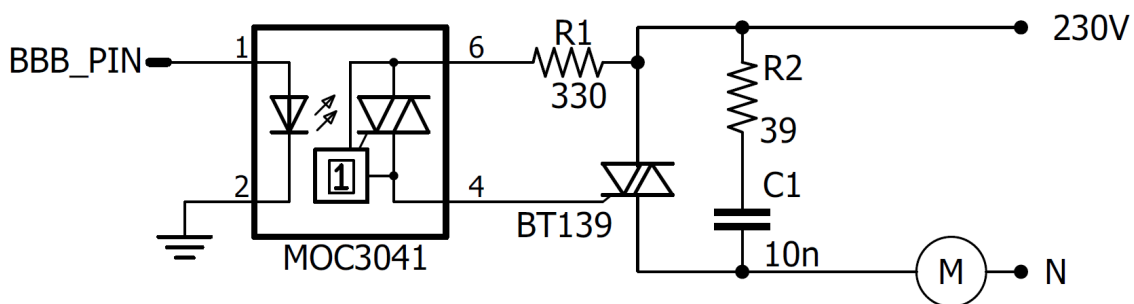


Figura 5.3: Circuito de controlo dos motores. Retirado de [9]

5.3.1 Botão *force start*

A finalidade do botão ilustrado na figura 5.4, é a ativação contínua do compressor, de maneira a forçar a formação de gelo, no entanto, o ventilador e o agitador continuam a funcionar de acordo com o controlador desenvolvido e abordado no capítulo 4.

Pois, em casos excepcionais, como por exemplo o aumento repentino da temperatura e consequente aumento da temperatura da água, ou consumos de bebida não previstos. Nestes casos, a massa de gelo disponível pode não ser suficiente para extrair a bebida á temperatura desejada. Assim, ao ativar o botão, que funciona de acordo com o esquema elétrico apresentado na figura 5.5, o compressor permanece ligado até o utilizador desativar o botão.



Figura 5.4: Botão *force start*

A figura 5.5 apresenta o esquema elétrico do circuito montado para o funcionamento do botão.

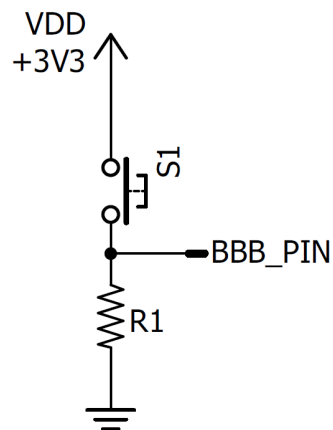


Figura 5.5: Circuito para o botão *force start*

5.3.2 Aquisição de fluxo de bebida

Na figura 5.6, está representado o caudalímetro utilizado para a aquisição de fluxo de bebida extraída. Este sensor, já instalado num estudo anterior [23], foi adicionado ao tubo por onde circula a bebida, dentro depósito de água, mas numa posição anterior à coluna de extração, de modo, a não existir contacto com a água.

Contudo, na presente dissertação foi necessário substituir o caudalímetro, pois não estava a funcionar corretamente. Visto isto, optou-se por utilizar um sensor igual, uma vez que este é simples e barato. Para além disso, permite o cálculo aproximado do volume de bebida extraída e determinar o estado da torneira (aberta ou fechada), apesar de não apresentar uma grande precisão de medição.



Figura 5.6: Caudalímetro eletrónico. Retirado de [10]

O funcionamento do caudalímetro eletrónico é baseado num sensor de efeito de *hall* pois, como é ilustrado na figura 5.6, no interior do sensor existe uma roda com pás, e sempre que há passagem de bebida no caudalímetro esta é movimentada.

Dessa forma, quando completada uma volta o sensor envia, através do fio de dados (fio amarelo da figura 5.6), um pulso para a BBB. Enquanto isto, no bloco quantidade de bebida extraída,

apresentado no capítulo 4, é guardado o número de pulsos recebidos do sensor, de forma a calcular os litros de bebida servida, uma vez que cada pulso emitido pelo caudalímetro equivale a aproximadamente 2,25 mililitros [31].

A figura 5.7 representa o circuito de condicionamento do sinal à saída do caudalímetro. Este, é alimentado a 5V através da BBB, contudo, a tensão do pulso emitido tem de ser inferior. Para isso, a saída do caudalímetro foi ligada a um transistor e um divisor resistivo, de modo a obter 3.3V no pino da BBB.

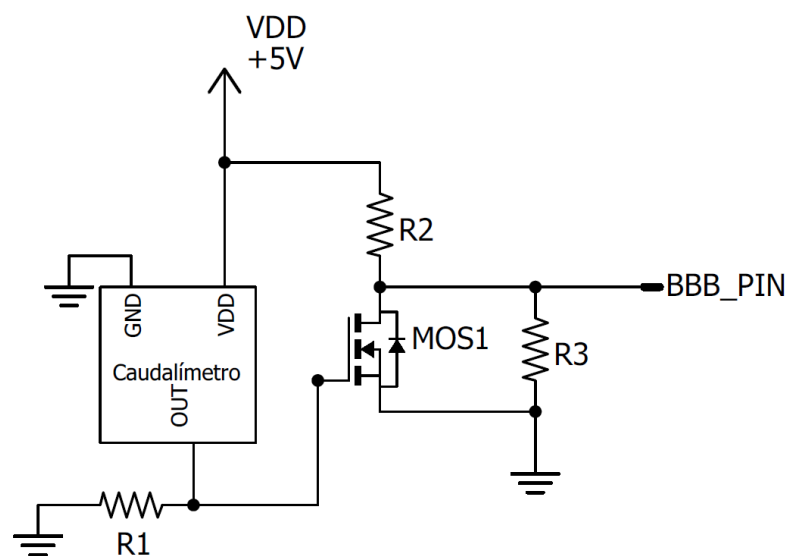


Figura 5.7: Circuito elétrico para o caudalímetro

5.3.3 Aquisição de temperaturas

Nesta dissertação, foram instalados 5 sensores de temperatura em diferentes pontos da máquina, obtendo-se assim as temperaturas ambiente, da bebida à saída do barril, da água dentro do depósito, do compressor e da bebida na saída da coluna de extração, respetivamente.

Na figura 5.8, está representado o sensor DS18B20 *waterproof*, utilizado em estudos anteriores e reaproveitado para a realização deste projeto. Os valores de temperatura são essenciais para o funcionamento do controlador apresentado no capítulo 4, é então, fundamental que estes estejam continuamente a ser medidos.



Figura 5.8: Sensor de temperatura DS18B20 *waterproof*. Retirado de [11]

Neste caso, o sensor DS18B20 *waterproof* é bastante adequado pois, apresenta um tamanho reduzido, o que facilita a instalação, tem um baixo custo, é resistente à água e tem uma elevada precisão ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$). No entanto, a grande vantagem é a possibilidade de ligar todos os sensores à mesma entrada da BBB, através de um barramento 1-wire, uma vez que, cada sensor possui um identificador característico.

Sendo assim, como é ilustrado na figura 5.9, o módulo de controlo alimenta todos os sensores com 5V e recebe todas as temperaturas medidas num único pino.

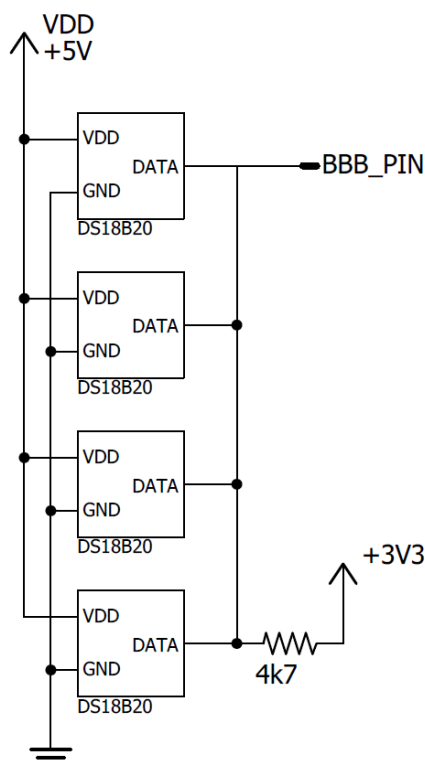


Figura 5.9: Circuito elétrico para os sensores de temperatura

Contudo, um dos sensores utilizados foi substituído durante a dissertação realizada anteriormente [9], devido a uma avaria do mesmo. A ligação deste sensor à BBB é efetuada de maneira diferente, uma vez que é necessário construir um divisor de tensão com o objetivo de diminuir a

tensão de alimentação para 3,3V. Por isso, nesta dissertação foi montado o protótipo cujo circuito está representado na figura 5.10.

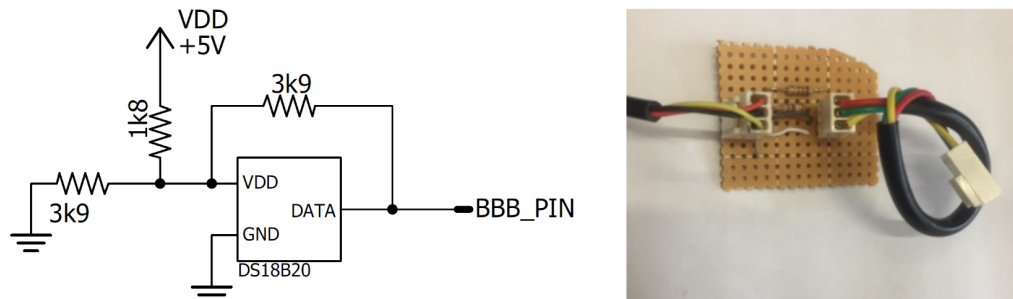


Figura 5.10: Divisor de tensão para o sensor de temperatura

5.3.4 Sondas de gelo

A máquina de extração de bebida continha, de origem, uma sonda *standard*, tal como a que se encontra representada na figura 2.6.

De maneira a detetar diferentes níveis de massa de gelo formada no depósito, foi instalada, num estudo anterior [24], uma nova sonda de gelo discreta de 4 andares, a qual foi aproveitada e modificada, nesta dissertação.

Depois, foi construída uma nova sonda com duas varetas metálicas, capaz de medir de forma contínua a massa de gelo formada no depósito, com base nos valores de tensão obtido entre as varetas.

Estas sondas são descritas pormenorizadamente nas seguintes secções.

5.3.4.1 Sonda de gelo discreta

Devido a problemas de corrosão metálica, causados pela água do depósito, a sonda discreta desenvolvida em projetos anteriores não se encontrava em funcionamento. Portanto, nesta dissertação esta sonda foi reconstruída pois, ao contrário da sonda convencional, esta permite detetar não só o nível máximo, como também outras 3 medidas intermédias da massa de gelo.

Como ilustrado na figura 5.11, a sonda discreta é composta por 5 varetas de aço inox, espaçadas de igual forma entre si mas de tamanhos diferentes.



Figura 5.11: Protótipo da sonda discreta

A sonda foi fixada entre as serpentinas do agitador. Assim, à medida que o gelo é gerado, as varetas vão ficando cobertas de gelo, desde a mais pequena até à maior.

O funcionamento desta sonda tem por base o facto de a água ser condutora elétrica, neste caso, na ausência de gelo, as varetas encontram-se em condução com a vareta comum (vareta de maior dimensão). Após o início da formação de gelo, sempre que uma vareta é, totalmente, coberta de gelo deixa de conduzir corrente com a vareta comum.

Sendo assim, foi implementado o circuito ilustrado na figura 5.12, que permite obter o estado individual de cada sonda, isto é, se o valor recebido na BBB for 0 significa que a vareta encontra-se em contacto com a água, por outro lado, se esse valor for 1 admite-se que a vareta está coberta de gelo.

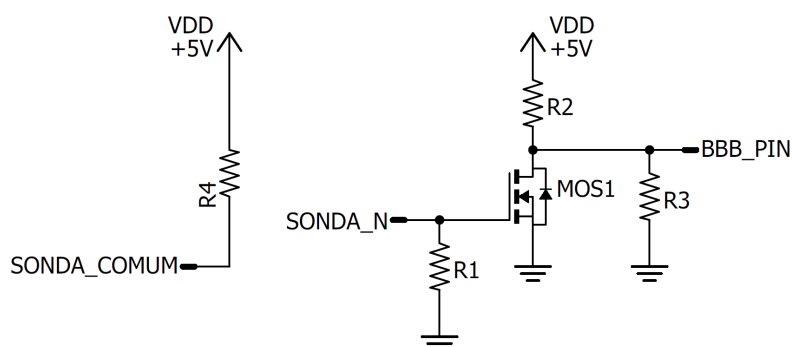


Figura 5.12: Circuito elétrico da sonda discreta

Por último, sabendo o estado e comprimento de cada vareta, foi possível aproximar a massa de gelo contida no depósito através da combinação das equações 5.3 e 5.1.

A tabela 5.1, representa a massa de gelo referente aos 4 andares da sonda discreta.

$$V_{gelo} = S_{gelo} * e_{gelo} \quad (5.1)$$

$$\rho_{gelo} = \frac{m_{gelo}}{V_{gelo}} \quad (5.2)$$

Em que,

$$S_{gelo} = 2 * \pi * r * h \quad (5.3)$$

Vareta	Comprimento (m)	Massa calculada (Kg)
1	0,01	6,21
2	0,015	9,33
3	0,025	15,54
4	0,035	21,76
C	0,045	-

Tabela 5.1: Massa de gelo nas varetas da sonda discreta

5.3.4.2 Sonda contínua

A sonda apresentada anteriormente, apenas consegue obter a quantidade de massa de gelo, presente no depósito de água, em 4 momentos diferentes. De forma a contornar este problema, nesta dissertação foi construída uma nova sonda de gelo, figura 5.13, com o objetivo de obter continuamente a quantidade de massa de gelo, à medida que esta vai sendo formada.

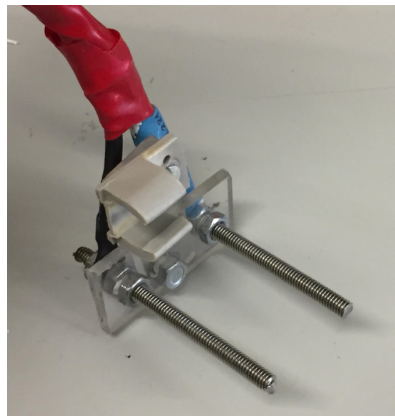


Figura 5.13: Protótipo da sonda contínua

Contudo como a sonda da figura 5.13 não era, imediatamente, coberta pelo gelo desde o momento inicial em que este se começava a formar, apenas alguns minutos depois, foram realizadas algumas alterações.

Na figura 5.14, está ilustrado o protótipo final da sonda contínua desenvolvida. Esta foi colocada dentro do depósito, numa posição semelhante à da sonda discreta.

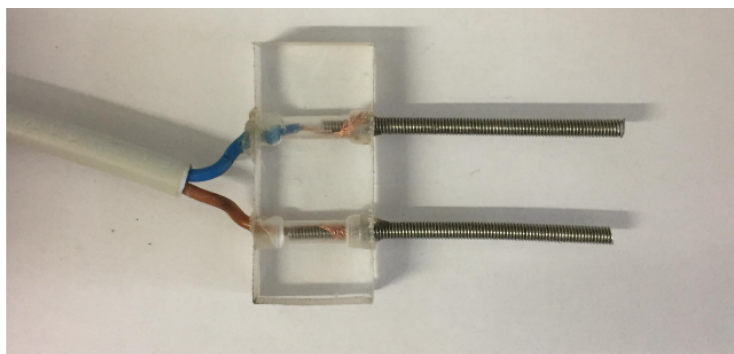


Figura 5.14: Protótipo final da sonda contínua

Esta sonda é constituída por duas varetas de metal e o princípio de funcionamento é semelhante ao da sonda discreta, baseando-se no facto da água ser um condutor elétrico ao contrário do gelo. A grande diferença, é que neste protótipo é estabelecida uma relação entre a massa de gelo e a tensão existente entre as varetas da sonda, isto é, a BBB está constantemente a atualizar o valor de tensão entre as varetas, recebido pela sonda, pois, estes valor varia conforme a presença de gelo, diminui á medida que o gelo aumenta.

Repare-se que a leitura do valor de tensão por parte da BBB, só é possível porque esta contém entradas analógicas, contudo estas não admitem valores de tensão superiores a 1.8V, tensões elevadas podem danificar o módulo de controlo.

Neste caso, foi implementado um espelho de corrente [32] (*Current Mirror*) com a finalidade de alimentar a sonda. Tal como se pode observar na figura 5.15, são utilizados dois transístores, BC547C [33]. A forma como estes encontram-se ligados permite que a corrente na sonda, I_L , seja igual à corrente I_x , definida através da tensão de alimentação e do valor de R_x .

Desta forma, o valor de tensão obtido na BBB depende, apenas, da variação da resistência entre as varetas da sonda, pois a corrente que nela passa é constante.

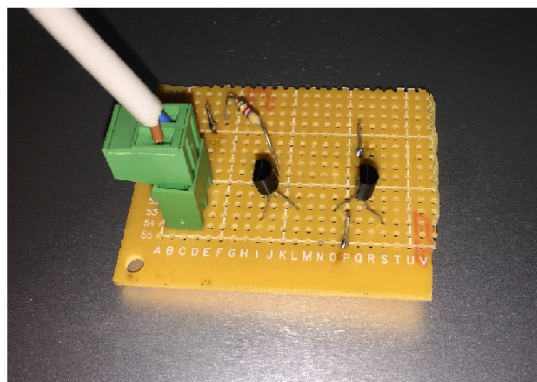
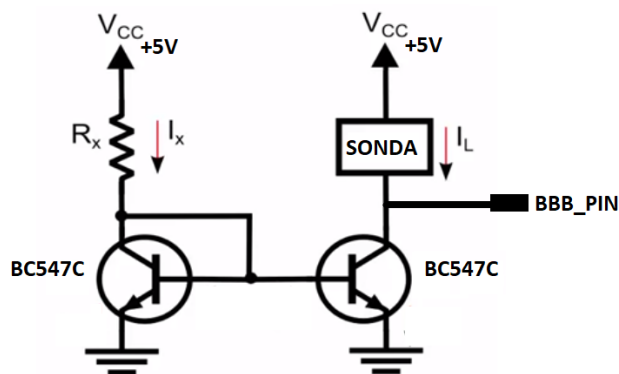


Figura 5.15: Circuito elétrico da sonda contínua

5.3.5 Ligação sem fios (Wi-Fi)

O módulo de controlo utilizado, BeagleBone Black, ao contrário dos modelos mais recentes da Beagleboard, não possui conectividade *wireless* [34], sendo a ligação à internet estabelecida através de um cabo ethernet.

De modo a ultrapassar obstáculos como a ausência de um cabo ethernet no ponto de venda ou facilitar a deslocação da máquina, foi utilizado o adaptador *Wi-Fi*, representado na figura 5.16, que permite estabelecer a ligação *wireless* na BBB e atingir uma velocidade de transmissão de 150Mbps.



Figura 5.16: Adaptador wireless TL-WN725N. Retirado de [12]

No entanto, não basta simplesmente ligar o adaptador à porta USB da BBB. Em primeiro lugar, é necessário instalar os respetivos *drives* [35], no módulo de controlo, do adaptador utilizado. Na figura 5.17, são expostas duas situações diferentes, em ambas o adaptador encontra-se ligado à BBB, mas este só é reconhecido após a instalação dos *drives*.

Outro aspeto a salientar é a hora apresentada, pois sem ligação à internet a BBB não consegue obter a hora atual.

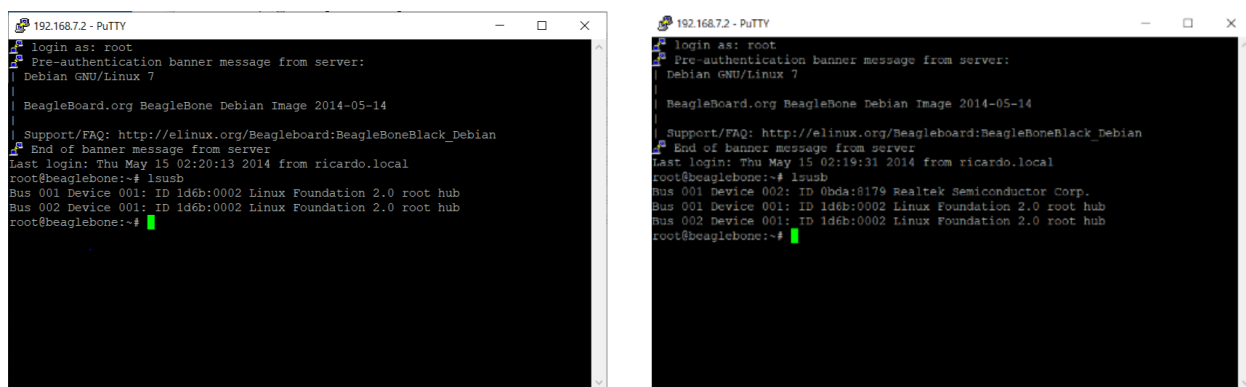


Figura 5.17: Reconhecimento do adaptador após a instalação dos *drives*

De seguida foi configurada a rede *Wi-Fi*, com qual o adaptador TL-WN725N vai estabelecer ligação, pois como se pode ver na figura 5.18, na primeira imagem, a BBB não consegue encontrar nenhuma rede de internet disponível. Ainda na mesma figura, segunda imagem, verifica-se que foi configurada uma rede doméstica, uma vez que, devido a problemas com protocolos de segurança, na foi possível estabelecer ligação com a rede *Wi-Fi* da FEUP.

```

root@beaglebone:~# iwconfig
lo        no wireless extensions.

eth0      no wireless extensions.

usb0      no wireless extensions.

root@beaglebone:~#

GNU nano 2.2.6  File: /etc/network/interfaces  Modified
#allow-hotplug wlan0

# WiFi
auto wlan0
iface wlan0 inet dhcp
wpa-ssid "MEO-455E00"
wpa-psk  "006936225f"

# Ethernet/RNDIS gadget (g_ether)
# ... or on host side, usbnet and random hwaddr
# Note on some boards, usb0 is automatically setup with an init script
iface usb0 inet static
address 192.168.7.2
netmask 255.255.255.0
network 192.168.7.0
gateway 192.168.7.1

```

Figura 5.18: Configuração da rede *Wi-Fi*

Por último, depois de realizada todas as etapas anteriores, a BBB consegue identificar e efetuar a ligação com a rede *Wi-Fi* definida. Note-se que, figura 5.19, é atribuído um endereço IP a esta ligação (neste caso 192.168.1.78). Este permite, através do PuTTY, ao utilizador aceder à BBB com um computador sem a utilização de um cabo.

```

root@beaglebone:~# iwconfig
wlan0     IEEE 802.11bgn  ESSID:"MEO-455E00"  Nickname:"<WIFI@REALTEK>"
Mode:Managed  Frequency:2.462 GHz  Access Point: 00:06:91:45:5E:00
Bit Rate:72.2 Mb/s  Sensitivity:0/0
Retry:off  RTS thr:off  Fragment thr:off
Encryption key:****-****-****-****-****-****-****-**** Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=100/100  Signal level=0 dBm  Noise level=0 dBm
Rx invalid nwid:0  Rx invalid crypt:0  Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0  Invalid misc:0  Missed beacon:0

lo        no wireless extensions.

eth0      no wireless extensions.

usb0      no wireless extensions.

root@beaglebone:~#

wlan0      Link encap:Ethernet  HWaddr 50:3e:aa:e0:e0:6a
inet addr:192.168.1.78  Bcast:192.168.1.255  Mask:255.255.255.0
inets addr: 2001:8a0:ff3f:dc00:523e:aa:ff:ee0:e0:6a/64  Scope:Global
inets addr: fe80::523e:aa:ff:ee0:e0:6a/64  Scope:Link
UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
RX packets:91 errors:0 dropped:98 overruns:0 frame:0
TX packets:76 errors:0 dropped:6 overruns:0 carrier:0
collisions:0 txqueuelen:1000
RX bytes:27964 (27.3 KiB)  TX bytes:22394 (21.8 KiB)

root@beaglebone:~# ping www.google.com
PING www.google.com (216.58.214.164) 56(84) bytes of data.
From beaglebone.local (192.168.105.102) icmp_seq=1
From beaglebone.local (192.168.105.102) icmp_seq=2
From beaglebone.local (192.168.105.102) icmp_seq=3
From beaglebone.local (192.168.105.102) icmp_seq=4
From beaglebone.local (192.168.105.102) icmp_seq=5
From beaglebone.local (192.168.105.102) icmp_seq=6
From beaglebone.local (192.168.105.102) icmp_seq=7
From beaglebone.local (192.168.105.102) icmp_seq=8

```

Figura 5.19: Ligação *Wi-Fi* estabelecida

5.4 Base de dados

Neste subcapítulo, descreve-se detalhadamente a forma como a base de dados foi desenvolvida. Esta armazena os dados relativos à máquina de extração de bebidas e aos seus utilizadores, sendo assim essencial para a monitorização da máquina em estudo.

Na presente dissertação o sistema *open-source* de gestão de bases dados escolhido, foi o mesmo que o utilizado na dissertação anteriormente realizada [9], de forma a aproveitar as aplicações primárias já desenvolvidas.

5.4.1 Modelo entidade-relação

Na figura 5.20 é exposto o modelo entidade-relação da base de dados, adaptado da dissertação anterior, com a adição de novas tabelas, e algumas alterações nas restantes.

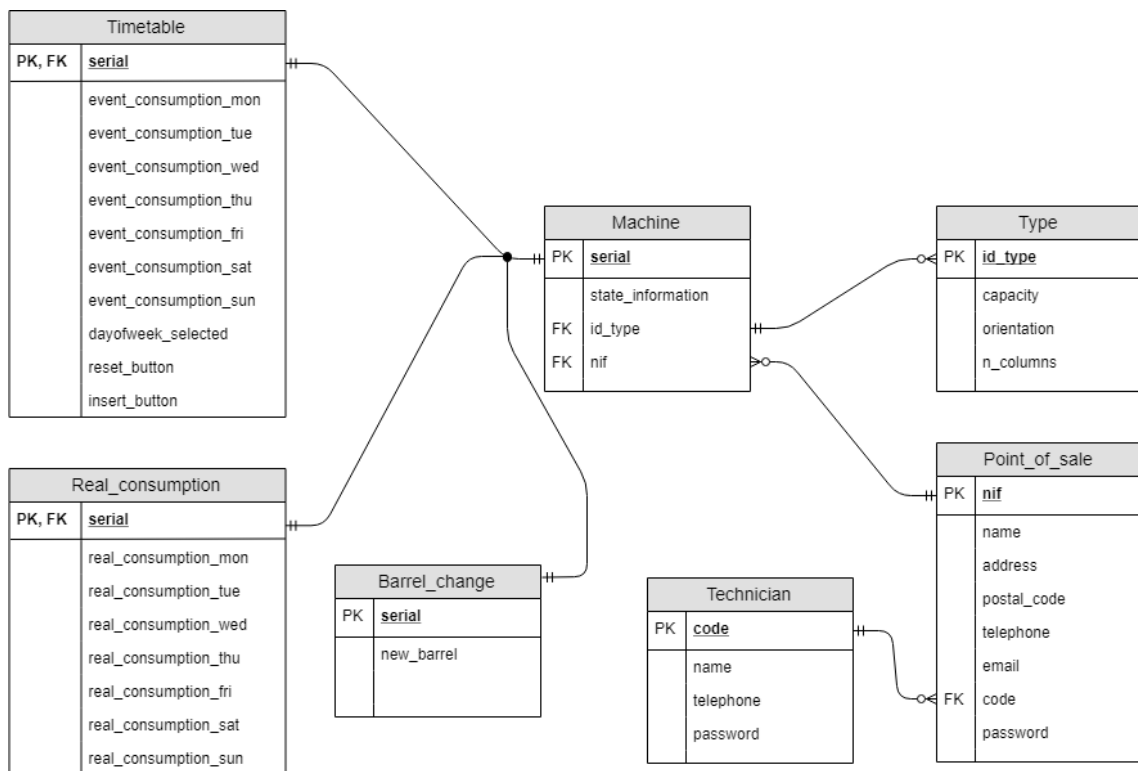


Figura 5.20: Modelo entidade-relação

O modelo é composto por 7 tabelas, sendo que cada uma é representada por uma entidade no modelo, juntamente com os seus atributos. As tabelas são as seguintes:

- **Real_consumption**: recebe os consumos reais provenientes da BBB e guarda-os no respetivo dia da semana;
- **Barrel_change**: indica à BBB que um novo barril foi inserido;
- **Technician**: indica os técnicos disponíveis para a manutenção das máquinas;
- **Point_of_sale**: refere diferentes pontos de venda registados no sistema, sendo que cada um deles está associado a um técnico de manutenção;
- **Timetable**: guarda os consumos horários semanais, definidos pelo utilizado, para cada máquina. Armazena, ainda, o estado de variáveis necessárias para o funcionamento do *website*;
- **Machine**: contém uma lista de todas as máquinas registadas e a localização destas. Isto é, o ponto de venda associado a cada uma;
- **Type**: indica as configurações possíveis das máquinas, a nível de orientação, capacidade e número de colunas de extração.

5.4.2 Implementação base de dados

O sistema utilizado para a realização da base de dados foi o PostgreSQL. Esta ferramenta *oupen-source*, disponibilizada pela FEUP aos seus estudantes, permite a gestão de base de dados relacionais e suporta a maioria dos recursos disponíveis pelo protocolo SQL.

Além disso, o sistema phpPgAdmin, que permite a manipulação de dados e a execução de scripts SQL, foi a ferramenta *online* utilizada para a administração da base de dados [36].

5.4.3 Informação recolhida da máquina

A BBB envia na forma de *string* e em tempo real toda a informação e os consumos de bebida diários.

Por cada dia da semana é enviada uma *string* diferente, que contém 24 números inteiros, sendo que cada um corresponde ao valor de consumo real a uma hora do dia. Desta forma, os consumos diário são armazenados no atributo correspondente da base de dados da tabela “*Real_consumption*”. Os atributos a considerar nesta transação de informação são os seguintes:

- “*real_consumption_mon*”: guarda os consumos horários de segunda-feira;
- “*real_consumption_tue*”: guarda os consumos horários de terça-feira;
- “*real_consumption_wed*”: guarda os consumos horários de quarta-feira;
- “*real_consumption_thu*”: guarda os consumos horários de quinta-feira;
- “*real_consumption_fri*”: guarda os consumos horários de sexta-feira;
- “*real_consumption_sat*”: guarda os consumos horários de sábado;
- “*real_consumption_sun*”: guarda os consumos horários de domingo;

Simultaneamente, uma *string* que contém toda a informação sobre o estado da máquina é enviada para a base de dados. Esta é armazenada em apenas um atributo da base de dados, nomeadamente o atributo “*state_information*” da tabela “*Machine*”.

Na tabela 5.2 está representada por ordem a constituição desta *string*. Verifica-se que a informação enviada inclui 15 parâmetros diferentes.

Posição da <i>string</i>	Nome da variável	Descrição
1	Compressor	“1” se ligado ou “0” se desligado
2	Ventilador	“1” se ligado ou “0” se desligado
3	Agitador	“1” se ligado ou “0” se desligado
4	Massa de gelo	Gelo formada em Kg
5	Consumo do compressor	Consumo energético, em KWh
6	Consumo do ventilador	Consumo energético, em KWh
7	Consumo do agitador	Consumo energético, em KWh
8	Consumo parte eletrónica	Consumo energético, em KWh
9	Temperatura 1	Temperatura do ventilador
10	Temperatura 2	Temperatura ambiente
11	Temperatura 3	Temperatura da água
12	Temperatura 4	Temperatura do barril
13	Temperatura 5	Temperatura da torneira
14	Bebida extraída	Volume de bebida extraída, em litros
15	Bebida barril	Volume de bebida restante, em litros

Tabela 5.2: Constituição da *string*

Além disso, os seguintes atributos, da tabela “*Timetable*” e da tabela “*Barrel_change*”, participam nesta transação:

- “*insert_button*”: colocado a “0” pela BBB quando terminar o processamento dos consumos enviados anteriormente pelo *website*;
- “*reset_button*”: colocado a “0” pela BBB quando terminar a colocação a zeros dos valores de consumo previstos para o dia selecionado.
- “*new_barrel*”: colocado a “0” pela BBB depois de receber informação de que foi efetuada a troca de barril.

5.4.4 Informação enviada para a máquina

Os consumos previstos são introduzidos na pagina *web* pelo o utilizador. De seguida, estes são guardados, em formato *string*, na tabela “*Timetable*” no atributo correspondente ao dia da semana definido.

Sendo assim, os atributos da tabela “*Timetable*” da base de dados a considerar nesta transação de informação estão ilustrados na tabela 5.3:

Atributos	Descrição
"event_consumption_mon"	guarda os consumos horários previstos para segunda
"event_consumption_tue"	guarda os consumos horários previstos para terça
"event_consumption_wed"	guarda os consumos horários previstos para quarta
"event_consumption_thu"	guarda os consumos horários previstos para quinta
"event_consumption_fri"	guarda os consumos horários previstos para sexta
"event_consumption_sat"	guarda os consumos horários previstos para sábado
"event_consumption_sun"	guarda os consumos horários previstos para domingo
"dayofweek_selected"	dia selecionado para inserir consumos de bebida
"insert_button"	"1" se botão pressionado senão mantêm-se a "0"
"reset_button"	"1" se botão pressionado senão mantêm-se a "0"

Tabela 5.3: Atributos da tabela "Timetable"

Por outro lado, quando se dá uma mudança de barril, o valor do atributo "new_barrel" da tabela "Barrel_change" é colocado a "1".

5.5 Website

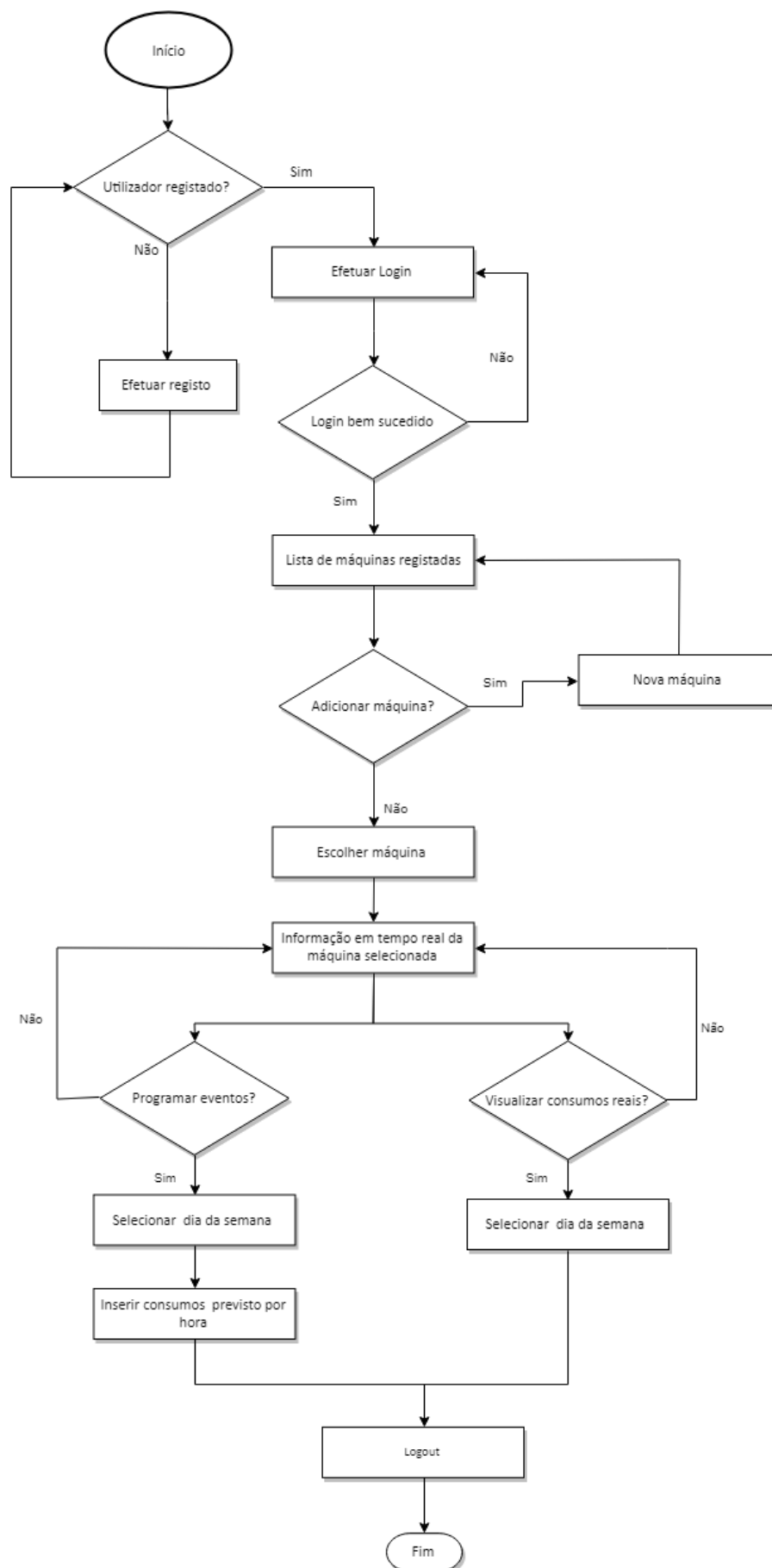
A interação entre o utilizador e a bases de dados, que contém a informação da máquina, é realizada com a recurso a uma página *web* desenvolvida. O *website* encontra-se alojado num servidor da FEUP (<https://paginas.fe.up.pt/~up201303032/website>), que disponibiliza este serviço aos seus estudantes.

Os valores do consumo horário previsto de bebida são introduzidos no sistema através do *website* e enviados periodicamente para a BBB, onde serão processados. Em sentido contrário, as *strings* dos consumos reais e informação do estado da máquina, explicadas no ponto 5.4.3, criadas na BBB, são enviada para o *website*, onde os valores são separados e apresentados nas respetivas secções.

A implementação da página *web* foi realizada recorrendo às seguintes linguagens:

- **CSS:** permite descrever a apresentação da página [37];
- **HTML:** utilizada para definir a estrutura e conteúdo do *website*;
- **PHP:** linguagem de programação do lado do servidor que torna a página dinâmica e interativa [38].

O diagrama de fluxo da figura 5.21 ilustra o funcionamento da página *web* e as suas funcionalidades.

Figura 5.21: Fluxograma representativo do funcionamento do *website*

5.5.1 Funcionalidade

O *website* inclui funcionalidades essenciais para a monitorização da máquina de extração de bebidas em tempo real. Estas são abordadas nas secções seguintes.

5.5.1.1 Login

De forma a aceder à interface de monitorização, o utilizador necessita de inserir as suas credenciais no formulário de *login*). Se o utilizador não estiver previamente registado, esta funcionalidade não é realizado com sucesso. Caso contrário, e se o *login*) for efetuado com sucesso, este pode observar todas as máquinas associadas à sua conta.

5.5.1.2 Adicionar pontos de venda

No *website* é possível o registo de novos pontos de venda. De modo a que um novo utilizador possa usufruir das vantagens desta interface.

A fim de realizar o registo o utilizador tem de fornecer os seguintes dados:

- NIF;
- Morada;
- Código postal;
- Contacto telefónico;
- Email;
- Técnico de manutenção atribuído ao ponto;
- Palavra-passe de acesso à conta.

5.5.1.3 Nova máquina

Esta funcionalidade permite a adição de uma nova máquina à conta de um utilizador autenticado no *website*). Contudo, essa nova máquina terá de ser compatível com a interface de monitorização.

5.5.1.4 Estado da máquina

Para cada máquina, é possível consultar informação em tempo real sobre o seu estado, desde o momento em que esta foi ligada. Esta informação inclui:

- Sensores de temperatura;
- Motores;

- Consumos energéticos;
- Massa de gelo formado.

5.5.1.5 Programar eventos

O utilizador tem a possibilidade de programar volumes de bebida que se prevê consumir a cada hora, durante uma semana. Para isso, deve seleccionar o dia que pretende na página criar evento do *website*.

Nesta página, também é possível consultar os consumos previstos previamente inseridos e, caso o utilizador pretenda, pode alterar estes valores. Ao pressionar o botão “Apagar eventos”, todos os valores introduzidos no dia da semana seleccionado são eliminados.

Os valores introduzidos são enviados para a BBB, onde são utilizados pelo controlador desenvolvido de forma a obter o tempo de ativação do compressor. Desta forma, será possível a formação de massa de gelo necessária para responder aos consumos programados.

5.5.2 Verificar consumos de bebida

O controlador organiza por dia e hora todos os consumos de bebida extraída, durante uma semana. Estes são enviados, periodicamente, para a base de dados, que os disponibiliza ao *website*.

Na secção sobre a informação da máquina em tempo real da página *web* encontra-se o botão "Consumos diários". O utilizador ao seleccionar este botão, abre uma nova página que permite escolher o dia da semana e assim, observar os consumos horários deste.

5.5.2.1 Bebida extraída e estado do barril

O volume de de bebida extraída, desde que a máquina é ligada, é constantemente atualizado no *website*. Neste caso, o utilizador pode saber a qualquer momento a quantidade de bebida de servida e também, a quantidade de cerveja vendida após desligar a máquina.

Além disso, também é apresentada na página *web*, a quantidade de bebida restante dentro do barril. Esta funcionalidade permite ao utilizador saber com antecedência que a bebida está a acabar e assim, efetuar a troca de barril.

Quando esta ação é realizada, o utilizador selecciona o botão "Novo Barril", de maneira a que o módulo de controlo obtenha essa informação.

5.6 Conclusão

Neste capítulo, foi apresentada a constituição da arquitetura do sistema, Esta está dividida em dois níveis, *hardware* e base de dados.

Na secção *hardware*, foi ilustrada a fonte de alimentação escolhida para fornecer energia á BBB. Ainda nesta secção é explicada a forma como os motores são controlados e o tipo de sensor usado para a medição de temperatura, em diferentes pontos da máquina de extração de bebidas.

A sonda de gelo discreta, reaproveitada de estudos anteriores, foi reconstruída de forma a obter 4 valores diferentes de massa de gelo formada, de acordo com o comprimento das varetas. Contudo, como não era possível saber em cada instante a quantidade de gelo, foi desenvolvida uma sonda contínua formada por duas varetas de metal, em que a BBB lê o valor de tensão entre estas. Por fim, em relação ao *hardware*, foi utilizado um adaptador *wireless* que permite à BBB a capacidade de se ligar à internet via *Wi-Fi*.

A base de dados é o elo de ligação entre a máquina e a página *web*, esta foi implementada em PostgreSQL, que permite armazenar todos os dados gerados tanto na BBB, como também no *website*. Para tal, foi construído um modelo entidade-relação da base de dados, que apresenta as entidades e respetivos atributos presentes na mesma.

Ainda neste capítulo, explica-se a implementação do *website*, devido à relação estabelecida entre este e a base de dados. Por último, descreve-se as funcionalidades implementadas no *website* que permitem uma maior facilidade no acompanhamento de falhas e consumos das máquinas.

Esta interface é a parte mais importante do sistema de monitorização pois, é através desta que o utilizador interage com a máquina.

Capítulo 6

Resultado

Neste capítulo, são expostos os principais resultados obtidos da realização de experiências na máquina de extração de bebidas. Estes são representados através de gráficos, que permitem uma melhor compreensão da forma como as diferentes grandezas variam, validando os objetivos definidos.

6.1 Comportamento do sistema

Os gráficos das figuras 6.1 e 6.2 obtiveram-se a partir da mesma experiência. Esta foi efetuada após uma longa paragem da máquina de extração de bebidas. Tal como se pode observar, a temperatura da água no depósito encontra-se, aproximadamente, igual à temperatura ambiente.

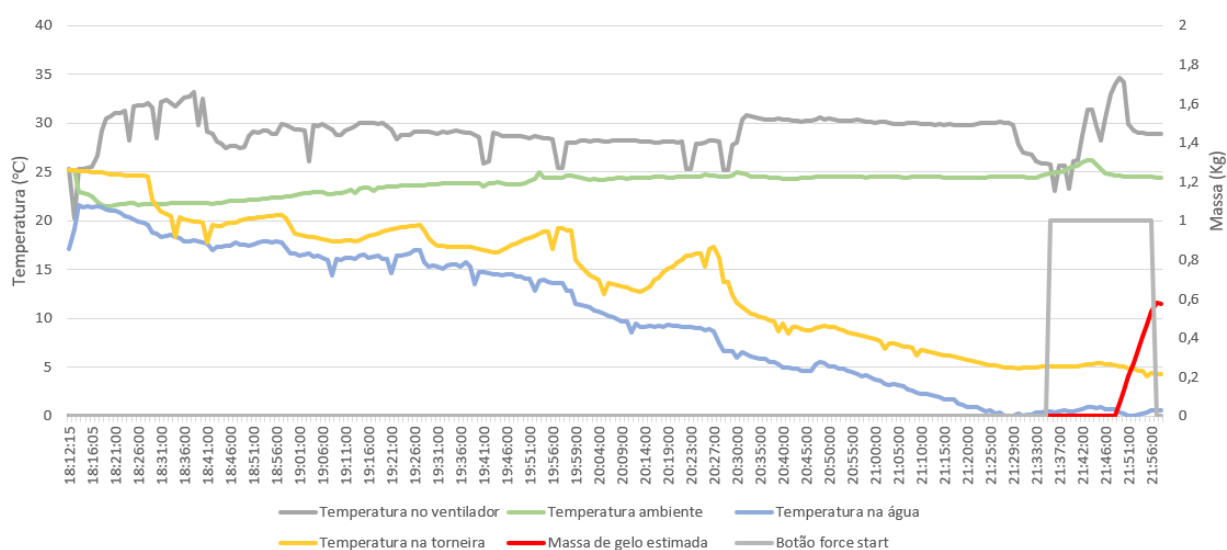


Figura 6.1: Variação das temperaturas

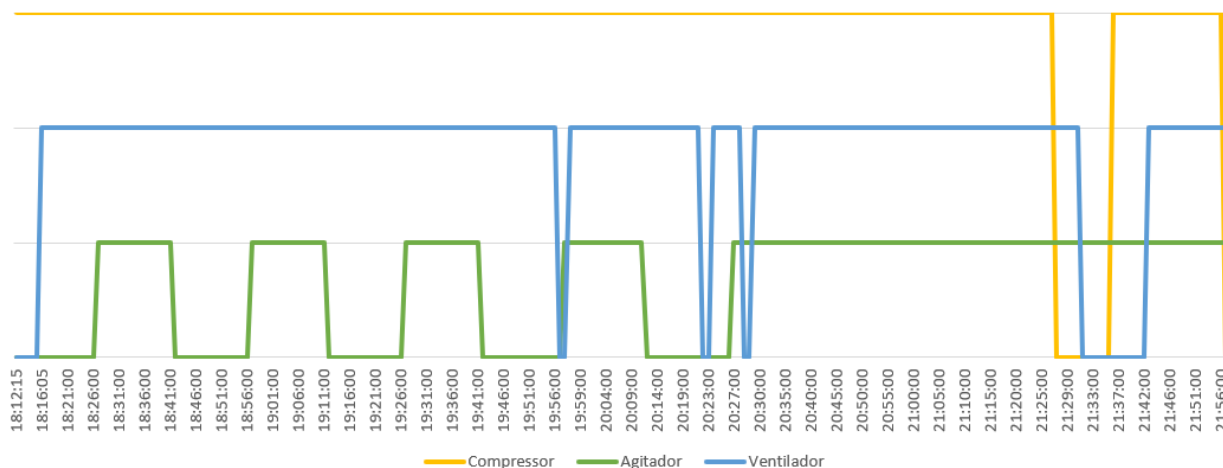


Figura 6.2: Modo de funcionamento dos motores

Neste caso, o compressor é ativado (figura 6.2) logo que a máquina é inicializada, uma vez que a temperatura da água é superior a 1°C . No momento em que esta atinge os 0°C , o compressor desliga-se. Durante o resto da experiência, a temperatura da água mantém-se aproximadamente 0°C , não sendo necessário ligar o compressor, de acordo com o controlador implementado. Contudo, o compressor foi forçado a ativar, pois o botão *force start* foi colocado em *on*, levando à formação de massa de gelo 6.1.

Por outro lado, observa-se na figura 6.2, que o ventilador nos minutos iniciais está desligado, pois as temperaturas da água e do ventilador (figura 6.1) são iguais. Uma vez que o compressor é ativado logo no início do teste, a temperatura na zona das máquinas aumenta, provocando a ativação do ventilador. Isto deve-se ao facto de a temperatura do ventilador ser, pelo menos, 3°C superior à temperatura ambiente. Assim que estas se igualarem o ventilador é desligado. É de salientar que, no momento em que o compressor é desligado, corresponde ao maior período em que o ventilador está desativado (figura 6.2), pois a temperatura na zona das máquinas arrefece mais rapidamente.

O agitador, tal como é ilustrado na figura 6.2, inicialmente funciona em ciclos alternados de 15 minutos, porque a temperatura da torneira (figura 6.1) é superior a 5°C . Uma vez atingido este valor, o compressor só desliga quando a temperatura da torneira for igual a 0°C .

6.2 Análise do fluxo de bebida extraída

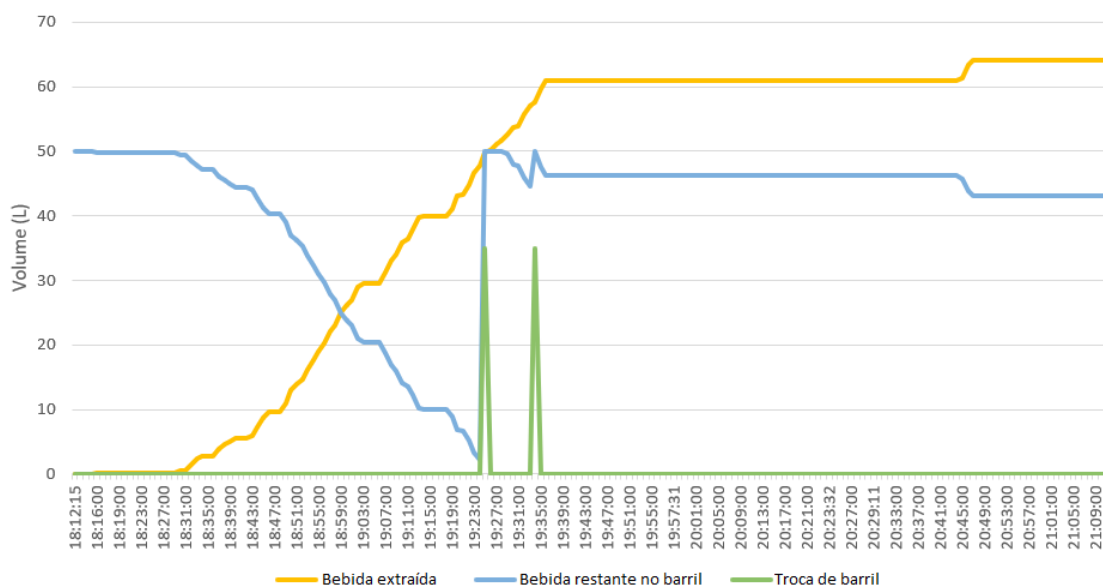


Figura 6.3: Fluxo de bebida

Esta experiência visa validar o funcionamento dos blocos adicionados, nesta dissertação, ao controlador apresentado no capítulo 4. Observa-se que o volume de bebida extraída corresponde à quantidade de cerveja servida durante a experiência (figura A.10).

Além disso, o volume de bebida dentro do barril vai sendo atualizado de acordo com a quantidade extraída, o que permite ao utilizador saber quando deve efetuar a troca de barril, de forma a não deixar acabar a cerveja.

De cada vez que o barril é trocado, o volume de cerveja no seu interior é atualizado para 50L. Esta ação efetua-se através de um botão existente no *website* (figura A.7). Note-se que, na figura 6.3, são efetuadas duas trocas de barril e nesses momentos o volume do barril é repostos. De seguida, este diminui em sentido contrário ao da curva de bebida extraída.

6.3 Programar evento

A fim de melhorar a eficiência energética da máquina, foi implementada no *website* (figura A.8) uma página que permite ao utilizador programar consumos de bebida. Sendo assim, a BBB informa a máquina caso exista um evento pré programado. Com base nesta informação, é possível prever o tempo suficiente para gerar a massa de gelo necessária, de forma a extrair o volume de bebida à hora prevista.

Para validar esta funcionalidade, foi transmitido à máquina, através do *website* (figura A.9), um consumo previsto de 15L às 19h.

No gráfico da figura 6.4, verifica-se que a hora prevista para o compressor ligar é, aproximadamente, às 18h. Este é desativado após atingir a massa de gelo necessária, cerca de 3,5Kg.

Antes da hora de ativação ser atingida, a máquina encontra-se no estado de arrefecimento da água, ligando o compressor apenas para baixar e manter a temperatura da água em 0°C . Posto isto, nesta experiência, o compressor é ligado inicialmente duas vezes, pois a temperatura da água ultrapassou 1°C .

Por fim, quando é extraído o volume de bebida programado de 15L, a massa de gelo, dentro do depósito, decresce e a temperatura da água sobe para valores superiores a 1°C . Este comportamento já era previsível, devido à transferência de calor que ocorre da bebida para a água do depósito, ao circular na serpentina que aí se encontra. Neste caso, o compressor é ativado até a temperatura da água estabilizar nos 0°C .

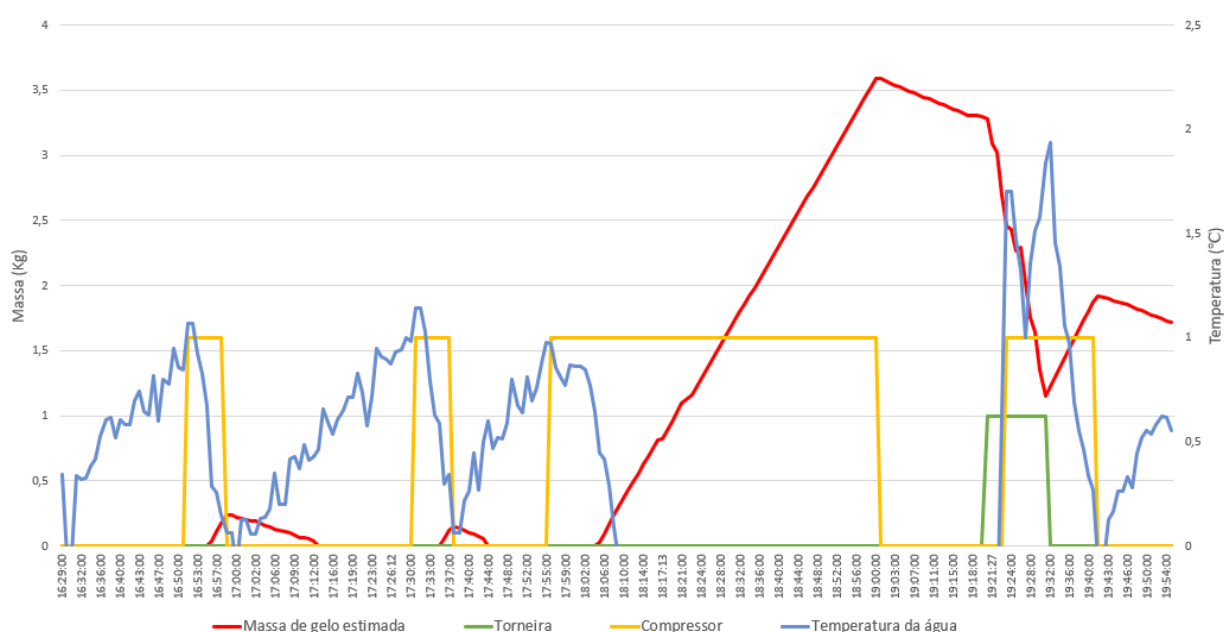


Figura 6.4: Resposta do sistema a um evento criado

6.4 Sonda de medição da massa de gelo contínua

Em primeiro lugar, de forma a validar o circuito apresentado na figura 5.15, foram realizados os testes ilustrados na figura 6.5, antes de se colocar a sonda contínua do depósito de água da máquina.

Durante esta experiência, a sonda, numa primeira fase, foi introduzida totalmente dentro de um compartimento com água. Observe-se que nesta situação, o valor de tensão obtido é aproximadamente 1.6V, sendo este o máximo valor possível, de modo a não ultrapassar a tensão suportada pela porta analógica da BBB, 1.8V como já referido anteriormente no capítulo 5.

De seguida, a sonda foi sendo retirada, aos poucos, da água, até permanecer emersa. Nesta situação, o valor de tensão vai diminuindo proporcionalmente até atingir 0V. Esta experiência serve para simular o aumento da massa de gelo, uma vez que quando as varetas são cobertas pelo

gelo a tensão entre estas vai diminuindo, tal como acontece no teste à medida que se retira a sonda da água.

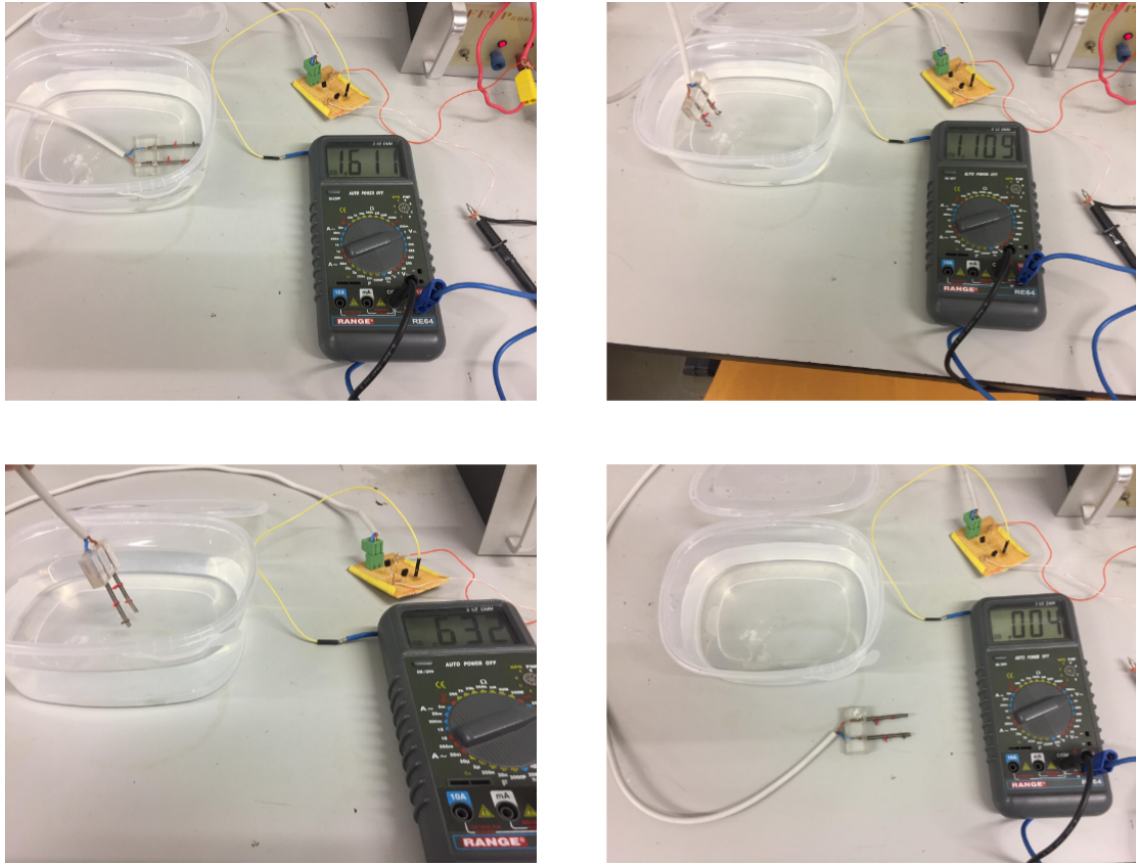


Figura 6.5: Teste da sonda continua antes de ser colocada na máquina

Após a confirmação teórica do funcionamento da sonda, esta foi instalada na máquina, onde foram realizados novos testes de forma a validar o seu funcionamento no sistema.

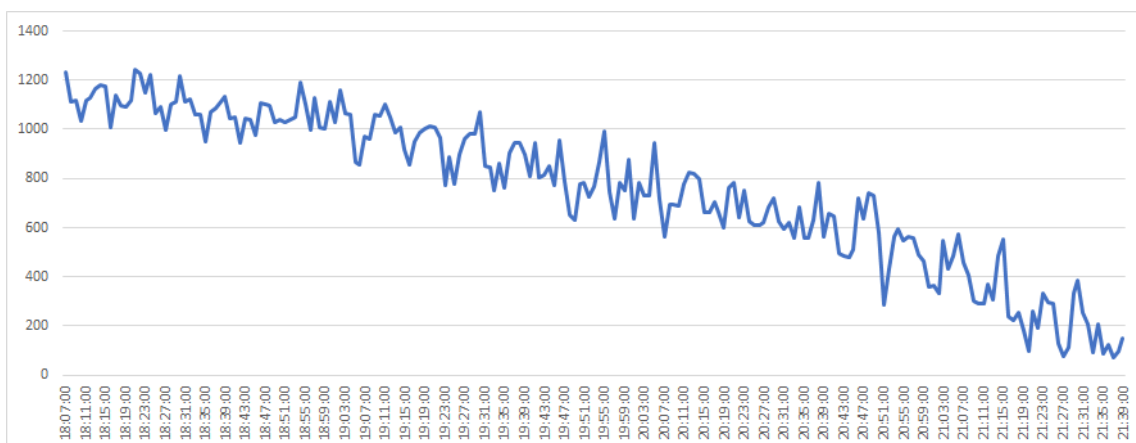


Figura 6.6: Variação da tensão

No gráfico da figura 6.6, verifica-se que a tensão diminui ao longo do tempo, o que era expectável, confirmando então, que, com o aumento da massa de gelo, formada no depósito de água, a tensão entre as varetas diminui. Observa-se ainda alguma oscilação dos valores de tensão obtidos, sendo estes provocados principalmente pela ativação do agitador.

De seguida, foram registados cinco valores de tensão, em diferentes momentos, e calculada a quantidade de gelo nesses pontos. Com recurso a estes valores, foi possível obter a equação representada na figura 6.7, que permite saber a massa de gelo existente na máquina em cada momento, de acordo com a tensão indicada pela sonda.

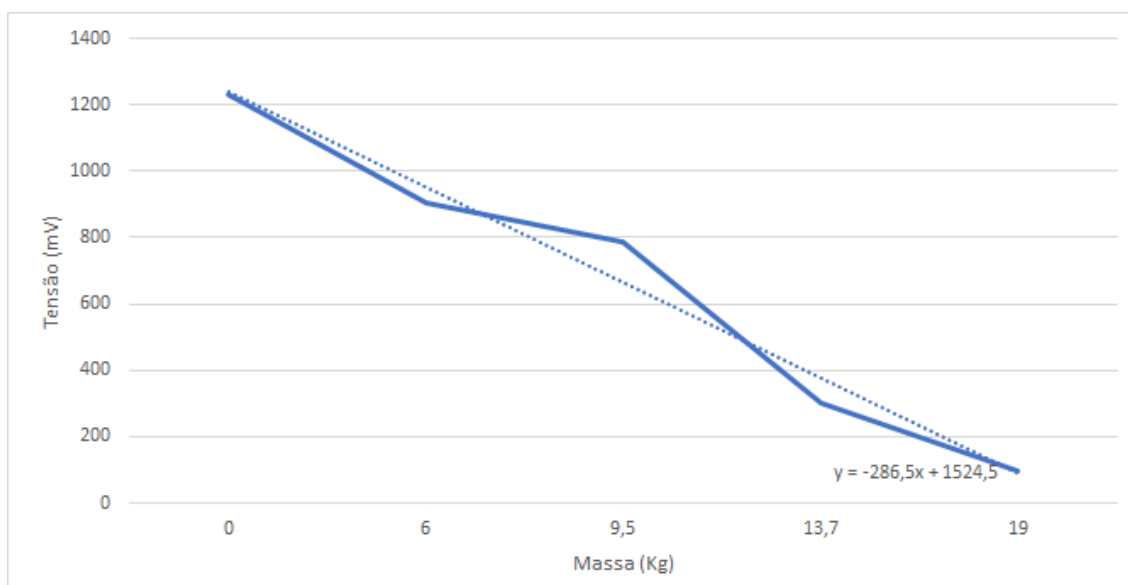


Figura 6.7: Relação entre tensão e quantidade de gelo produzido

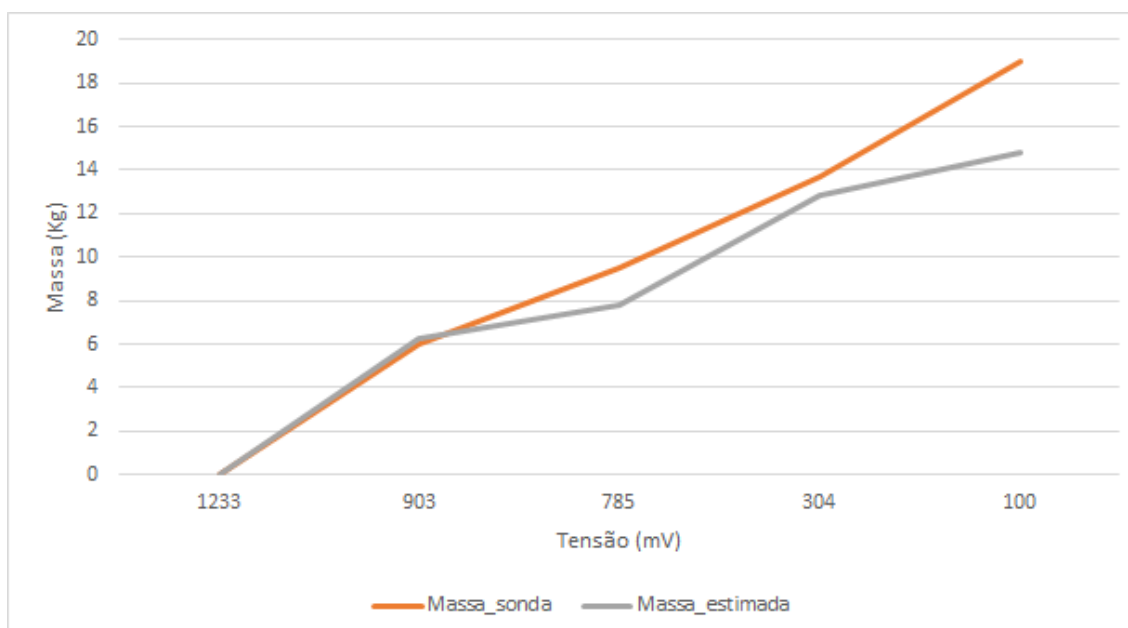


Figura 6.8: Comparação entre a massa de gelo obtida e massa estimada

Por último, foi efetuada uma comparação entre a massa de gelo registada pela sonda contínua, quantidade de massa que realmente existe no depósito de água, e massa estimada pelo controlador, figura 6.8. É possível afirmar que, quando a massa de gelo é inferior a 14Kg, o valor estimado é próximo do valor real. Contudo, para quantidades superiores há uma diferença considerável.

6.5 Base de dados e website

A base de dados e a página *web* desenvolvidas neste projeto, encontram-se representadas nas figuras do Anexo A.

A figura A.1 representa uma visão geral da base de dados. Nesta observa-se as 7 entidades que constituem o modelo entidade-relação da base de dados, que é o elemento central da arquitetura do sistema, uma vez que estabelece a ligação entre a BBB e o *website*.

A página inicial do *website*, na qual se pode realizar o *login* é ilustrada na figura A.2. Se este for bem sucedido, o utilizador será alertado através de uma mensagem de sucesso, como se encontra ilustrado na figura A.4. Caso contrário, é apresentada uma mensagem de *login* inválido, figura A.5.

Se ocorre um erro de *login* devido ao facto do utilizador não estar registado no sistema ou porque se trata de um novo utilizador, este pode efetuar o registo, inserindo os dados pedidos no formulário da página exposta na figura A.3.

Um utilizador credenciado, clicando na hiperligação "máquinas", é redirecionado para a página de seleção das máquinas, figura A.6, na qual poderá selecionar a que pretende monitorizar.

Após a seleção da máquina pretendida o utilizador acede à informação da máquina em tempo real, figura A.7. Nesta página é apresentado o estado dos motores, os respetivos consumos energéticos, a massa de gelo, as temperaturas em 5 pontos diferentes, a bebida extraída e a bebida restante no barril. Além disso, existem 3 botões na página, cada um representa uma funcionalidade diferente. O botão "Novo Barril", como já referido anteriormente, indica à BBB que se efetuou uma troca de barril, de forma a obter o volume de bebida restante no barril.

Se o utilizador selecionar o botão "Programar eventos", é redirecionado para uma nova página, que permite inserir consumos de bebida esperados e, também, consultar os consumos já programados, figuras A.8 e A.9.

Por último, ao selecionar o botão "Consumos diários" é apresentada a página da figura A.10, na qual o utilizador pode selecionar o dia da semana que pretende. De seguida, cada linha que surge corresponde a uma hora do dia selecionado e os respetivos litros de bebida extraídos.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

7.1 Satisfação dos Objectivos

O trabalho exposto neste documento tem em vista diminuir o consumo energético das máquinas de extração de bebidas. Assim sendo, foram definidas, no início do projeto, várias etapas para alcançar este objetivo.

Inicialmente, foi realizado um estudo sobre o funcionamento da máquina e, também, das alterações já efetuadas em dissertações realizadas anteriormente, de maneira a instruir o leitor sobre o que foi feito neste projeto. O estudo realizado permitiu tirar conclusões relativamente aos ganhos energéticos em diferentes pontos da máquina, levando à elaboração do modelo termodinâmico da máquina. Através deste modelo foi possível estimar diversas grandezas, tais como a temperatura da água e a quantidade de massa de gelo formada no depósito a cada instante, sendo estas utilizadas no controlador implementado.

A fim de obter o caudal de bebida extraído, realizaram-se alterações ao controlador existente. Através da instalação de um caudalímetro foi possível saber, não só o volume de bebida extraída, como também a quantidade de cerveja restante no barril. Estas funcionalidades são disponibilizadas ao utilizador através de uma página *web*, que está em constante troca de informação com a máquina, em que o elo de ligação é a base de dados implementada.

Por fim, de forma a obter uma medição contínua da massa de gelo foi desenvolvida uma nova sonda constituída por duas varetas metálicas, que se baseia no princípio da água ser condutora elétrica. De seguida, a BBB adquire o valor de tensão entre as varetas, processa-os e calcula a massa de gelo com base no valor de tensão a cada momento.

7.2 Trabalho Futuro

Apesar de cumpridos os objetivos definidos para esta dissertação, é ainda possível enumerar as seguintes melhorias a realizar ao sistema:

- Construir uma nova PCB, para tornar a parte electrónica mais compacta e robusta;

- Adicionar mais funcionalidades ao *website*, tais como o acompanhamento dos planos de manutenção das máquinas; ;
- Implementar sensores de corrente com o objetivo deteção e prevenção de avarias na máquina;
- Otimizar o algoritmo de previsão de perda de massa de gelo;
- Desenvolver um sistema que avise a empresa distribuidora de bebida para o facto de estar iminente uma nova encomenda por parte do ponto de venda;
- Realizar testes em ambiente comercial;

Anexo A

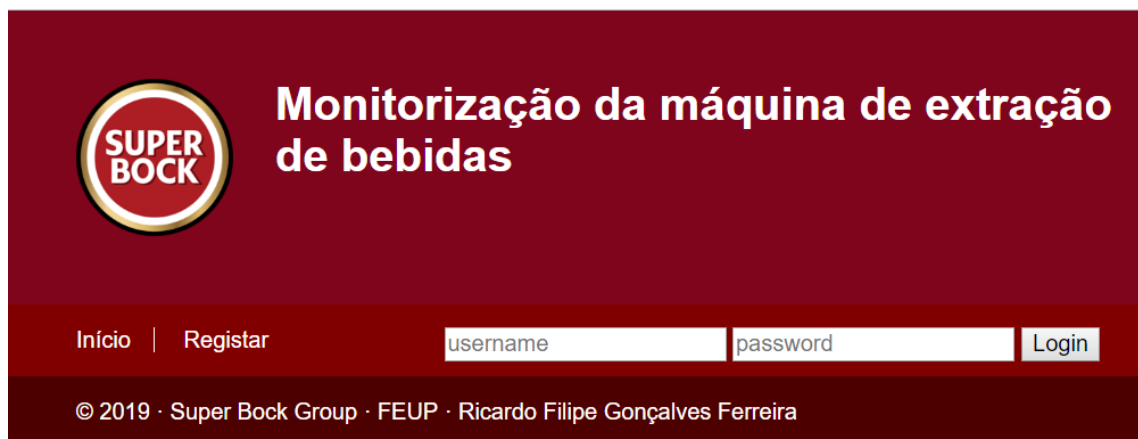
Base de dados e *website*



The screenshot shows the phpPgAdmin web interface for a PostgreSQL 9.6.13 database. The left sidebar shows the database structure with 'up201303032' selected. The main area displays a table named 'Tabela criada' with columns: Tabela, Proprietário, Tablespace, Número estimado de linhas, and Ações. The table contains 6 rows of data. Below the table, there are buttons for 'Analisar' and 'Executar'.

Tabela	Proprietário	Tablespace	Número estimado de linhas	Ações	Comentário
Barral_change	up201303032		0	Navegar Selecionar Inserir Vazio Alterar Deletar Vácuo Analisar Reindexar	
Machine	up201303032		0	Navegar Selecionar Inserir Vazio Alterar Deletar Vácuo Analisar Reindexar	
Point_of_sale	up201303032		0	Navegar Selecionar Inserir Vazio Alterar Deletar Vácuo Analisar Reindexar	
Real_consumption	up201303032		0	Navegar Selecionar Inserir Vazio Alterar Deletar Vácuo Analisar Reindexar	
Technician	up201303032		0	Navegar Selecionar Inserir Vazio Alterar Deletar Vácuo Analisar Reindexar	
Timetable	up201303032		0	Navegar Selecionar Inserir Vazio Alterar Deletar Vácuo Analisar Reindexar	
Type	up201303032		0	Navegar Selecionar Inserir Vazio Alterar Deletar Vácuo Analisar Reindexar	

Figura A.1: Base de dados



The screenshot shows the login page of the Super Bock website. The page has a dark red background. On the left is the Super Bock logo. To the right of the logo is the text 'Monitorização da máquina de extração de bebidas'. Below this, there is a login form with fields for 'Início', 'Registrar', 'username', 'password', and a 'Login' button. At the bottom, there is a copyright notice: '© 2019 · Super Bock Group · FEUP · Ricardo Filipe Gonçalves Ferreira'.

Figura A.2: Página inicial do *website*



Monitorização da máquina de extração de bebidas

[Início](#) | [Registar](#)

Registo

NIF (nome de utilizador):

Nome do ponto de venda:

Morada:

Código postal:

Telefone:

Email:

Técnico:

Palavra-passe:

© 2019 · Super Bock Group · FEUP · Ricardo Filipe Gonçalves Ferreira

Figura A.3: Página de registo

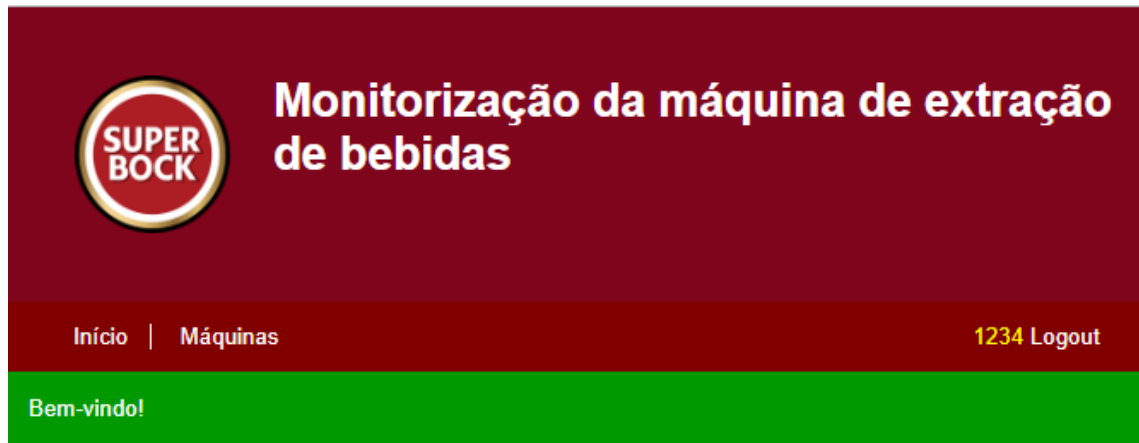


Figura A.4: *Login* bem sucedido



Figura A.5: *Login* inválido



Figura A.6: Página de seleção das máquinas



Figura A.7: Informações em tempo real da máquina

Criar evento

Selecione um dia da semana para consultar os eventos programados para esse dia e respectivos consumos esperados:

Terça-feira ▼ Ver eventos

Insira o consumo de bebida esperado no horário correspondente ao evento que deseja programar:

Criar evento para Sexta-feira

00:00 - 01:00 ->	5	litros
01:00 - 02:00 ->	5	litros
02:00 - 03:00 ->	5	litros
03:00 - 04:00 ->	5	litros
04:00 - 05:00 ->	10	litros
05:00 - 06:00 ->	0	litros
06:00 - 07:00 ->	0	litros
07:00 - 08:00 ->	0	litros
08:00 - 09:00 ->	0	litros
09:00 - 10:00 ->	0	litros
10:00 - 11:00 ->	10	litros
11:00 - 12:00 ->	6	litros
12:00 - 13:00 ->	0	litros
13:00 - 14:00 ->	0	litros
14:00 - 15:00 ->	0	litros
15:00 - 16:00 ->	5	litros
16:00 - 17:00 ->	6	litros
17:00 - 18:00 ->	0	litros
18:00 - 19:00 ->	0	litros
19:00 - 20:00 ->	12	litros
20:00 - 21:00 ->	13	litros
21:00 - 22:00 ->	18	litros
22:00 - 23:00 ->	4	litros
23:00 - 00:00 ->	0	litros

Criar evento

Figura A.8: Programar consumos horários de bebida previstos



Figura A.9: Consultar consumos de bebida programados



Figura A.10: Página de consulta dos consumos horários de bebida

Referências

- [1] Super Bock Group. Caderno de encargos dos refrigeradores, 2018.
- [2] VARDECA. Dispensing equipment. URL: https://www.vardeca.com/?attachment_id=302.
- [3] WEIKO. Single draft beer machine. URL: <http://www.weiku.com/products-image/11309835/Single-Draft-Beer-Machine.html>.
- [4] ResearchGate. Vapour compression cycle. URL: https://www.researchgate.net/figure/1-Vapour-compression-cycle_fig1_303684906.
- [5] Barcinova S.A. Probes. URL: <https://refrigeracionbarcinova.com/en/ice-control-products/probes/item/22-probe-for-half-inch-tube.html>.
- [6] element14. Beaglebone black. URL: <https://www.element14.com/community/docs/DOC-84108>.
- [7] beagleboard.org. bone101. URL: <https://beagleboard.org/support/bone101>.
- [8] TME. Mean well rs-15-5. URL: <https://www.tme.eu/en/details/rs-15-5/built-in-power-supplies/mean-well/>.
- [9] Eduardo Lopes. Sistema de monitorização e controlo de uma máquina de extração de bebidas. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2019.
- [10] MICRO ROBOTICS. Liquid flow meter. URL: <https://www.robotics.org.za/YF-201>.
- [11] Open circuit. 1-wire waterproof temperature sensor. URL: <https://opencircuit.shop/Product/12661/Crowtail-DS18B20-One-Wire-Waterproof-Temperature-Sensor>.
- [12] tp link. Usb adapter tl-wn725n. URL: <https://www.tp-link.com/pt/home-networking/adapter/tl-wn725n/>.
- [13] Custom Thermoelectric. Material properties. URL: <https://customthermoelectric.com/tech-info/more-useful-info/material-properties.html>.
- [14] The Engineering Toolbox. Thermal conductivity of common materials and gases. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html.

- [15] J. a. A. N. Fernandes. Experimentação e otimização num sistema frigorífico de extração de cerveja. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [16] Super Bock Group. Sobre o grupo, 2017. URL: <https://www.superbockgroup.com/detalhe/sobre-o-grupo/>.
- [17] ERSE. Energia. URL: <http://www.erse.pt/pt/Paginas/home.aspx>.
- [18] beagleboard.org. Beaglebone black. URL: <https://beagleboard.org/black>.
- [19] Rui Santos e Luís Perestrelo. *BeagleBone For Dummies*. John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [20] The Engineering Toolbox. Water - thermophysical properties. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html.
- [21] ThoughtCo. Latent heat. URL: <https://www.thoughtco.com/latent-heat-definition-examples-4177657>.
- [22] MIT. Combined conduction and convection. URL: <https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node123.html>.
- [23] Fábio Vasconcelos. Sistema de monitorização de máquina de extração de bebidas. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.
- [24] Ricardo Carvalho. Sistema de monitorização em tempo real para máquinas de extração de bebidas. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [25] Ricardo Reis. Sistema de monitorização e controlo de uma máquina de extração de bebidas. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [26] PuTTY. URL: <https://www.putty.org>.
- [27] TightVNC. URL: <https://www.tightvnc.com>.
- [28] Qt Creator. URL: <https://www.qt.io/>.
- [29] secop. Sc12gh heat pump compressor r134a 220-240v 50/60hz, 2016. URL: https://www.secop.com/fileadmin/user_upload/SEPS/datasheets/sc12gh_104g8261_r134a_220v_50hz_60hz_05-2016_desd403a202.pdf.
- [30] secop. 15w single output switching power supply, 2019. URL: <https://www.meanwell.com/Upload/PDF/RS-15/RS-15-SPEC.PDF>.
- [31] Adafruit. Liquid flow meter - plastic 1/2"nps threaded. URL: <https://www.adafruit.com/product/828>.
- [32] ALL ABOUT CIRCUITS. Current mirror. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-4/current-mirrors/>.
- [33] ALLDATASHEET.COM. Bc547 datasheet. URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11551/ONSEMI/BC547.html>.
- [34] beagleboard.org. Beaglebone black wireless. URL: <http://beagleboard.org/black-wireless>.

- [35] GitHub. Tl-wn725n-tp-link. URL: <https://github.com/ilnanny/TL-WN725N-TP-Link-Debian>.
- [36] phpPgAdmin. What is phppgadmin?, 2018. URL: <http://phppgadmin.sourceforge.net/doku.php>.
- [37] w3schools.com. Css tutorial, 2019. URL: https://www.w3schools.com/cssref/css_selectors.asp.
- [38] w3schools.com. Php 5 tutorial. URL: <https://www.w3schools.com/php/>.