



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA



JOSENILMA DE SOUSA PEREIRA

**CONSUMO DE ÁGUA DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DO MANGABEIRA
SHOPPING, JOÃO PESSOA, PB E VIABILIDADE DE REUSO DA ÁGUA DE DESCARTE
PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

João Pessoa/PB

2018

JOSENILMA DE SOUSA PEREIRA

**CONSUMO DE ÁGUA DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DO MANGABEIRA
SHOPPING, JOÃO PESSOA, PB E VIABILIDADE DE REUSO DA ÁGUA DE DESCARTE
PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de graduação em Tecnologia em
Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito para obtenção do título de
Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Professora orientadora: Dr.^a Márcia Helena Pontieri

João Pessoa/PB

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436c Pereira, Josenilma de Sousa.

Consumo de água do sistema de resfriamento do Mangabeira Shopping, João Pessoa, PB e viabilidade de reuso da água de descarte para fins não potáveis. / Josenilma de Sousa Pereira. - João Pessoa, 2018.

37 f.

Orientação: Márcia Helena Pontieri.
Monografia (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. água. 2. resfriamento. 3. reuso. I. Pontieri, Márcia Helena. II. Título.

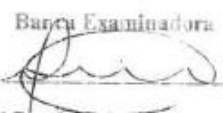
UFPB/BC

JOSENILMA DE SOUSA PEREIRA

**CONSUMO DE ÁGUA DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DO MANGABEIRA
SHOPPING, JOÃO PESSOA, PB E VIABILIDADE DE REUSO DA ÁGUA DE
DESCARTE PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

TCC apresentado em 15 de junho de 2018, como requisito para a conclusão do curso de
Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.


Banca Examinadora


Prof.ª Dra. Marcela Helena Pontieri

(Orientadora)


Prof.ª Dra. Ângela Lucínia Urtiga Vasconcelos

(Examinadora)


Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes

(Examinador)

João Pessoa/PB

2018

DEDICATÓRIA

Dedico,

A Deus por te me dado coragem e força pra concluir essa longa jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, aos meus pais por estarem comigo ao longo desta caminhada pois sem eles eu não conseguiria estar aqui.

Aos meus pais Jose Nilton Pereira e Terezinha de Sousa Pereira, pois sem eles eu não poderia estar aqui hoje realizando mais uma etapa da minha vida.

A Prof.^a Marcia Helena Pontieri por ter aceitado ser minha orientadora, me guiando nessa jornada, de forma brilhante.

Ao senhor Germano Pordeus Brandão, (projetista e responsável pelo sistema de resfriamento e tratamento do Mangabeira Shopping Center em João Pessoa PB), por toda a disponibilidade em ajudar na minha pesquisa do meu trabalho.

E a todos os professores, os técnicos de laboratórios, os bibliotecários que estavam sempre prontos a me ajudar neste percurso.

A minha amiga Naraleide por está comigo ao longo de todo o meu curso me ajudando em todos os momentos, e podendo sempre contar com sua amizade.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

Os sistemas de resfriamento são usados em diversas indústrias com a finalidade de resfriar a água que é usada em um determinado processo. As torres de resfriamento são responsáveis pela maioria destes resfriamentos e, apesar de ser um sistema mais econômico em relação a outros modelos de sistemas de resfriamento, ainda gastam grandes quantidades de água. Considerando a atual situação de escassez de fontes hídricas é importante procurar meios de diminuir o consumo da mesma e reaproveita-la sempre que for possível. Em grandes Shoppings Centers, as torres de resfriamento também são utilizadas como partes de seus sistemas de refrigeração e consomem enormes quantidades de água. Sendo assim este trabalho teve como objetivo verificar o consumo de água no sistema de resfriamento, assim como seu funcionamento e a viabilidade de se fazer o reuso para fins não potáveis no Mangabeira Shopping Center (MSC), auxiliando na redução do gasto de água e no desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos da região. Conclui-se que o processo ocorre com alta eficiência, sendo que, para propor a diminuição do consumo de água neste sistema seria necessário um estudo bem complexo, Porém o MSC tem grande interesse em poder fazer este procedimento futuramente.

Palavras-chave: Água, Resfriamento, Reuso.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de um sistema de resfriamento aberto	15
Figura 2: Esquema de um sistema de resfriamento fechado	16
Figura 3: Esquema de um sistema de resfriamento semi-aberto	17
Figura 4: Esquema de uma torre de resfriamento	18
Figura 5: Imagem ilustrativa de colmeia para torre de resfriamento	19
Figura 6: Esquema de deformação dos cristais dos sais que formam incrustações (cubos) por meio de polímeros inibidores de incrustações (círculos)	23
Figura 7: Ciclo de refrigeração do Chiller	25
Figura 8: Foto da parte externa das instalações do Mangabeira Shopping Center	27
Figura 9: Ilustra um Chiller da mesma marca e modelo dos instalados no MSC	28
Figura 10: Ilustração do conjunto de Chillers e torres de resfriamento do Mangabeira Shopping Center	28
Figura 11: Tomada aérea do Sistema de resfriamento do Mangabeira Shopping Center	29
Figura 12: Bombonas de produtos químicos e bombas dosadoras utilizadas no tratamento da água das torres do Mangabeira Shopping Center	30
Figura 13: Laudo da análise da água de reposição das torres de resfriamento do Mangabeira Shopping Center	31
Figura 14: Laudo da análise da água das torres de resfriamento do Mangabeira Shopping Center	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros da qualidade da água de resfriamento do Mangabeira Shopping Center	30
Tabela 2: Quantidade de água descartada por dia no sistema de resfriamento do Mangabeira Shopping Center.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Perda de água por arraste

DQO – Demanda química de oxigênio

DBO - Demanda bioquímica de oxigênio

E = Perda de água por evaporação

LTDA = limitada

m^3 = metro cubico

m^2 = metro quadrado

m^3 /h = metro cubico por hora

P = Perda da água pela purga

pH - potencial Hidrogeniônico

Q = vazão

R = Água de reposição necessária

MSC= Mangabeira Center Shopping

STD - Sólidos totais dissolvidos

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TR =Torre de resfriamento

UFC/mL - Unidades Formadoras de Colônias / mililitro

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

Kcal/ h – Quilocaloria / hora

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Sistema de resfriamento	14
2.2 Classificação dos sistemas de água de resfriamento	14
2.2.1 Sistema aberto.....	14
2.2.2 Sistema fechado	15
2.2.3 Sistema semi-aberto	16
2.3 Torre de resfriamento.....	17
2.4 Transferência de calor nos sistemas de resfriamento semi-abertos	18
2.5 Operação de uma torre de resfriamento	20
2.6 Finalidade do tratamento de água dos sistemas de resfriamento	21
2.7 Corrosão em sistemas de água de resfriamento	21
2.8 Incrustação em sistemas e água de resfriamento	22
2.9 Tratamento dos sistemas de resfriamento.	23
2.10 Monitoramento do sistema de resfriamento	24
2.11 Chillers	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	26
4.1 Cálculo do volume de água descartado por dia pelas torres de resfriamento.....	32
4.2 Redução do consumo de água	32
4.3 Reuso de água	32
5 CONCLUSÃO.....	34
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	35

7 AGRADECIMENTO.....	35
-----------------------------	-----------

8 REFERÊNCIAS.....	36
---------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

As indústrias utilizam uma enorme quantidade de água nos seus processos. Entre as principais aplicações da água na indústria está a sua utilização como fluido de resfriamento. Praticamente todos os processos industriais envolvem algum tipo de troca térmica como uma de suas etapas. A utilização de água como fluído de resfriamento se dá pelas suas propriedades físicas tais como alto calor específico, baixa viscosidade. A baixa viscosidade permite que ela escoe facilmente pela tubulação, e o alto calor específico evita que ela se aqueça muito rapidamente quando em contato com superfícies aquecidas, conseguindo retirar grandes quantidades de calor dos sistemas que necessitam ser resfriados. Além disso, a água está disponível em abundância no planeta não apresentando características de toxicidade e de inflamabilidade.

Existem vários tipos de sistemas de resfriamento, de acordo com o seu projeto, eles são classificados como sistemas abertos, semi-abertos ou fechados.

Os sistemas abertos necessitam de grandes quantidades de água, pois esta passa pelo processo e é descartada em seguida. Nos sistemas semi-abertos a água é recirculada no processo após passar por um sistema de arrefecimento da temperatura. Os sistemas semi-abertos são amplamente utilizados por serem muito mais econômicos que os sistemas abertos. Já os sistemas fechados são utilizados quando é preciso que a água seja mantida em temperaturas maiores ou menores que aquelas conseguidas no sistema semi-abertos.

Nos sistemas semi-abertos ou torres de resfriamento, como são chamados, a água utilizada para o resfriamento de um equipamento, pode ser resfriada e voltar para o sistema, reduzindo, desta forma a necessidade de captação. O funcionamento eficiente do sistema faz com que se possam reduzir os gastos tanto de água como de energia.

Mesmo havendo recirculação de água na torre de resfriamento, há um consumo de 20 a 30% do volume total de água do sistema. Por isso, é importante que a operação seja otimizada de forma a proporcionar um menor gasto de água (MEIO FILTRANTE, 2013).

Nas torres de resfriamento, a água que ganhou calor no processo, cai por gravidade chocando-se com um enchimento que provoca a formação de gotículas, aumentando a área de contato com o ar que entra pelas laterais da torre é puxado por um exaustor instalado no alto da torre, passando em contracorrente pelas gotículas.

A troca térmica da água com o ar é bastante eficiente, porém, parte da água é arrastada pelo ar e outra parte evaporada. Além disso, como o ar carrega partículas em suspensão, pode

haver o crescimento de algas e bactérias no interior da torre, sendo necessário utilizar produtos bactericidas. Como parte da água evapora, ocorre a concentração de sais minerais podendo provocar incrustações nos trocadores de calor, por este motivo, é necessário drenar parte desta água, periodicamente (SOUZA, 2010).

Considerando a água evaporada, o arraste das gotículas e as purgas programadas, ocorre uma diminuição da quantidade de água que recircula, sendo necessária a reposição deste volume.

O custo da água de reposição, somado aos tratamentos químicos e biológicos e as paradas para limpeza para retirar incrustações, representam uma limitação econômica e ambiental importante para as empresas.

Diante do contexto, este trabalho tem como objetivo acompanhar o funcionamento de um sistema semi-aberto de resfriamento, observando se existem possibilidades de intervenções simples e que signifiquem uma diminuição do consumo de água do sistema, contribuindo com as questões financeiras e econômicas, e proporcionando um benefício ao meio ambiente pois ao invés da utilização de água potável para fins não potáveis, seria utilizado água de reuso.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Acompanhar o funcionamento de um sistema semi-aberto de resfriamento, observando a eficiência do processo, e a possibilidade de intervenções para diminuição do consumo de água.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar o funcionamento do sistema resfriamento;
- Verificar o consumo de água no sistema e a viabilidade do reuso da água para fins não potáveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de resfriamento

Os sistemas de resfriamento são usados em diversos tipos de indústrias tais como siderúrgicas, fundição, químicas, plástico, *shopping center*, papel e celulose entre outros (MORAES, 2017).

O objetivo destes sistemas é diminuir a temperatura de determinados equipamentos e processos, evitando o superaquecimento e colaborando para o crescimento de produtividade, sendo a água empregada como meio de resfriamento (MORAES, 2017).

Os sistemas de resfriamento da água são classificados em sistema aberto, sistema semi-aberto e sistema fechado, de acordo com o reaproveitamento da água recirculação (FOFANO, 1999).

A implantação de um desses sistemas de resfriamento depende de alguns fatores tais como a qualidade e quantidade de água disponível, a temperatura da água, o tipo de operação e custo de aquisição da água, o tamanho do equipamento e a limitação na qualidade do efluente industrial (FOFANO, 1999).

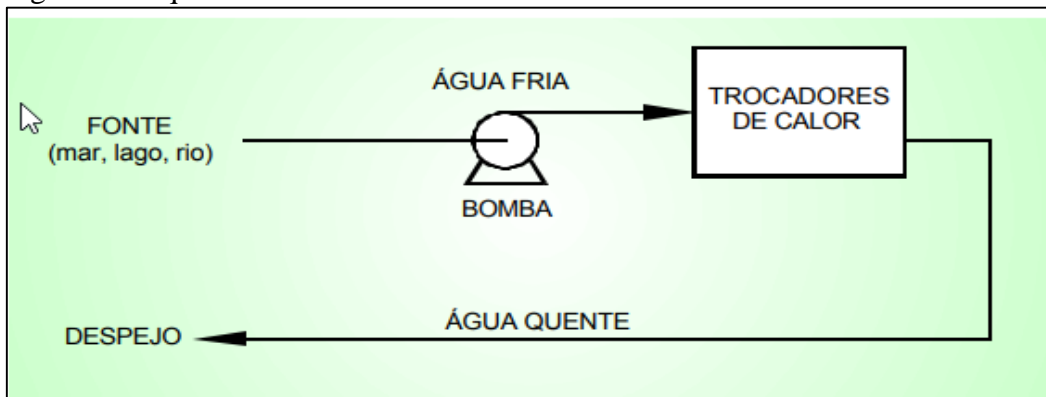
2.2 Classificação dos sistemas de água de resfriamento

Sistemas de resfriamento são muito utilizados na indústria com o objetivo de retirar calor de equipamentos e processo. Existem três modelos de sistemas de refrigeração, os sistemas abertos, os sistemas semi-abertos e os sistemas fechados.

2.2.1 Sistema aberto

No sistema aberto ou de passagem única (*“once-through”*), a água de resfriamento depois de passar pelos equipamentos que transmitem calor não retornam mais a eles, sendo que, a água utilizada e com temperatura mais alta é descartada no final da operação (FOFANO, 1999). A Figura 1 ilustra o funcionamento deste sistema:

Figura 1- Esquema de um sistema de resfriamento aberto



Fonte: FOFANO (1999)

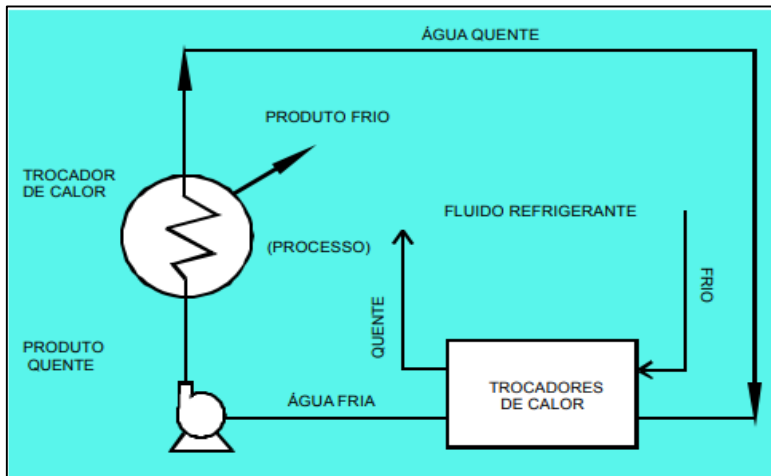
Apesar de ter um custo baixo, o consumo de água é alto, não sendo considerado um sistema sustentável. As indústrias de grande porte, quando são estabelecidas no litoral às vezes utilizam água do mar para fazer o resfriamento de seu processo. Porém, para evitar problemas como a corrosão, incrustação, é preciso aplicar em tratamentos químicos bastante onerosos, além disso, o despejo desta água podem causar problemas de poluição pela grande carga de produtos químicos e também pela temperatura elevada com que este grande volume de água é descartado (MORAES, 2017). Também são usadas em instalações móveis, tais como plataformas de petróleo, navios e submarinos (TROVATI, 2004).

É possível usar tubos de matérias mais nobres, que sofrem menos risco de corrosão, porém, ainda resta o problema da poluição térmica (FOFANO, 1999).

2.2.2 Sistema fechado

Neste sistema, a água (ou outro meio) é resfriado em um trocador de calor e não entra em contato com o fluido de resfriamento. Eles são utilizados para pequenas instalações, principalmente para resfriar máquinas. Sistema de ar condicionado, motores diesel, mancais de bombas e compressores são alguns exemplos de sistemas de resfriamento de ciclo fechado (FOFANO, 1999). O esquema de um sistema de resfriamento fechado está ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Esquema de um sistema de resfriamento fechado



Fonte: FOFANO (1999)

2.2.3 Sistema semi-aberto

No sistema semi-aberto a água que circula pelos equipamentos, é resfriada em uma torre de resfriamento, para reduzir sua temperatura e tornar-se própria para o reciclo. Este sistema é utilizado quando o consumo de água é grande e a disponibilidade limitada. Isto geralmente ocorre em refinarias, usinas termoeletricas e petroquímicas. O mesmo tem um custo inicial elevado, porém resolve o problema de eventual falta de água, possibilitando menor volume de captação e evitando a poluição térmica (FOFANO, 1999).

As principais vantagens deste sistema são (FOFANO, 1999):

- Garantia no fornecimento de água fria;
- Pouca reposição de água em cada ciclo, apenas para substituir a água que se perde por evaporação, por respingo, drenagem e vazamentos;
- Economia e eficácia no tratamento para água, possibilitando o uso de materiais de construção mais baratos, como exemplo aço-carbono comum nos tubos.

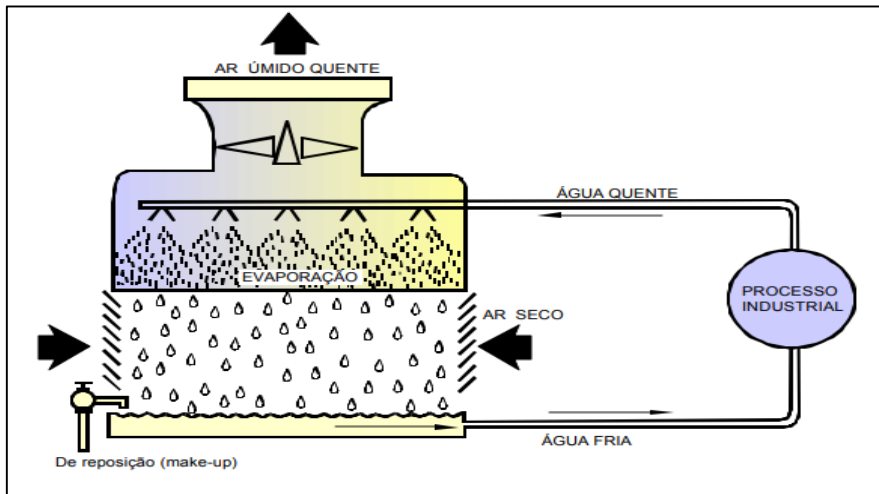
Porém tem como desvantagem ter que construir ou instalar uma torre de resfriamento, que aumenta o custo do investimento.

Existem vários modelos de sistemas semi-abertos, os mais comuns são torres de resfriamento e condensadores evaporativos.

Outro sistema utilizado é o "*spray ponds*". Neste sistema a água fica armazenada em um reservatório e é pulverizada em jatos ascendentes e é resfriada naturalmente pelo ar.

A Figura 3 representa um esquema deste tipo de sistema de resfriamento.

Figura 3: Esquema de um sistema de resfriamento semi-aberto



Fonte: FOFANO (1999)

Dos três tipos de sistemas de resfriamento, os mais utilizados são os semi-abertos (FOFANO, 1999). Portanto, este trabalho dará ênfase a este tipo de sistema de resfriamento.

2.3 Torre de resfriamento

As torres de resfriamento são usadas há muitos anos pela indústria no sistema de resfriamento de água industrial. É uma das soluções mais antigas, eficientes e com baixo valor de aquisição (MELLO, 2016).

As torres são utilizadas em processos, onde tenha havido uma troca térmica proveniente de instalação de refrigeração ou de condensadores de usinas. Esta água que realizou o resfriamento dos mesmos ganhou calor e por isso é preciso resfriá-la para poder reutilizá-la nos processos novamente (MELLO, 2016).

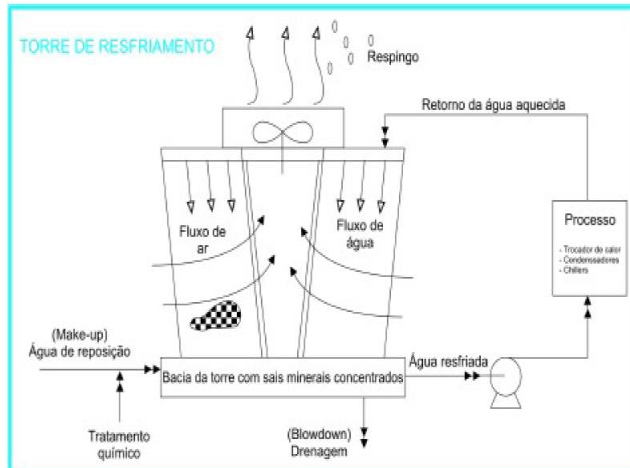
A água das torres é resfriada pelos fenômenos de convecção natural e forçada. A água a ser resfriada é bombeada para o topo da torre e espalhada por bicos aspersores. Em seguida passam por uma sucessão de placas com caminhos semelhantes e sinuosos, que é conhecida como “colmeia”. Esta colmeia permite que a água quente seja transferida de modo uniforme por toda a extensão da torre.

As torres possuem também ventiladores que puxam o ar que passam em contracorrente pela água gerando uma pressão negativa no sistema e por decorrência a evaporação da água (convecção forçada). O ar pode se distendido, pelas venezianas em corrente contrária, pelo ventilador, inclinado ou paralelo a corrente da água aquecida que está caindo na torre. Quanto

maior for a mistura entre o ar e a água, mais eficiente será o resfriamento (MEIO FILTRANTE, 2013).

A Figura 4 representa o esquema de uma torre de resfriamento.

Figura 4: Esquema de uma torre de resfriamento



Fonte: MEIO FILTRANTE (2013)

A maior vantagem das torres de resfriamento é que, a água é reaproveitada para recirculação, evitando o desperdício desse recurso.

2.4 Transferência de calor nos sistemas de resfriamento semi-abertos

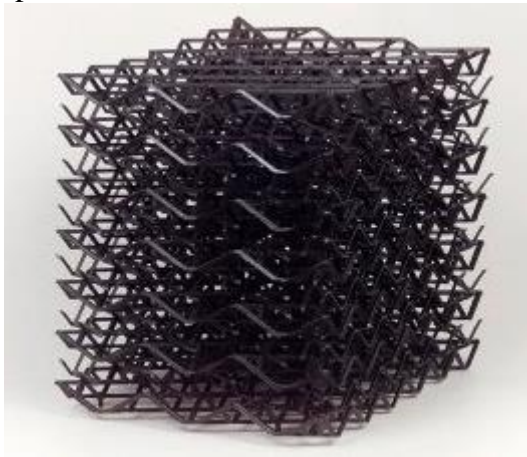
O resfriamento da água em uma torre ou equipamento similar ocorre através de dois processos:

- Processo de convecção, devido ao contato da água com o ar que se encontra em temperatura mais baixa. Normalmente, este fenômeno é responsável por cerca de apenas 20% do calor transferido.
- Transferência de calor latente por evaporação de certa quantidade de água, devido à menor concentração desta no ar circundante (umidade); responsável por aproximadamente 80% da transferência global de calor da operação.

Desta forma, ocorre a transferência de calor e de massa neste processo, pois há uma diferença de concentração da água na fase líquida e a água no estado de vapor. Isto provoca uma força motriz no processo pois, existe uma tendência da água líquida em equilibrar sua concentração com a água no estado de vapor. Para ocorrer este equilíbrio, ou seja, para a água passar para o estado de vapor, ela precisa de energia que é retirada da água que permanece no estado líquido, provocando o resfriamento desta. Como o objetivo é retirar calor da água no estado líquido, a maior eficiência ocorre quando o ar se encontra mais seco.

Então, para que haja uma transferência de calor eficiente, é preciso que haja uma grande área superficial de contato da água com o ar. Nos sistemas de resfriamento, a água é pulverizada através de bicos injetores e ainda passam por um enchimento ou "colmeias", provocando, desta forma a formação de gotículas, aumentando a superfície de contato e aumentando a eficiência da troca térmica. A Figura 5 ilustra as colmeias utilizadas em sistemas de resfriamento.

Figura 5 - Imagem ilustrativa de colmeia para torre de resfriamento



Fonte: ALFATERM (2018)

A maior eficiência da troca, ou seja, o máximo de troca de calor é igual à temperatura de bulbo úmido.

Para a determinação da Temperatura de bulbo úmido, coloca-se um pedaço de algodão umedecido (ou gaze, ou flanela) em volta do bulbo de um termômetro. Este termômetro é colocado no local em que se deseja medir a temperatura de bulbo úmido. A água do algodão evapora e retira o calor da água que permanece no algodão, provocando um abaixamento de temperatura.

A diferença entre a temperatura local e temperatura de bulbo úmido, é o máximo que o sistema pode perder de calor. Para o sistema de resfriamento, quanto mais próximo o resfriamento da água, ou seja, a perda de calor chegar deste delta de temperatura, maior será sua eficiência.

A diferença entre a temperatura da água resfriada e a temperatura de bulbo úmido é chamada de “Approach” e geralmente é usada para avaliar a eficiência de um sistema de resfriamento (GARCIA, 2000).

2.5 Operação de uma torre de resfriamento

A água utilizada para a troca de calor, possui sais minerais dissolvidos, a medida que que uma porção de água é evaporada da torre, os sais minerais ou Sólidos Totais Dissolvidos, vão se concentrando. Estes sais têm um máximo de solubilidade e, quando atingem este máximo, precipitam no interior da tubulação. Se isto não for controlado, haverá formação de depósitos ou incrustações, diminuindo a eficiência do trocador de calor. Outros contaminantes em suspensão também se concentram, conforme ocorre a evaporação (TROVATI, 2004).

Para evitar esta concentração de sais e outros contaminantes na água da torre, é feita a remoção de parte desta água. Este processo chama-se de descarga ou purga.

A purga não é nada mais que método de “descarga” de um tanque. O objetivo da purga é eliminar do tanque o acúmulo de resíduos (sujeira, material orgânico, excesso de sais e qualquer outro resíduo acumulado no fundo do tanque) que inviabilizam de alguma forma o uso do mesmo. Por isso se deve ser instalado um dreno na parte inferior do tanque para se caso for necessário o esvaziamento do tanque (MELLO, 2016).

Além da perda na evaporação e da purga feita no sistema, ainda ocorre perda de água por respingo ou arraste, pois, ao de chocarem com o enchimento da torre, a água respinga e pode ser levada pelo vento, para fora da torre. Para se ter uma redução dos respingos é preciso se instalar venezianas ou eliminadores de gotas, com isso se retém a água e conservando os produtos químicos do tratamento da água, melhorando a eficiência do processo (MEIO FILTRANTE, 2013).

Desta forma, se faz necessária, uma reposição de água no sistema de resfriamento. Para saber quanto deve ser repostado de água, utiliza-se o ciclo de concentração do sistema de refrigeração (DREW, 1979). A água de reposição tem a finalidade de repor a água perdida pela evaporação e o respingo. Por isso que quantidade da água de reposição é indispensável para um bom funcionamento, afetando diretamente a qualidade da água no sistema (MEIO FILTRANTE, 2013).

Os ciclos de concentração expressam o número de vezes que a água de resfriamento se concentra em relação à reposição, devido à evaporação (GARCIA, 2000). Ou seja, é a razão da concentração de Sólidos Dissolvidos no interior da torre e a concentração de sólidos dissolvidos na água de reposição.

A quantidade de água necessária na reposição é dada pela equação 1:

$$R = E + A + P \quad \text{equação (1)}$$

onde:

R = Água de reposição necessária

E = Perda de água por evaporação

A = Perda de água por arraste

P = Perda da água pela purga

Todos os termos dados em porcentagem de vazão de recirculação (Q), que é dada em m^3/h .

Não havendo outras perdas de água, como por exemplo, por vazamento, a reposição de água no sistema de refrigeração e a purga são dadas pelo ciclo de concentração.

A escolha do ciclo de concentração adequado para o sistema é determinada pelo seu desempenho, características da água, parâmetros operacionais e programa de tratamento (Drew, 1979).

2.6 Finalidades do tratamento de água dos sistemas de resfriamento

O tratamento da água de resfriamento pode ser feito com o emprego de várias técnicas e métodos, sejam eles químicos, físicos ou uma combinação de ambos. A escolha do melhor método deve se basear na sua eficiência e, obviamente, no seu custo fixo e operacional. Levando-se, também, em consideração os efeitos ambientais e sua respectiva legislação de controle (TROVATI, 2004).

Basicamente, os objetivos do tratamento da água de resfriamento são:

- Evitar a formação de incrustações
- Minimizar os processos corrosivos
- Controlar o desenvolvimento microbiológico (*Slime*)

Incrustação é o depósito nas tubulações que se formam por causa dos sólidos em suspensão, sais dissolvidos e características dos sistemas.

Corrosão é a tendência dos metais de se corroerem, tornando-se mais estáveis ou seja na formação de óxido de sais.

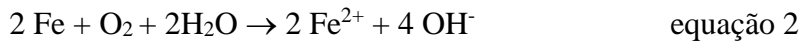
Slime é o desenvolvimento de microrganismos (algas, bactérias, mucilagem) e a formação de depósitos de origem orgânica. Sendo detectado nos permutadores, no topo da torre, bacia e no enchimento da torre (DREW, 1979).

2.7 Corrosões em sistemas de água de resfriamento

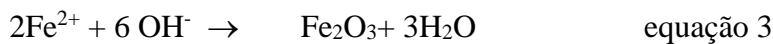
A corrosão pode causar grandes prejuízos nos sistemas de resfriamento, afetando a vida útil, aumentando a perda de água por vazamentos e consequentemente obrigando a parada da unidade e perda de produção.

Tubulações feitas de aço carbono estão sujeitas à corrosão pela passagem de água contendo oxigênio dissolvido.

A equação 2 ilustra esta reação de óxido-redução:



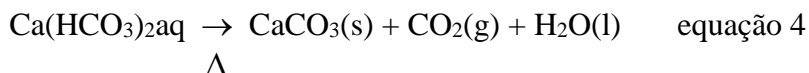
Esta reação é seguida pela oxidação de íons ferrosos a íons férricos, que, combinados aos íons hidroxila levarão ao produto da corrosão que é a ferrugem, conforme equação 3



2.8 Incrustações em sistemas e água de resfriamento

As incrustações são formadas quando o produto de solubilidade dos sais minerais dissolvidos na água de resfriamento é atingido e precipitam. As incrustações mais comuns são as formadas por carbonatos e silicatos de cálcio e magnésio e ainda sulfato de cálcio (GARCIA, 2000).

As incrustações de Carbonato de cálcio são muito influenciadas pela temperatura e pH da água, conforme ilustra a equação 4:



A formação de silicato de magnésio também apresenta uma solubilidade inversa com relação à temperatura. A formação destes compostos depende da concentração tanto de íons silicato como íons magnésio, sendo muito importante o controle destas espécies. Os silicatos são incrustações bastante duras, com características vítreas, sendo de difícil remoção.

Além dos depósitos de origem química, podem ocorrer ainda depósitos de origem microbiológica, conhecidos como biofilmes. Estes depósitos ocorrem pela presença de organismos sésseis aderidos à superfície das estruturas da torre e também pela presença de organismos planctônicos em suspensão na água.

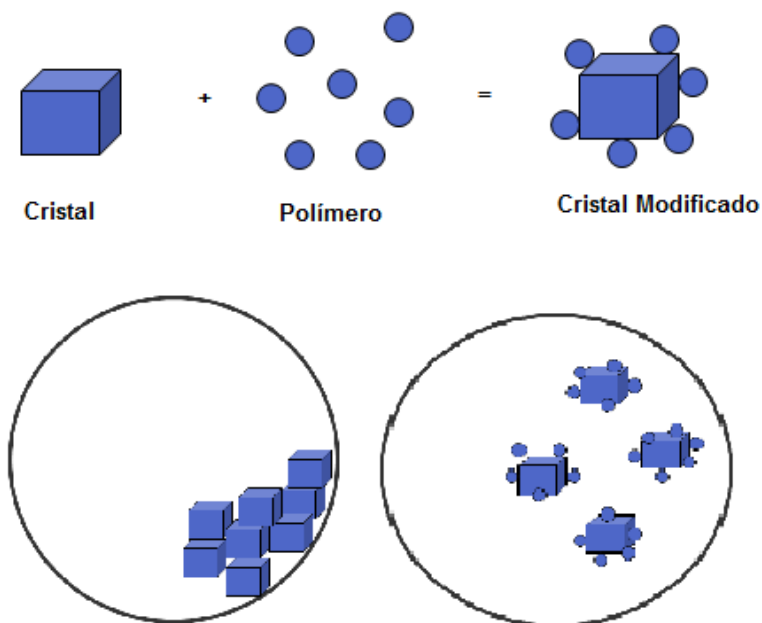
A formação do biofilme se inicia pelo desenvolvimento de uma camada orgânica na superfície metálica. Em seguida, os microrganismos presentes na água, migram para esta camada orgânica que constituem uma forma de nutrientes. Havendo nutriente suficiente, os microrganismos vão se multiplicando e levam a formação do biofilme (GARCIA, 2000).

2.9 Tratamentos dos sistemas de resfriamento.

Vários produtos podem ser utilizados para evitar que haja corrosão, incrustação e também formação de biofilme nas torres de resfriamento.

Para evitar a formação de depósitos e incrustações, geralmente se lança mão de polímeros inibidor de incrustação. Estes polímeros atuam na formação do cristal, modificando-os e impedindo que haja um crescimento regular deste cristal e aderência na parede da tubulação (GRACIA, 2000). A deformação dos cristais pelo polímero está ilustrada na Figura 6

Figura 6: Esquema de deformação dos cristais dos sais que formam incrustações (cubos) por meio de polímeros inibidores de incrustações (círculos)



Fonte: O autor

Os produtos utilizados na inibição de corrosão formam uma película protetora sobre a superfície metálica. Eles reagem com os produtos de corrosão inicialmente formados na área catódica ou anódica, resultando em um filme aderente e insolúvel que protege o metal. Os inibidores de corrosão mais comuns são os Fosfonatos-Zinco que são inibidores de corrosão catódica e anódica respectivamente (GARCIA, 2000)

O controle microbiológico é feito pela adição de biocidas metabólicos, surfactantes, não-oxidantes, oxidantes ou biodispersante. Cada biocida tem uma forma de agir no microorganismo, por este motivo, é importante ter informações mais específicas do tipo de biofilme formado (GARCIA, 2000)

2.10 Monitoramento do sistema de resfriamento

É essencial que se tenha um monitoramento do sistema de resfriamento tanto físico, químico ou biológico, para evitar problemas como incrustação, corrosão e microbiológicos.

Vários são os métodos de tratamento usados para avaliar as condições do sistema de resfriamento. Além de análises físico-químicas da água do sistema de resfriamento, também é possível acompanhar as taxas de corrosão e deposição, utilizando “cupons de prova” que são pequenos pedaços de ligas iguais à metalurgia do sistema e que são colocados na tubulação de forma que possam ser retirados para o acompanhamento da corrosão e/ou deposição (TROVATI, 2004).

A contagem microbiológica na água possibilita a determinação da quantidade de colônias que estão sendo formadas por unidade de volume, geralmente em UFC/mL.

Também é de fundamental importância ouvir os operadores técnicos que vivenciam o tratamento (TROVATI, 2004).

2.11 Chillers

Chillers são resfriadores de água que, quando utilizados em conjunto com determinados equipamentos de ar-condicionado, viabiliza a climatização dos ambientes e o controle da temperatura, umidade, movimentação, filtragem e renovação do ar em grandes ambientes.

Esse sistema pode ser empregado em situações que necessita uma climatização de espaços e a refrigeração de equipamentos. Nesse contexto destacam-se locais com grande circulação de pessoas, como aeroportos, hospitais, estações de metrô, Shopping Center, armazéns e eventos em geral. São indicados também para indústrias do petróleo, gás, petroquímicas, refinarias, indústrias químicas, farmacêuticas e alimentícias, para a mineração e tunelamento, além de equipamentos de telecomunicações e áreas da torre de controle das células (MEIO FILTRANTE, 2017).

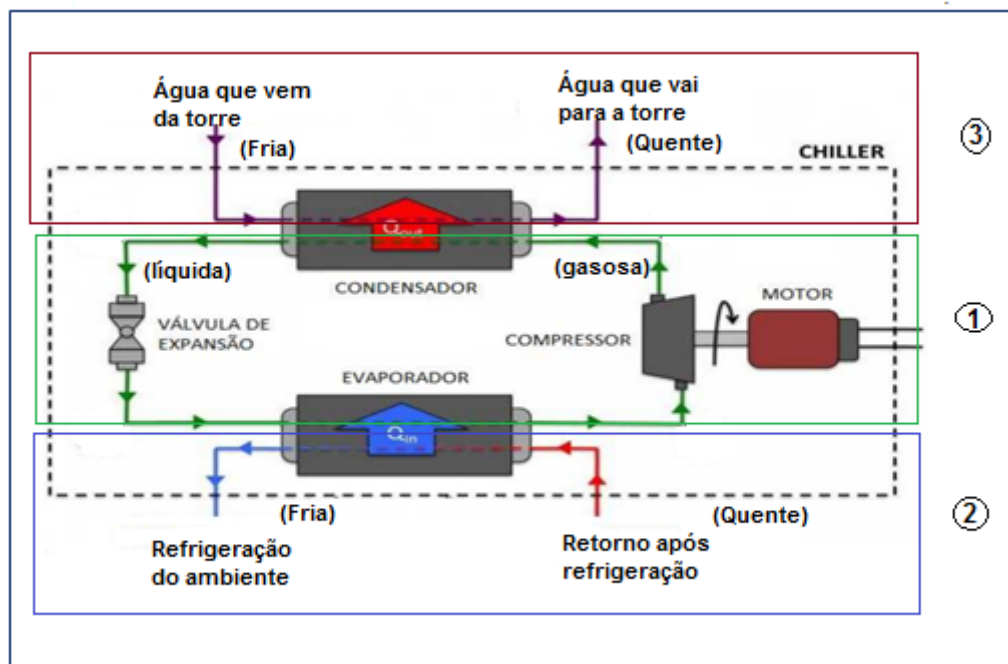
Os chillers contam com três fluidos refrigerantes:

- 1) O fluido gasoso entra no compressor e deste para o condensador, passando para o estado líquido. Segue para uma válvula, sofre expansão e vai para o evaporador voltando para o estado gasoso. Este processo de evaporação carrega o calor do sistema tornando-o mais frio e resfriando um fluxo de água que passa pela serpentina. O gás quente volta para compressor e em seguida para o condensador, fechando o ciclo.

- 2) O fluido refrigerado no primeiro sistema segue para outro componente de refrigeração e resfria o ambiente ou equipamento que precisa perder calor.
- 3) O fluido do primeiro estágio entra quente no condensador, sofre resfriamento e segue para a válvula de expansão. A água da torre, que passou resfriando o sistema, ganha calor e volta para a torre com temperatura mais elevada. Na torre é feito o resfriamento da água ganhou calor após passar pelo condensador. A água resfriada volta para recircular e resfria novamente o condensador (FRANÇA, 2018).

A Figura 7 mostra um esquema do Chiller com a divisão dos três fluidos.

Figura 7: Ciclo de refrigeração do chiller (1: fluido que resfria o fluido refrigerante, 2: refrigeração do ambiente, 3: refrigeração do condensador)



Fonte: Adaptado de BARBOSA (2013), pelo autor.

A unidade de medida utilizada para a potência é a TR (Tonelada de Refrigeração), sendo 1 TR equivalente a 12.000 BTU/h (British Thermal Unit). Uma forma mais fácil de entender é que 1 TR proporciona o efeito de uma tonelada de gelo derretendo por um período de 24 horas (A GERADORA, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foi feito um estudo bibliográfico de artigos, dissertações, livros, revista científicas sobre sistemas de resfriamento. Foi também feito um estudo de caso do Mangabeira Shopping Center (MSC) que fica situado no Bairro de Mangabeira, na cidade de João Pessoa, Paraíba.

O estudo de caso consistiu em analisar o funcionamento do sistema resfriamento do Shopping , verificar o consumo de água no sistema e também a viabilidade do reuso da água para fins não potáveis.

Este levantamento foi feito por meio de uma visita no local, com acompanhamento do Gerente responsável pela Manutenção do Sistema de Refrigeração, o Engenheiro Germano Pordeus Brandão que concedeu todas as informações.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

O MSC possui 112.000m²de área construída, sendo 53.000m²para lojas. O espaço é divididos em três pavimentos, sendo 2 de lojas e um de área de alimentação e cinemas. Possui ainda um mezanino que abriga uma academia e a parte administrativa do shopping.

A Figura 8 ilustra a área externa do MSC.

Figura 8 – Foto da parte externa das instalações do Mangabeira Shopping Center.



Fonte: Pordeus (2014)

A temperatura média no interior do shopping é de 24°C. Esta temperatura é mantida através de um sistema de refrigeração do tipo Chiller, modelo XRV da marca Carrier, com capacidade de 1.864KW (530 tons) .

Apesar do sistema de resfriamento do shopping contar com seis Chillers, no momento apenas quatro Chillers estão sendo utilizados, funcionando 6 horas e 30 minutos por dia. O restante do tempo o sistema permanece desligado. A água resfriada é mantida em um reservatório com isolamento térmico de 7000m³ de capacidade.

A manutenção dos Chillers é feita pela empresa Carrier por meio de contrato com o MSC.

A Figura 9 ilustra um Chiller da mesma marca e modelo dos instalados no MSC

Figura 9: Chiller modelo XRV, marca Carrier



Fonte: AHI Carrier (2018)

A captação da água para o sistema de resfriamento é feito dos poços artesianos localizados no próprio shopping.

As torres usadas no resfriamento do sistema Chiller é da marca Alpina, modelo AP 310Q6, com carga térmica de 1.859.000kcal/h e vazão de 338m³/h.

A Figura 10, ilustra as instalações o conjunto de Chillers e torres de resfriamento do MSC.

Figura 10: Ilustração do conjunto de Torres de resfriamento (a) e Chillers (b) do Mangabeira Shopping Center. À esquerda o reservatório de água gelada (c).



Fonte: Pordeus (2018)

A Figura 11 refere-se a uma tomada aérea do conjunto de sistemas de resfriamento. O reservatório de água gelada está à esquerda na foto.

Figura 11: Tomada aérea do Sistema de resfriamento do Mangabeira Shopping Center



Fonte: Pordeus (2018)

O sistema tem um vazão de reposição de água de aproximadamente $80 \text{ m}^3/\text{h}$ em cada chiller, com uma taxa de evaporação para cada um $27 \text{ m}^3/\text{h}$.

As purgas das torres de resfriamento ocorrem a cada 15 minutos, quando os chillers estão funcionando e a cada 30 minutos quando os chillers estão desligados. A cada descarga são descartados cerca de $0,5 \text{ m}^3$ de água.

O tratamento da água das torres é feita pela empresa Quântica tratamento de água LTDA, na pessoa física de Wilson Sampaio Evaristo assistente técnico que faz o controle e as análises, monitorando o sistema com um acompanhamento dia a dia. Os produtos usados no tratamento da água de resfriamento são o Dethor (nome comercial do produto e não informada a composição) e um biocida, cuja composição também não foi informada.

O tratamento da água do resfriamento é feito por bombas dosadoras eletrônicas que controlam a quantidade dos produtos químicos a ser inserido nos taques de acordo com o que é preciso naquele momento. A figura 12 mostra as bombonas de produtos químicos e a bombas dosadoras utilizadas.

Figura12: Bombonas de produtos químicos e bombas dosadoras utilizadas no tratamento da água das torres do Mangabeira Shopping Center



Fonte: O autor (2018)

As análises realizadas para o acompanhamento do tratamento são: Alcalinidade total, pH, Dureza Total, Dureza Cálcica, Sílica, Ferro Total, Condutividade Elétrica, S.T.D, Cloretos, Turbidez, Contagem Total Bactérias, Aspecto Visual e Ortofosfato.

O monitoramento acompanha os parâmetros da qualidade da água de acordo com as especificações da Quântica Tratamento de Água LTDA. Os valores estabelecidos para cada parâmetro estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros da qualidade da água de resfriamento do Mangabeira Shopping Center

Parâmetros	Unidade	Limite Inferior	Limite superior
pH	-	7,5	8,7
Alcalinidade Total	ppm CaCO_3	60	200
Dureza Cálcica	ppm CaCO_3	-	250
Cloretos	ppm Cl	-	250
Condutividade	μS	-	3000
Ferro	ppm Fe	-	3,0
Sílica	ppm SiO_2^{2-}	-	180
Cloro	PPM	0,5	1,0
ATP	RLU		100
DQO	Ppm		80,0
Ortofosfato	PPM	7,0	10,0
Sólidos Solúveis Ciclo	mg/L		60,0

Fonte: Quântica Tratamento de Água LTDA

4.1 Cálculo do volume de água descartado por dia pelas torres de resfriamento.

Foram feitos os cálculos do descarte de água no sistema de resfriamento do MSC, considerando as informações do número de descargas e volume de água descartada por purga. A Tabela 2, traz os valores obtidos para número de descargas e volume de água descartada por dia.

Tabela 2: Quantidade de água descartada por dia no sistema de resfriamento do Mangabeira Shopping Center.

	Por torre	Para as 4 torres
Nº de descargas durante o período de funcionamento (6h30min)	26	104
Nº de descargas durante o período de parada (17h30min)	35	140
Total de descargas por dia	61	244
Total de água descartada por dia * (m ³)	30,5	122

*Considerando 0,5m³ de água descartada por purga

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2 Redução do consumo de água

Com base na pesquisa feita no MSC vimos que não tem como reduzir a quantidade de água capitada porque o sistema requer um fluxo grande de água. Toda via a uma possibilidade de se fazer reuso da água de descarga para fins não potáveis como irrigação, banheiros e limpeza sendo que para isso acontecer é preciso fazer um estudo do melhor método a ser implantado, porém o shopping não descarta que em um futuro não muito longe possa implantar o sistema e com viabilizar redução do consumo de água potável.

4.3 Reuso de água

O reuso de água é o aproveitamento de água que já foi usada uma ou mais vezes em alguma atividade humana ou industrial. E com isso haver uma redução do consumo hídrico de água potável.

Para se fazer o reuso da água de descarga do MSC, seria preciso implantar um novo sistema com a construção um tanque de armazenamento de água não potável, e também uma

nova estrutura física com tubulações e mecanismos adequados para recepção e distribuição desta água.

Seria necessário ainda, fazer um tratamento na água não potável armazenada. Um tratamento adequado seria a clarificação, que consiste em promover a redução da turbidez, cor e carga orgânica e a eliminação sólidos suspensos. Para isso é preciso fazer um processos físico-químico como: floculação, decantação, neutralização e coagulação.

5 CONCLUSÃO

O acompanhamento do Sistema de Refrigeração do Mangabeira Shopping Center mostrou que o processo ocorre com alta eficiência, sendo que, para propor a diminuição do consumo de água neste sistema seria necessário um estudo bem complexo.

No entanto, com a adição de algumas instalações, existe a possibilidade de fazer o reuso da água descartada, principalmente por haver, por parte da administração do MSC, o interesse neste tipo de processo.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros fazer todo o levantamento de custo para o aproveitamento de água de descarte das torres.

Fazer uma análise para implantação de um sistema de reuso de água não potável, viabilizando a redução de consumo de água.

7 AGRADECIMENTO

Ao Mangabeira Shopping Center, representado pelo Sr. Germano Pordeus Brandão, sem o qual não teria sido possível a realização deste trabalho.

8 REFERÊNCIAS

A GERADORA. Condicionador de ar Chiller. Disponível em: <https://www.ageradora.com.br/equipamentos/condicionador-de-ar/chiller/>. Acesso em: 10 jun 2018.

ALFATERM torres de resfriamento de água. Disponível em: <http://www.alfaterm.com.br/colmeia-torre-resfriamento>>. Acesso em: 11 jun 2018.

AHI Carrier. Disponível em <https://www.ahi-carrier.gr/en/product/19rxrv-aquaedge-two-stage-centrifugal-liquid-chiller/>> Acessado em: 12 jun 2018

BARBOSA, F.F. **Análise computacional de central de água gelada com tanque de termoacumulação**. Brasília: 09 jun. 2013. Disponível em: http://bdm.unb.br/bitstream/10483/7723/1/2013_FellipeFernandesBarbosa.pdf>. Acessado em: 03 jun. 2018.

DREW PRODUTOS QUÍMICOS Princípios de Tratamento de água industrial. Ed Drew, Tradução Thomas J. Buchard, 1979

FOFANO, S. **Avaliação de técnicas eletroquímicas na monitoração de corrosão por sulfetos em sistemas de água de resfriamento industrial**. Curitiba – 1999. Disponível em: <http://www.gea.ufpr.br/Dissertacao/Socrates/Capaindice-Fofano.pdf>>. Acessado em: 04 jun. 2018.

FRANÇA, F. Apostila de **Controle Térmico de Ambientes**. DE – FEM Unicamp, Campinas, SP. Disponível em <http://docplayer.com.br/20889752-Controle-termico-de-ambientes-fernando-franca-de-fem-unicamp-ffranca-fem-unicamp-br-criogenia.html>>. Acesso em: 13 jun 2018.

GARCIA, P. C. **Apostila Tratamento de água de resfriamento**. BetzDearborn, 2000.

KURITA. Artigos técnicos. Disponível em: <http://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/tratamento-de-agua-de-resfriamento/>>. Acessado em: 02 jun.2018

MELLO, M.S. **Torres de Resfriamento** .Publ. 19 jan. 2016. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/MrioSrgioMello/torres-de-resfriamento-57228427>>. Acessado em: 04 jun. 2018.

QUEIROZ, L. **E hora de sair do escritório** Arujá SP: Ed. 86, n. 16, mai./jun. 2017. Disponível em: <http://meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?link=ultima&fase=C&id=1157>>. Acessado em: 03 jun. 2018

REVISTA MEIO FILTRANTE. **Sistemas de resfriamento: um processo essencial para a indústria**. Ed. 86, n. 16, mai./jun. 2017. Disponível em: <http://meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?link=ultima&fase=C&id=1157>>. Acessado em: 03 jun. 2018.

REVISTA MEIO FILTRANTE. **Água de resfriamento. Por que mantê-la?** Ed 6, jul/ago/set 2013. Disponível em

<http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?link=ultima&fase=C&id=6&retorno=b>. Acesso em: 31 mai 2018.

REFRISAT. Conteúdo. Disponível em: <<http://refrisat.com.br/conteudo/sistema-de-resfriamento-industrial/>> . Acesso em: 03 jun. 2018.

TECNOGERA. Sistema de refrigeração Chiller. Disponível em: <<http://www.tecnogera.com/blog/o-que-e-um-sistema-de-refrigeracao-chiller>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

TROVATI, J. **Tratamento de água de resfriamento**. Corona: Araraquara-SP – set. 2004. Disponível em: < http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2018.

WEB AR CONDICIONADO. **Conheça o Chiller, o equipamento dos grandes projetos de climatização**, Redação do Portal Web ArCondicionado, 2014. Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br/conheca-o-chiller-o-equipamento-dos-grandes-projetos-de-climatizacao>> Acesso em: 09 jun 2018.