

SISTEMAS FRIGORÍFICOS DESTINADOS A BEBIDAS PRESSURIZADAS: MONITORIZAÇÃO E DESEMPENHO

REFRIGERATION SYSTEMS FOR GASIFIED DRINKS: MONITORING AND PERFORMANCE

Clito Afonso

Department of Mechanical Engineering Portugal (DEMec), University of Porto, Portugal; Email: clito@fe.up.pt

RESUMO

Neste trabalho foi analisado um sistema frigorífico de compressão de vapor para arrefecimento de bebidas de pressão. Foi monitorizado com sensores de temperatura e de pressão colocados em pontos estratégicos. Foi testado em laboratório, com os dados obtidos de consumo em inquéritos, duas situações: um restaurante e um bar na situação de verão. De igual modo, face aos resultados obtidos, foi possível realizar simulações de forma a melhorar o desempenho do sistema. É feita uma apreciação ao funcionamento do ciclo frigorífico. Foi realizado um levantamento energético do sistema bem como foram calculados os COP's. Verificou-se que o COP do sistema global era significativamente inferior ao COP da máquina frigorífica em si. Foi também analisada a influência da massa de gelo necessária para o arrefecimento das bebidas. Conclui-se que não era necessária a massa de gelo inicial estabelecida pelo fabricante, que conduzia a um maior consumo energético. Conclui-se que desligando o sistema nas horas em que não existe consumo de bebidas podem obter-se poupanças significativas no consumo de energia elétrica que corresponde a uma diminuição das emissões de CO₂.

Palavras-chave: máquina de extração de bebidas, otimização, instrumentação, ciclo de compressão vapor.

ABSTRACT

In this work, a classic vapour compression refrigeration system for cooling pressurized drinks was monitored with temperature and pressure sensors placed in strategic points. In the laboratory, with the data obtained from consumption in surveys, two situations were analysed: a restaurant and a bar in the summer situation. In the same way, in view of the results obtained, it was possible to carry out simulations in order to improve the performance of the system. An assessment is made of the operation of the refrigeration cycle. An energy survey of the system was carried out and the COP's were calculated. It was found that the COP of the overall system was significantly lower than the COP of the refrigerating machine itself. The influence of the ice mass required for the cooling of the beverages was also analysed. It was concluded that the initial ice mass established by the manufacturer (25 kg), which led to a higher energy consumption, was not necessary. If the system is switch off when there are no drinks consumption, savings in the electrical consumption are expected as well as a decrease in the CO₂ emissions.

Keywords: beverage extraction machine, optimization, instrumentation, vapour compression cycle.

1. INTRODUÇÃO

A refrigeração pode ser realizada de várias maneiras. Ao longo da história, o ser humano foi desenvolvendo diversas formas de arrefecimento. Curiosamente, um dos maiores avanços tecnológicos na refrigeração, está intrinsecamente ligado a este tema. Na Alemanha, Carl Von Linde foi financiado por empresas cervejeiras para explorar o campo da refrigeração. Através do cálculo da eficiência, foi capaz de determinar os fatores que mais o influenciavam e desenvolveu um sistema bastante mais eficiente que os da altura, com a utilização do amoníaco. Ainda hoje o amoníaco é utilizado em diversos sistemas de arrefecimento. [1]. Atualmente os sistemas frigoríficos são dos dispositivos que mais energia consomem. Tal deve-se não só à elevada potência necessária, mas também por terem de estar permanentemente ligados. O sistema frigorífico em análise não é exceção.

Numa primeira abordagem ao problema, a máquina em questão foi instrumentada para que se pudessem recolher dados como, pressão, temperatura ou caudal, tanto do fluido frigorigéneo, R134a, como da bebida (cerveja) em pontos específicos do ciclo de compressão de vapor e do ciclo da cerveja. Com estes dados foi então arquitetada uma virtualização da máquina. O objetivo desta simulação era de prever os efeitos causados por qualquer intervenção no comportamento da mesma. Assim possível determinar o que se pode alterar na máquina para a tornar mais eficiente, levando a menores consumos energéticos que por sua vez conduz a menores emissões de CO₂ para a atmosfera.

O ciclo de compressão a vapor é o mais usual no nosso dia a dia, estando presente em quase todos os sistemas produtores de frio artificial. É este ciclo que opera nas máquinas de extração de bebidas de pressão em estudo neste trabalho.

Foi também analisada a influência da massa de gelo necessária para o arrefecimento das bebidas. Conclui-se que não era necessária a massa de gelo inicial estabelecida pelo fabricante, que conduzia a um maior consumo energético.

Verificou-se que desligando o sistema nas horas em que não existe consumo de bebidas podem obter-se poupanças significativas no consumo de energia elétrica que corresponde a uma diminuição das emissões de CO₂.

2. SISTEMA DE COMPRESSÃO DE VAPOR

O ciclo de compressão de vapor é bastante utilizado. O ciclo frigorífico de compressão de vapor, por defeito, é constituído pelos seguintes dispositivos:

- Compressor
- Condensador
- Evaporador
- Válvula de expansão
- Permutador de calor interno
- Fluido frigorigéneo

O compressor é responsável por comprimir o fluido, aumentando a pressão e temperatura do mesmo. No condensador o fluido perde calor para a atmosfera, diminuindo a sua temperatura. Por norma, o dispositivo de expansão não é nada mais do que um tubo capilar. Ao aumentar o diâmetro da tubagem à saída do capilar, cria-se uma expansão repentina que vai baixar a pressão e temperatura do fluido drasticamente. É nesta situação que o fluido entra no evaporador. O evaporador deve estar colocado dentro do depósito ao qual se pretende retirar calor. Uma vez retirado calor ao volume de controlo, o fluido chega ao fim do ciclo e volta a entrar no compressor. O ciclo encontra-se esquematizado na Figura 1. A função do permutador de calor é fazer com que parte da energia térmica do fluido à saída da válvula de expansão, seja transferida para o fluido quando este sai do evaporador. A razão pela qual o permutador é vantajoso, reside no fato de que assim o fluido à entrada do compressor está completamente no estado gasoso, (um dos problemas dos compressores é presença de gotas) e ao mesmo tempo o título à entrada do evaporador é menor, aumentando assim o efeito frigorífico, tornando o sistema mais eficiente.

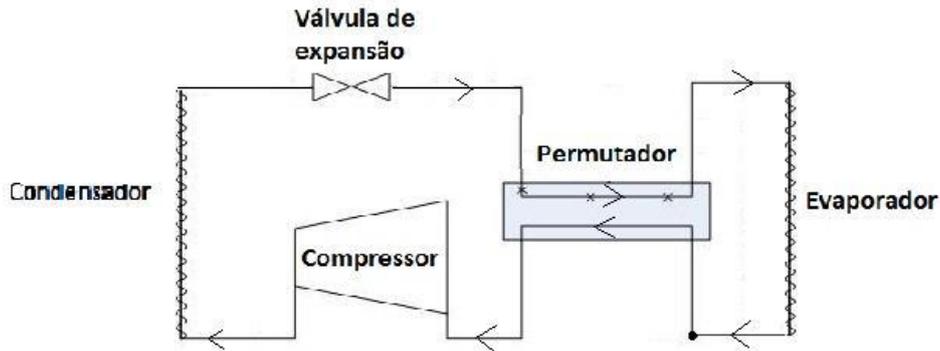


Fig. 1- Ciclo de Compressão de vapor com permutador interno, [2].

É necessário ter em atenção que o aumento do efeito frigorífico influencia positivamente o COP e o trabalho de compressão negativamente, pelo que o dimensionamento do permutador tem que ser adaptado caso a caso.

3. MÁQUINA FRIGORÍFICA EM ANÁLISE

Mostra-se na Figura 2 a instalação que foi motorizada. No estudo realizado foi utilizada apenas cerveja como fluido a refrigerar, mas a mesma máquina poderia ser utilizada para extrair virtualmente qualquer outra bebida gaseificada, podendo inclusive ter a capacidade de servir várias bebidas diferentes se dentro do depósito passarem mais que uma serpentina de bebidas.

O sistema total é composto por dois subsistemas a saber: a máquina frigorífica em si com os componentes indicados na secção anterior e o circuito da bebida pressurizada,

como mostrado na figura 2. O ponto de contato entre ambos é o depósito, com capacidade de 52 L de água que contém gelo fundente, aproximadamente a 0°C. Parte desta está congelada (aproximadamente 25 kg de gelo). A sua função é de arrefecer a bebida pressurizada que passa pela respetiva serpentina.

O arrefecimento da água e do gelo fundente é obtido através da energia retirada pelo evaporador da máquina frigorífica.

Na zona periférica do depósito está situado o evaporador. A água começa a congelar à superfície do evaporador formando uma parede entre os limites do depósito e a água em estado líquido no centro. No evaporador está colocada a sonda de gelo de tipo resistivo, que desliga o compressor quando a massa de gelo atinge os 25 kg (valor defendido pelo fabricante). Numa parte mais central encontra-se a serpentina da bebida. Esta é banhada pela água no estado líquido, mas a uma temperatura muito perto da temperatura de fusão.

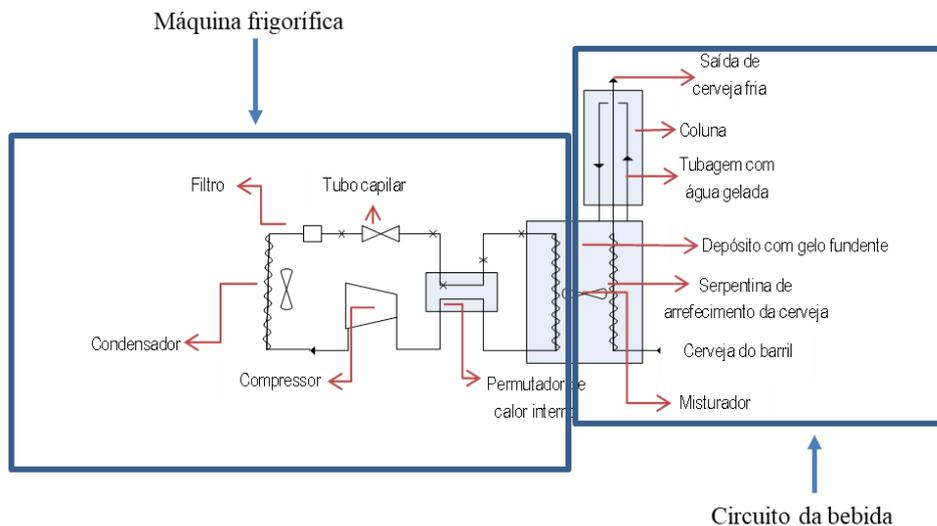


Fig. 2 - Sistema de refrigeração global.

O gelo fundente tem por principal objetivo obter uma inércia térmica para o arrefecimento da bebida bem como vencer os ganhos de calor através das paredes do depósito. A água não congela toda por ação do de um agitador inserido no depósito que a mantém em circulação. Este encontra-se no centro da cuba. O agitador consiste num motor elétrico trifásico com dupla função. Na ponta do seu veio rotativo existe uma hélice que agita a água para homogeneizar a temperatura e ao mesmo tempo impedir a congelação excessiva da mesma. A meio do veio está acoplado um disco com pás que funciona como bomba de água. Aproveitando a rotação do veio, este disco bombeia água gelada através de um tubo que sai da cuba para a coluna da torneira reduzindo o aquecimento das bebidas durante esse percurso, ver figura 2. Como está colocado dentro da cuba, todo o calor por ele libertado é fornecido à água o que contribui para a ineficiência total como vais adiante se verá.

Para além do anteriormente dito, o agitador é a única peça da máquina que nunca se desliga. Ao contrário dos dispositivos do ciclo frigorífico que funcionam por ciclos, o agitador permanece ligado constantemente. É, portanto, um elemento que mesmo nas horas de fecho do estabelecimento continua a consumir energia, 60 Watts.

Todas as potências elétricas dos diversos componentes foram medidas com a pinça amperimétrica MicroVip3.

Na Figura 3 mostra-se o sistema monitorizado em laboratório, correspondente ao esquema da figura 2, [3].

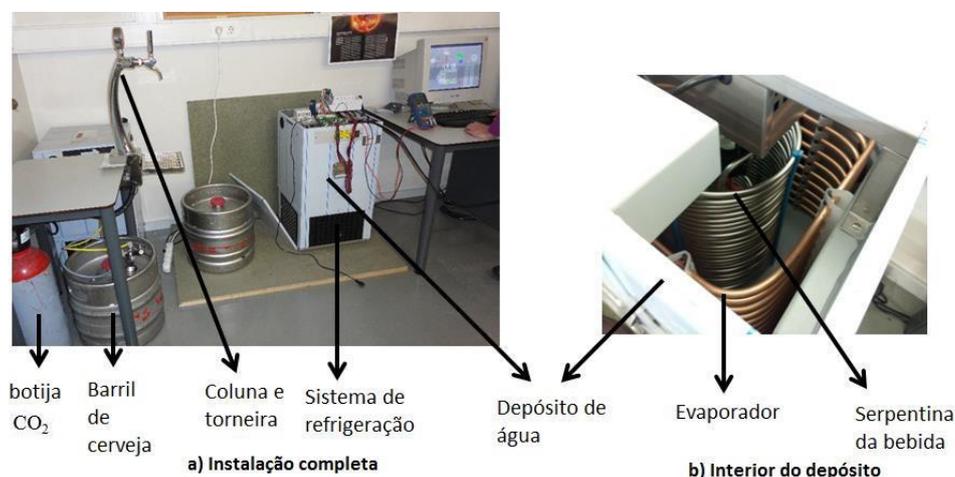


Fig.3 - Instalação testada em laboratório.

Como se pode verificar, a máquina frigorífica encontra-se instalada debaixo do depósito de água, o que provoca ineficiências no seu desempenho como adiante se verá.

4. MEDIÇÕES EFETUADAS

Na instalação testada foram colocados sensores de temperatura, [4], e de pressão, [5], nos pontos mais importantes do ciclo. Também foram usadas pinças amperimétricas nos diversos circuitos elétricos do sistema, nomeadamente ventilador do condensador, misturador, compressor e a potência total, [6].

De forma a instalar os transmissores de pressão, a tubagem foi seccionada em diversos pontos e foi inserida uma união em T. Os transmissores foram colocados antes e depois do compressor, do condensador, filtro, válvula de expansão e permutador de calor interno. Os sensores de temperatura foram colocados nos mesmos locais dos transmissores de pressão, na saída da bebida na coluna, interior do reservatório de água, na entrada e saída do condensador e no meio ambiente próximo. Os resultados obtidos pelas medições no sistema frigorífico estão mostrados na Figura 4.

5. SIMULAÇÃO DO SISTEMA FRIGORÍFICO SEM CONSUMO DE BEBIDA

Para a simulação do sistema consideram-se constantes as seguintes condições:

- O sistema encontrava-se ligado um dia antes do consumo da bebida e antes do consumo da bebida e assim encontrava-se

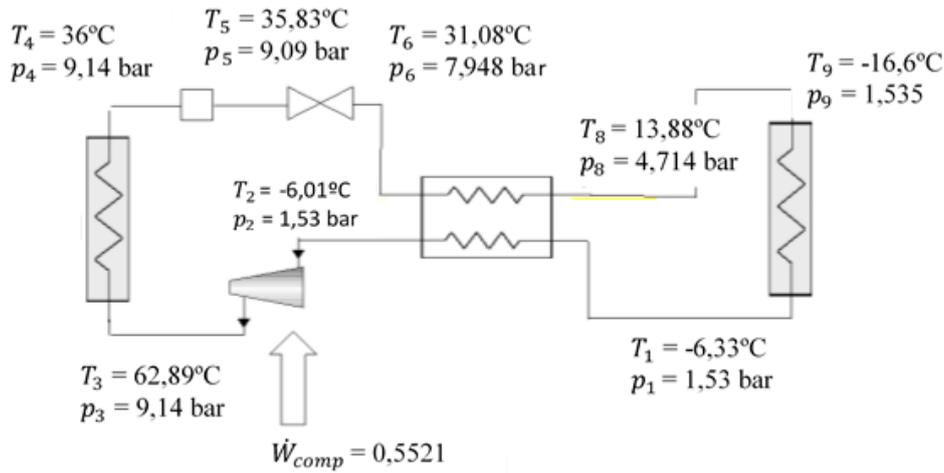


Fig.4 - Resultado das medições efetuadas no ciclo frigorífico.

em regime permanente;

- O sistema frigorífico parava quando a massa de gelo formada atingia o valor pré estabelecido;
- A temperatura da bebida à saída da torneira era de 1°C;
- A temperatura da cerveja no barril era igual à temperatura ambiente e, portanto, varável ao longo do dia e do ano.

O valor das restantes propriedades termodinâmicas, para além das medidas, foram obtidas com o software EES (Engineering Equation Solver), [7]. Com os valores medidos e calculados pôde-se então determinar o desempenho dos diversos componentes constituintes do sistema. De se salientar que os mesmos foram obtidos sem consumo de bebidas. A instalação frigorífica somente funciona para manter o gelo fundente e a água nos 0°C devido aos ganhos de calor do depósito (envolvente e agitador).

Uma vez conhecida medida a potência do compressor (figura 4), pôde-se calcular o caudal mássico do R-134a que circula na instalação, equação 1:

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}(h_3 - h_2) * 0,9 \quad (1)$$

O fator de 0,9 foi usado para se ter em conta as perdas de calor do compressor.

A potência no evaporador é, equação 2:

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}(h_1 - h_9) \quad (2)$$

O COP da máquina frigorífica, nesta situação, é obtido pela equação 3:

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{MF}} \quad (3)$$

em que $\dot{W}_{MF} = \dot{W}_{comp} + \dot{W}_{vent}$.

Tal deve-se ao fato de quando o compressor estiver ligado, o ventilador do condensador também o estará.

Através as propriedades termodinâmicas dos estados 2 e 3 determina-se o rendimento isentrópico do compressor, equação 4:

$$\eta_{is.comp} = \frac{h_{3s} - h_2}{h_3 - h_2} \quad (4)$$

A partir do calor trocado no permutador calcula-se a eficiência do mesmo, equação 5:

$$\epsilon_{HE} = \frac{\dot{Q}_{trocado}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\dot{m}(h_6 - h_1)} \quad (5)$$

A potência calorífica perdida pelo filtro é dada pela equação

$$\dot{Q}_{filtro} = \dot{m}(h_5 - h_4) \quad (6)$$

e a potência frigorífica cedida ao depósito é obtida através da equação 7

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}(h_1 - h_9) \quad (7)$$

Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 1.

Pode concluir-se que na situação analisada que:

- COP_R é aceitável para este tipo de sistemas (2,8): de se salientar que este valor foi calculado pontualmente;
- O rendimento isentrópico do compressor está dentro da gama expetável (80,8%)

Tabela 1 - Resultados obtidos para os diversos componentes do sistema frigorífico sem consumo de bebida.

\dot{W}_{comp} [W]	\dot{m} [kgs ⁻¹]	$\eta_{is, comp}$ [%]	\dot{Q}_{cond} [W]	\dot{Q}_{evap} [W]	ϵ_{HE} [%]	\dot{Q}_{filtro} [W]	COP_R [-]
552	0,01262	80,8	2469	1912	1,5	3,2	2,8

- A potência calorífica perdida no filtro é desprezável (3,2 W);
- A eficiência do permutador de calor é extremamente baixa (1,5%). A explicação tem a ver com o fato de ser virtualmente inexistente (são simplesmente dois tubos que têm contactos pontuais e isolados com um tubo de polyester). O sistema frigorífico somente terá a ganhar se o permutador for mais eficiente.

6. CIRCUITO DA BEBIDA GASEIFICA

A bebida gaseificada, neste caso a cerveja, sai sob pressão do barril em que se encontra inicialmente. É levada para a serpentina que está no depósito, transferindo calor para a água gelada durante o processo. Depois de passar pela serpentina é levada para a coluna onde está a torneira para ser depois servida. A pressão no circuito é assegurada pela injeção de CO₂ no circuito vinda de uma botija a 2,5 bar, pressão que é regulável por um manoredutor posicionado perto do barril. Na coluna onde está a torneira, além da sua conduta, está também presente uma conduta de água gelada, que é bombeada com ajuda do agitador do depósito, para garantir que a cerveja, durante a ascensão do depósito até ao ponto de tiragem, não sofre um aumento de temperatura.

7. SIMULAÇÃO DO SISTEMA FRIGORÍFICO COM CONSUMO DE BEBIDA

Para estes ensaios foram realizados quatro testes a saber, semelhantes aos consumos de cerveja num pequeno restaurante no inverno e verão e bar nas mesmas estações. De forma a aquilatar-se os cenários de consumo de cerveja nos dois tipos de estabelecimentos, foi feito um inquérito em vários restaurantes e bares similares e que foram usados nos ensaios em

laboratório. Nos ensaios efetuados considerou-se que cada copo tinha uma capacidade de 200 ml, o que corresponde 0,21 kg (massa volúmica de cerveja é de 1050 kgm⁻³).

Considerou-se também que o barril de cerveja se encontrava dentro dos estabelecimentos e, portanto, a sua temperatura era idêntica à temperatura interior dos estabelecimentos.

Somente se apresentam neste trabalho os resultados obtidos para a situação de verão quer do bar quer do restaurante. Tal prende-se com o fato das diversas curvas (a ver nas figuras) terem um andamento idêntico na situação de inverno, apesar de terem valores distintos.

Nas das situações analisadas, tem também de se determinar o valor do COP global do sistema. Este é, equação 8:

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_{cerveja}}{\dot{W}_{total}} \quad (8)$$

Neste caso, o efeito pretendido de todo o sistema é o de arrefecer a bebida desde o barril até ao copo, equação 9:

$$\dot{Q}_{cerv} = \dot{m}_{cerv} * c_{cerv} * (T_{cerv. no copo} - T_{cerv. no barril}) \quad (9)$$

De forma a saber se massa gelo inicial estabelecida (25 kg) era ou não necessária (utilizando assim mais energia), fizeram-se ensaios em que se fixaram valores da camada de gelo 25, 21 e 10 kg.

7.1 Restaurante no verão

O consumo da bebida, como dito, resultou de um inquérito realizado nestes estabelecimentos e estão indicados na Tabela 2.

As condições específicas neste caso são: a temperatura ambiente que varia entre 18° C às 00:00h e 23° C às 15:00h. Foi considerada uma variação linear da temperatura.

Tabela 2 - Consumo de bebidas no restaurante verão, [8].

Horas (hh:min)	Consumo (copos)
00:00 até 12:00	0
12:00 até 14:00	40
14:00 até 19:00	10
19:00 até 24:00	20

A Figura 5 mostra a evolução da massa de gelo ao longo do dia, bem como o caudal de cerveja considerado.

Como se pode ver, a máquina não precisa de todo o gelo que produz (25 kg). É assim possível manter o normal funcionamento da máquina com uma menor de massa de gelo normalmente esperado para o modelo da máquina simulada, mantendo essencialmente o mesmo tempo de funcionamento. Analisando a figura 5 é possível observar que no pico de consumo a diferença máxima

da massa de gelo é de 2 kg, isto é, no máximo são consumidos 2 kg de gelo. Isto acontece para todos os valores de massa inicial de gelo pois a variação da massa de gelo é igual.

Pôde-se concluir que a máquina pode operar com 10 kg de massa de gelo sem problemas. Os tempos de funcionamento de cada ciclo durante a fase sem consumo é de 28 minutos (23 minutos desligado e 5 min ligado), na fase de consumo máximo o ciclo passa a ter mais dois minutos que no caso anterior (23 minutos desligado e 7 minutos ligado), o que dá um total de 30 minutos por ciclo. Verifica-se também que, uma grande parte do consumo é feito por parte do agitador que tem de estar ligado as 24 horas. Mais uma vez o valor de COP_{MF} mantém-se constante. Os valores obtidos de consumos energéticos, bem como valores de COP_G e COP_{MF} para cada caso de massa de gelo máxima considerada são indicados na Tabela 3.

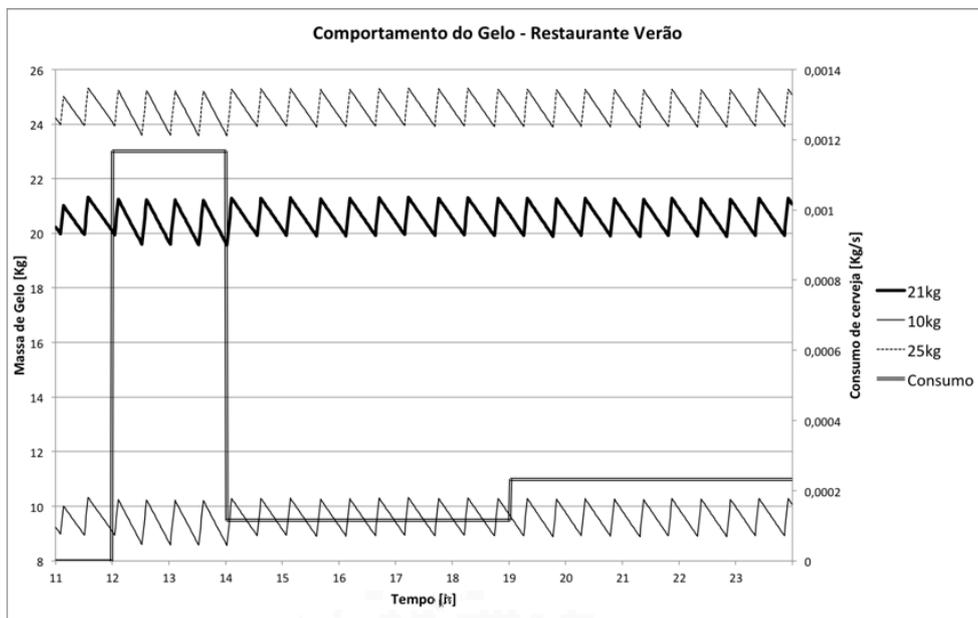


Fig. 5- Evolução da massa de gelo e caudal de cerveja vs. tempo: restaurante verão.

Tabela 3 - Balanço energético do sistema do restaurante no verão.

m_{gelo} (kg)	COP_{MF}	COP_G	Tempo de funcionamento da máquina (min/dia)	Energia consumida pelo compressor e acessórios (Wh)	Energia usada pelo ventilador (Wh)	Energia total usada (Wh)
10	2,8	$8,61E^{-02}$	263	2495	1578	4074
21	2,8	$8,61E^{-02}$	263	2495	1578	4074
25	2,8	$8,61E^{-02}$	263	2495	1578	4074

Neste caso, como se pode observar, o COP global é baixo, já que a energia usada para a refrigeração da bebida é baixa, mantendo-se os restantes consumos elétricos constantes.

7.2 *Bar no verão*

O tempo considerado continua a ser 24 horas, no entanto a hora de início deverá ser considerada as 10:00 já que desta forma será possível apresentar de forma mais explícita o consumo nas horas de madrugada. A evolução da temperatura é a mesma que no caso anterior. O consumo considerado é dado pela Tabela 4. A Figura 6 mostra a evolução da massa de gelo ao longo do dia, bem como o caudal de cerveja considerado. Analisando-se a mesma figura é possível observar-se que no pico de consumo a diferença máxima da massa de gelo é de 5 kg. No máximo são consumidos 5 kg de gelo. Isto acontece para todos os valores de massa inicial de gelo pois a variação da massa de gelo é igual. Pode-se concluir que a máquina pode operar no caso de 10 kg de massa de gelo sem problemas, já que a massa

de gelo reposta quando máquina frigorífica arranca é suficiente para o arrefecimento da bebida.

Tabela 4 - Consumo de bebidas no bar verão, [8].

Horas (hh:min)	Consumo (copos)
100:00 até 14:00	0
14:00 até 22:00	60
22:00 até 02:00	800
02:00 até 10:00	0

Analisando-se a mesma figura é possível observar que no pico de consumo a diferença máxima da massa de gelo é de 5 kg, isto é, no máximo são consumidos 5 kg de gelo. Isto acontece para todos os valores de massa inicial de gelo pois a variação da massa de gelo é igual. Pode-se concluir que a máquina pode operar no caso de 10 kg de massa de gelo sem problemas, já que a massa de gelo reposta quando máquina frigorífica arranca é suficiente para o arrefecimento da bebida.

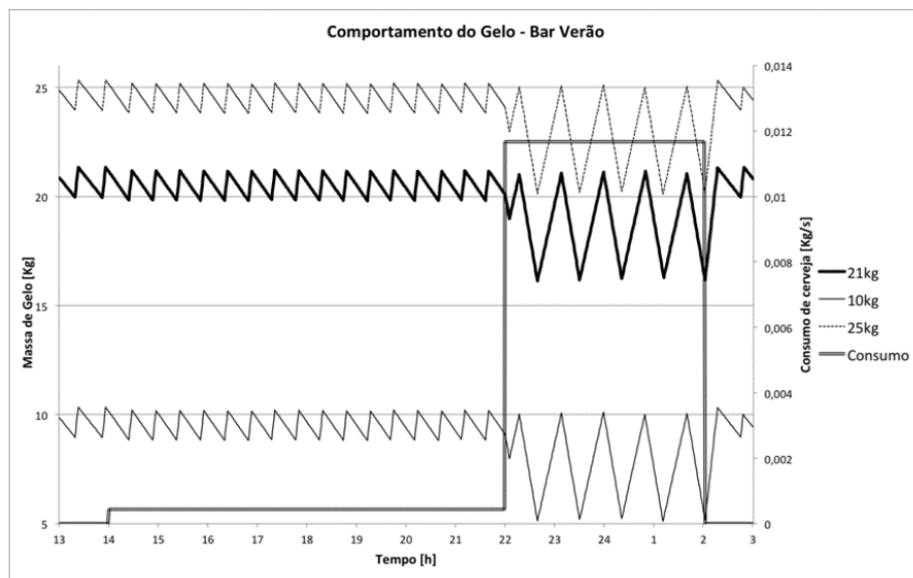


Fig.6 -- Evolução da massa de gelo e caudal de cerveja vs. tempo: bar verão.

Tabela 5 - Balanço energético do sistema do bar no verão.

m_{gelo} (kg)	COP_{MF}	COP_{G}	Tempo de funcionamento da máquina (min/dia)	Energia consumida pelo compressor e acessórios (Wh)	Energia usada pelo ventilador (Wh)	Energia total usada (Wh)
10	2,8	0,677	418	3966	1578	5544
21	2,8	0,677	418	3966	1578	5544
25	2,8	0,677	418	3966	1578	5544

Os valores obtidos de consumos energéticos, bem como valores de COP_G e COP_{MF} para cada caso de massa de gelo máxima considerada são indicados na Tabela 5.

Comparando a tabela 5 com a 4 verifica-se que houve um aumento significativo do COP global do sistema.

8. POUPANÇAS E ENIFIÇÊNCIAS

8.1. Poupanças

Nesta secção são feitos cálculos para se aferir a quantidade de energia que é possível poupar desligando a máquina nas horas em que não está a ser utilizada. Durante o período de fecho do estabelecimento a máquina continua o seu ciclo de produção de frio sem se obter qualquer rentabilidade do processo. Ao desligar-se a máquina durante essas horas é possível poupar energia. De referir que só se desliga a parte frigorífica, mantendo o agitador a funcionar devido aos problemas de humidade. A simulação foi feita para quando o estabelecimento está fechado, logo não há consumo. Assim sendo, não há necessidade de especificar se é o caso do Restaurante Verão ou Bar Verão. A Tabela 6 apresenta o tempo e energia necessários pela máquina para formar a massa de gelo desejada. Este é o tempo que demora estando a água dentro da cuba já a 0°C, mas sem gelo.

O horário de funcionamento geral de estabelecimentos alimentares é entre as 10:00 e as 23:00. Isto dá um período de 11 horas nas quais o estabelecimento está encerrado. Considerando que apesar de aberto o estabelecimento não serve cerveja antes das 12:00, o período em que a máquina pode estar desligada sobe para as 13 horas.

Posto isto, o período em que a máquina está desligada considerado foi de 12 horas. Assim há uma margem para a eventual bebida que possa ser requisitada antes do meio dia, e por causa do tempo que a máquina leva a voltar a formar a massa de gelo. Desta forma a máquina pode ser ligada na abertura do estabelecimento e não é necessário recorrer a dispositivos temporizadores.

Para se efetuar um cálculo relativo às pou-

Tabela 6 – Tempo necessário para se formar a massa de gelo.

Massa de gelo (kg)	Tempo (min.)	Energia (Wh)
10	30	338
21	62	698
25	73	821

panças é necessário saber a massa de gelo que se perde no período de 12 horas, e quanto tempo a máquina precisa para recuperar esse gelo. No caso da máquina estar desligada, fica sujeita às trocas de calor com o exterior e a energia transferida para a água pelo agitador. Para os três casos de massa de gelo, a perda será igual e o tempo necessário para recuperar também. O consumo para recuperar a massa de gelo perdida será igual.

A Tabela 7 contém esta informação, admitindo uma massa de gelo de 21 kg, sendo que para as outras massas de gelo as perdas são iguais. Nesta indica-se também a redução da massa de dióxido de carbono que é evitada.

A energia quando o sistema está desligado é a gasta durante as 12 horas pelo agitador mais a energia necessária para repor a quantidade de gelo perdida. O tempo necessário para repor o gelo perdido é de 32 minutos. O tempo necessário para repor o gelo está dentro da margem considerada.

A Tabela 8 apresenta o valor poupado por ano para esta situação, quer para a máquina testada quer para todas existentes da central produtora. Indica-se também as emissões evitadas de CO₂.

8.2. Ineficiências

Além do calor transferido através das paredes do depósito, algum calor é transmitido pelos próprios componentes da máquina, especialmente o agitador, que está em constante funcionamento. Na Figura 7 é observável a considerável diferença de temperatura entre o agitador e o resto da máquina. A transferência de calor pela qual o agitador é responsável é de difícil caracterização, uma vez que não se sabe a que temperatura este está durante o seu funcionamento. Como

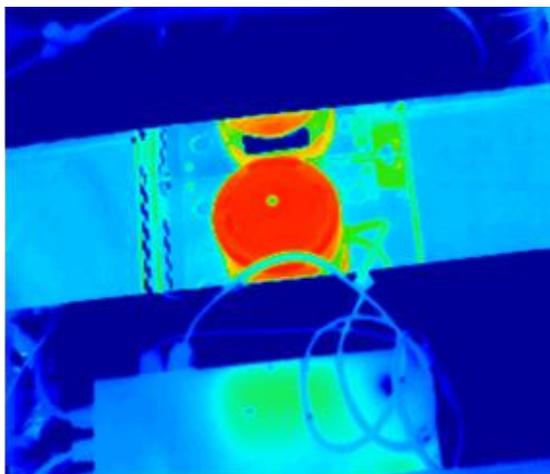
Tabela 7 - Poupança de energia no espaço de 12 horas.

Massa de gelo (kg)	Gelo perdido (kg)	Energia desligado (Wh)	Energia não desligado (Wh)	Poupança (Wh)	Poupança CO ₂ (kg)
21	9,85	1140	1929	789	0,35

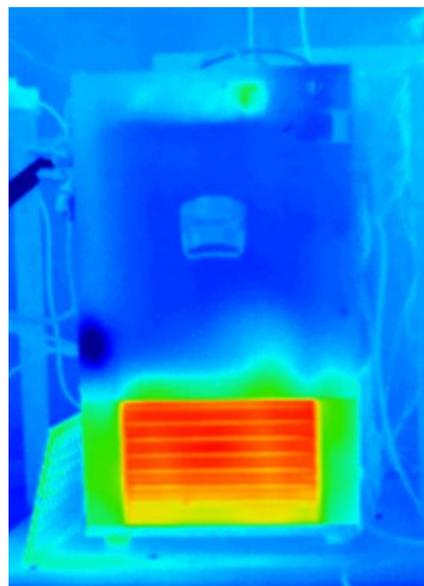
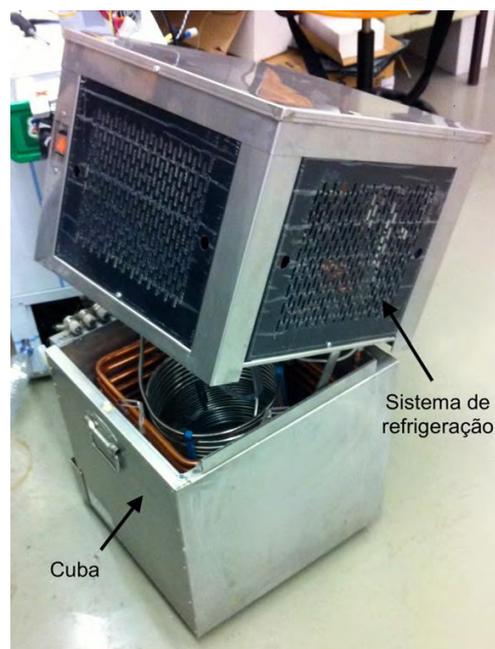
Tabela 8 - Poupança Anual

Massa de gelo (kg)	Poupança anual (kWh)	Poupança anual CO ₂ (kg)	Poupança anual das máquinas todas da central (GWh)	Poupança anual CO ₂ de todas as máquinas da central (ton)
21	288	128	11520	2937

Como se pode verificar na mesma figura, a temperatura do agitador imerso no depósito é significativamente superior ao resto do depósito.

**Fig.7** - Vista térmica de cima do depósito com água e gelo e topo do agitador.

O mesmo acontece com o compressor, que como mostrado na figura 3 se encontra debaixo do depósito. Tal cria uma massa de ar quente na parte inferior da máquina. A temperatura a que esta massa se encontra também é de difícil quantificação, uma vez que o ventilador, estando a trabalhar, cria formas diferentes de transferência de calor do que durante as fases em que se encontra desligado. Na Figura 8 é também possível observar uma fotografia térmica da máquina, que evidencia a diferença de temperatura a que se encontra a parte inferior da máquina. Uma solução para minorar este efeito é o de inverter toda a máquina, isto é, o depósito fica por baixo da máquina frigorífica, como indicado na Figura 9.

**Fig. 8** - Fotografia térmica da máquina completa.**Fig. 9** – Nova proposta para o sistema global.

9. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi monitorizado um sistema frigorífico de compressão de vapor para arrefecimento de bebidas de pressurizadas. Instalaram-se sensores de temperatura e de pressão colocados em pontos estratégicos do sistema. Este foi testado em laboratório, com os dados obtidos de consumo de bebidas em inquéritos feitos duas situações: um restaurante e um bar na situação de verão. De igual modo, face aos resultados obtidos, foi possível realizar simulações de forma a melhorar o desempenho do sistema. Foi feita uma apreciação ao funcionamento do ciclo frigorífico. Foi realizado um levantamento energético do sistema bem como foram calculados os COP's. Concluiu-se que o COP do sistema global era significativamente inferior ao COP da máquina frigorífica em si. Investigou-se também a influência da massa de gelo necessária para o arrefecimento das bebidas. Concluiu-se que não era necessária a massa de gelo inicial estabelecida pelo fabricante, que conduzia a um maior consumo energético. Foi averiguada a influência a no desempenho do sistema desligando-o nas horas em que não existe consumo de bebidas. Podem obter-se poupanças significativas no consumo de energia elétrica que conseqüentemente corresponde a uma diminuição das emissões de CO₂ para o universo das máquinas do produtor. De igual modo foram detetadas as principais ineficiências do sistema, nomeadamente no permutador de calor interno, no agitador inserido no depósito e colocando-se a máquina frigorífica em cima do depósito. Foram propostas várias alternativas, fáceis de implementar.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o suporte da UNICER Bebidas e à Universidade do Porto através do programa “Projetos Pluridisciplinares, Concurso 2010”.

REFERÊNCIAS

- [1] Afonso, C. “Refrigeração” Editora: AEFEP. 2007.
- [2] Afonso, C. “Termodinâmica para Engenharia” Editora: FEUP.
- [3] Unicer; Manual de Assistência Técnica; 2011.
- [4] <https://uk.farnell.com/c/circuit-protection/thermistors?brand=ge-sensing-thermometrics>
- [5] <https://www.gemssensors.com/>
- [6] <https://www.gemssensors.com/>
- [7] EES – Engineering Equation Solver Software.
- [8] Fernandes, J. “Experimentação e otimização num sistema frigorífico de extração de cerveja”. Tese de Mestrado, FEUP, 2013.