

UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA
DIMENSIONAMENTO DE TORRES DE RESFRIAMENTO

LUCAS FELTRIM CECON

MARINGÁ – PR

2022

Lucas Feltrim Cecon

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA
DIMENSIONAMENTO DE TORRES DE RESFRIAMENTO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Cesumar – UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia mecânica, sob a orientação do Prof. Me. Fábio Victor Bueno de Morais.

MARINGÁ – PR

2022

FOLHA DE APROVAÇÃO
LUCAS FELTRIM CECON

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA
DIMENSIONAMENTO DE TORRES DE RESFRIAMENTO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Cesumar –UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica sob a orientação do Prof. Me. Fábio Victor Bueno de Moraes

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. (a): Me. Fábio Victor Bueno de Moraes – Unicesumar

Prof. Me. Camila Galo da Silva – Unicesumar

Prof. Dr. Fernando Pereira Calderaro – Unicesumar

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE TORRES DE RESFRIAMENTO

Lucas Feltrim Cecon

RESUMO

As torres de resfriamento estão presentes em diversas indústrias de processamento de material que necessitam de água sempre resfriada para o pleno funcionamento de seu equipamento. Seja para refrigeração de um determinado ambiente ou para evitar o superaquecimento de condensadores. O trabalho teve como objetivo abordar uma solução mais eficaz para o dimensionamento de certos tipos de torres de resfriamento, visando economia de tempo para profissionais da área, professores e até mesmo alunos em seus estudos.

Palavras-chave: Torre de resfriamento. Eficaz. Condensadores.

APP DEVELOPMENT FOR COOLING TOWER SIZING

ABSTRACT

Cooling tower are present in several material processing industries that needs cool water for full operation of their equipment. For environment cooling or to prevent the condensers of overheating. This work consists of approaching a more effective solution for the sizing of certain types of cooling towers, aiming saving time for professionals in this area, teachers and even students in their studies.

Keywords: Cooling tower. Effective. Condensers.

1 INTRODUÇÃO

A torre de resfriamento é um equipamento que tem como objetivo resfriar a água utilizada nas indústrias por meio da troca de calor com o ar. Essa água geralmente vem de condensadores internos dessas indústrias e, ao sair deles, ela é transportada através de tubulações até a torre de resfriamento onde é precipitada de forma muito parecida com a precipitação da chuva. A água que está em queda recebe uma contracorrente de ar frio que, geralmente está na temperatura ambiente. Com esse contato direto, tem-se a evaporação de parte da água do processo. Essa evaporação é a principal responsável pelo resfriamento da água que é reutilizada e enviada novamente ao condensador.

Segundo MORAN (2002), uma torre de resfriamento é essencialmente uma coluna de transferência de massa e calor, projetada de forma a permitir uma grande área de contato entre as duas correntes. Isso é obtido mediante a aspensão da água líquida na parte superior e do “enchimento” da torre, isto é, bandejas perfuradas, colmeias de materiais plástico ou metálico etc., que aumentam o tempo de permanência da água no seu interior e a superfície de contato água – ar.

O objetivo é construir uma aplicação que facilite e acelere o dimensionamento de torres de resfriamento, sendo preciso, rápido e eficaz.

1.1 TIPO DE TORRES

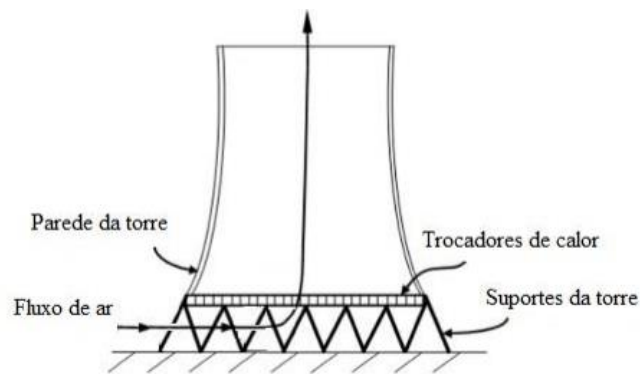
Existem dois tipos de torres de resfriamento e a diferença entre os modelos está no método em que a água a ser resfriada circula no sistema (SINGLA; SINGH; DAS, 2016). São elas: **torre de resfriamento do tipo seca e torre de resfriamento do tipo úmida.**

1.1.1 TORRE DE RESFRIAMENTO TIPO SECA

A torre de resfriamento tipo seca utiliza a diferença de pressão presente no ponto mais alto e no ponto mais baixo para fazer o fluxo de ar interno exercer a função de trocar o calor com a água. Para esses modelos de torres, a água circula em uma tubulação que a separa do ar ambiente, funcionando semelhantemente a um trocador de calor, que faz uso da transferência de calor do tipo convectiva (KLIMANEK; CEDZICH; BIALECKI, 2015). A grande vantagem desse modelo de torre de resfriamento é a economia de água, pois não há perda por evaporação

(MA, H. et al., 2015). Porém, o sistema não possui grande eficiência quando operando em regiões com altas temperaturas ambientes, o que dificulta o processo de troca térmica (HE et al., 2016). Para minimizar esta influência, uma técnica existente é justamente o pré-resfriamento do ar de entrada, de maneira a garantir que o esforço do sistema durante a troca térmica seja minimizado e tenha menor influência do ar externo (HE et al., 2017). Um exemplo de torre seca está na Figura 01. Normalmente, são utilizadas em indústrias para resfriar a água pós processamento de seus produtos ou, também, em fábricas e refinarias que necessitam dissipar a grande quantidade de calor que geram.

Figura 01 – Torre do tipo seca.



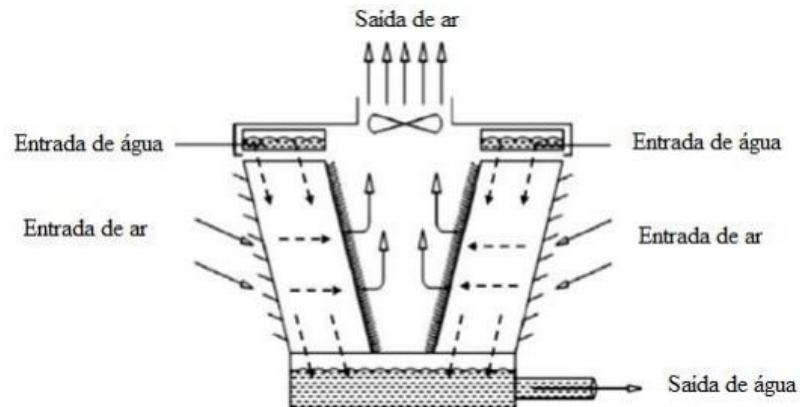
Fonte: adaptado de Duniam (2016).

1.1.2 TORRE DE RESFRIAMENTO TIPO ÚMIDA

Esse tipo de torre, também conhecida como mecânica, utiliza um fluxo de ar forçado (geralmente com ventiladores de topo) para fazer a troca de calor com a água. As torres de resfriamento do tipo úmida, muitas vezes são adotadas para grandes cargas térmicas, maiores que 100 TR (Tonelada de Refrigeração), por serem mais flexíveis e possuírem um baixo custo e boa confiabilidade (NAIK; MUTHUKUMAR, 2017). O princípio utilizado é o evaporativo, no qual uma parcela da água de circulação é evaporada para que haja a redução da temperatura da água (CUTILLAS; RAMÍREZ; MIRALLES, 2017). Nesse processo também há um menor consumo de energia se comparado ao modelo apresentado anteriormente (RUIZ; KAISER; LUCAS, 2017). Para que a água fique mais tempo dentro do equipamento, há a utilização de bicos aspersores para melhorar a sua distribuição no equipamento e recheios mecânicos internos que permitem que a água permaneça ainda por mais tempo. Pode ser alcançado uma melhoria

no rendimento de até 5,5% com alteração nos arranjos de bicos aspersores devido a melhor distribuição de água e maior tempo de residência dentro da torre de resfriamento. Alinhado com a utilização racional dos ventiladores, maior será a eficiência do equipamento (SADAFI; JAHN; HOOMAN, 2016). Um exemplo de torre úmida pode ser visualizado na Figura 02.

Figura 02 - Torre tipo úmida



Fonte: adaptado de Naik (2017).

Os demais modelos existentes são derivações dos dois modelos supramencionados e são chamados de modelos híbridos (BEST; RIVERA, 2015).

2 DESENVOLVIMENTO

O projeto consistiu no desenvolvimento de um aplicativo para o cálculo de dimensionamento de torres de resfriamento. O foco principal foram as torres do tipo úmida e o aplicativo apresentou a vazão mássica ideal para o ponto superior da torre onde existe um ventilador que auxilia na saída e na troca de calor da água com o ar e a vazão mássica de água para reposição que será necessária. O protótipo foi construído pelo software Figma e usa como linguagem principal HTML e CSS.

Para profissionais, professores e alunos que tiverem o interesse em acessar o aplicativo para buscar uma praticidade nas suas atividades do dia a dia, basta fazer um cadastro identificando nome, e-mail, instituição de ensino e se de fato é professor ou aluno. As telas e demonstrações do aplicativo serão apresentadas posteriormente.

2.1 EQUAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA TORRE

As equações utilizadas para o cálculo no aplicativo e em uma folha de papel são as mesmas. A diferença é que no aplicativo, além de estar organizado, o processo é feito apenas com o preenchimento de alguns campos.

$$M_a = \frac{M_1 \cdot (H_{f1} - H_{f2})}{(H_{a4} - H_{a3}) + (W_4 \cdot H_{g4}) - (W_3 \cdot H_{g3}) - (W_4 - W_3) \cdot H_{f5}} \quad (1)$$

$$M_5 = M_a \cdot (W_4 - W_3) \quad (2)$$

Onde: M = Vazão mássica, em kg/s;

H_f = Entalpia de líquido saturado, em kJ/kg;

H_A = Entalpia do ar, em kJ/kg;

W = Umidade absoluta, em kgv/kg_a (quilograma vapor/quilograma ar seco);

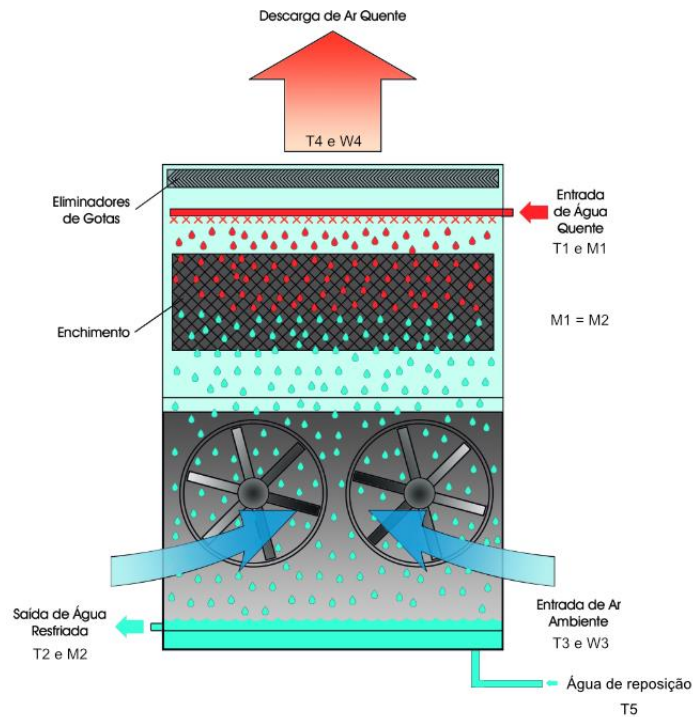
H_G = Entalpia de vapor saturado, em kJ/kg.

Os valores de Entalpia são em função da pressão e da temperatura e estão presentes dentro da memória do aplicativo, no banco de dados. Então basta que o usuário forneça os valores mínimos para o início do desenvolvimento da equação, tais como: temperatura da água que sai do condensador e entra na torre, em °C (T_1); vazão mássica de água que entra na torre, em kg/s (M_1); temperatura da água que sai da torre de resfriamento e entra no condensador, em °C (T_2); vazão mássica de água que sai da torre, em kg/s (M_2); temperatura do ar atmosférico que entra na torre, em °C (T_3); umidade absoluta do ar atmosférico que entra na torre, em kgv/kg_a (W_3); temperatura do ar que deixa a torre, em °C (T_4); umidade absoluta do ar atmosférico que sai da torre, em kgv/kg_a (W_4) e temperatura da água de reposição, em °C (T_5).

Com os valores de temperatura e umidade absoluta, pode-se olhar em tabelas já prontas para descobrir os valores de entalpia de cada ponto, como por exemplo H_{A3} , que seria a entalpia de líquido saturado no ponto 3 (entrada de ar atmosférico na torre). É importante lembrar que, também, de acordo com a lei da conservação de massas, a massa que a torre de resfriamento receber na entrada (Ponto 3) vai ser a mesma massa que vai sair na parte superior da torre (Ponto 4) (Carvalho Filho, 2018). Ou seja, a vazão mássica de entrada no ponto 3, vai ser a mesma vazão mássica de saída no ponto 4.

Os pontos citados podem ser visualizados na Figura 03.

Figura 03 – Pontos da torre de resfriamento



Fonte: Adaptado da internet.

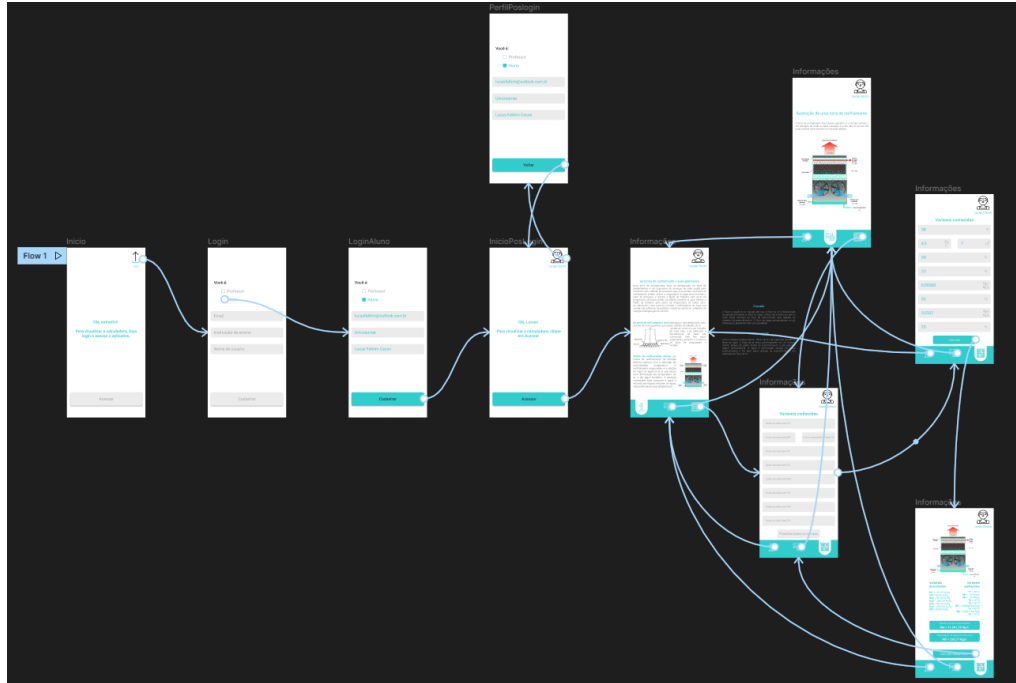
2.2 O APLICATIVO E SUAS FUNCIONALIDADES

A proposta do aplicativo é ser de fácil usabilidade para que todos possam obter os parâmetros desejados; seja um professor para conferir os resultados dos seus exercícios, um aluno para estudar para a sua prova ou até um profissional que queira selecionar os equipamentos adequados para o seu projeto.

2.2.1 FLUXO DE INFORMAÇÕES DO APLICATIVO

O protótipo do aplicativo foi separado em fluxos de informações apresentados na Figura 04.

Figura 04 – Fluxo de informações do protótipo



Fonte: Do autor. (2022)

2.2.2 TELA DE INÍCIO E CADASTRO

Como já citado, o protótipo foi construído para atender professores e alunos. A primeira mensagem que o aplicativo apresenta ao ser aberto é a solicitação para cadastro (Figura 05).

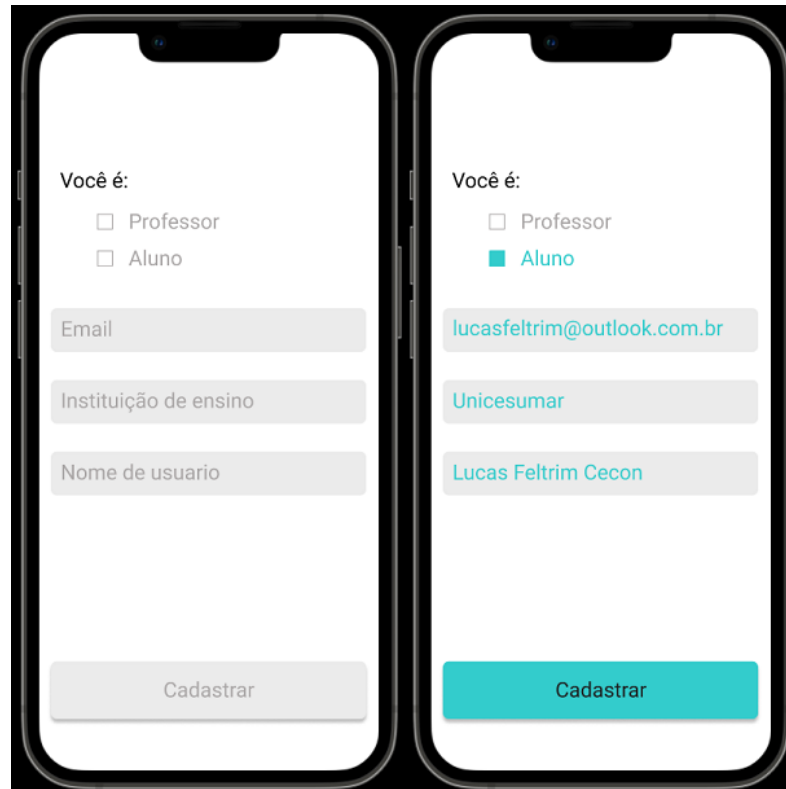
Figura 05 – Tela de início



Fonte: Do autor. (2022)

Após o cadastro, o usuário é liberado para acessar o aplicativo ou para conferir as informações do seu perfil, como mostrado na Figura 06.

Figura 06 – Tela de cadastro e pós cadastro



Fonte: Do autor. (2022)

2.2.3 ACESSANDO O APLICATIVO E MENUS DE INTERAÇÃO

Ao acessar o aplicativo, o usuário terá um breve resumo sobre as torres de resfriamento e uma rápida explicação das diferenças entre uma torre de resfriamento do tipo úmida e uma do tipo seca, como mostra a Figura 07.

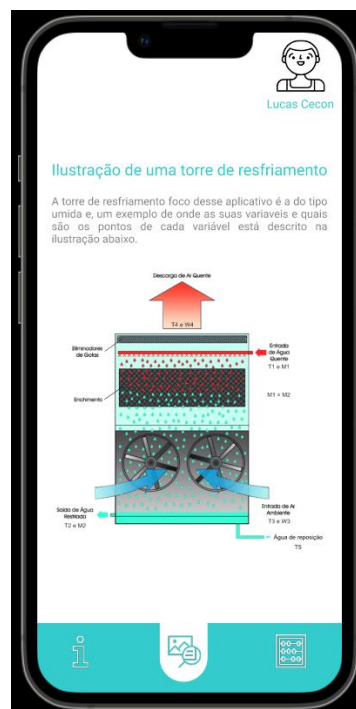
Figura 07 – Informações sobre as torres de resfriamento.



Fonte: Do autor. (2022)

Avançando para a próxima tela, tem-se uma ilustração exemplificando o modelo da torre de resfriamento, que é foco desse estudo, e a localização dos pontos necessários para o cálculo de dimensionamento da torre (Figura 08).

Figura 08 – Informações sobre a torre



Fonte: Do autor. (2022)

Na Figura 09, é apresentada a principal tela da aplicação, na qual deve-se preencher as variáveis necessárias para o cálculo do dimensionamento da torre. Até que sejam colocados todos os dados, o aplicativo não deixa o usuário avançar para a próxima etapa.

Figura 09 – Variáveis conhecidas

Lucas Cecon

Variáveis conhecidas

Insira um valor para T1

Insira um valor para M1 Insira o expoente da base 10

Insira um valor para T2

Insira um valor para T3

Insira um valor para W3

Insira um valor para T4

Insira um valor para W4

Insira um valor para T5

Preencha todos os campos

Fonte: Do autor. (2022)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Partindo para o fim do proposto, o usuário deverá preencher os campos apresentados na Figura 09 para obter os resultados do dimensionamento da sua torre de resfriamento. Após o preenchimento de todos os campos, o usuário é liberado para prosseguir com a aplicação e, após clicar em calcular, poderá ver os resultados do dimensionamento, como mostra a Figura

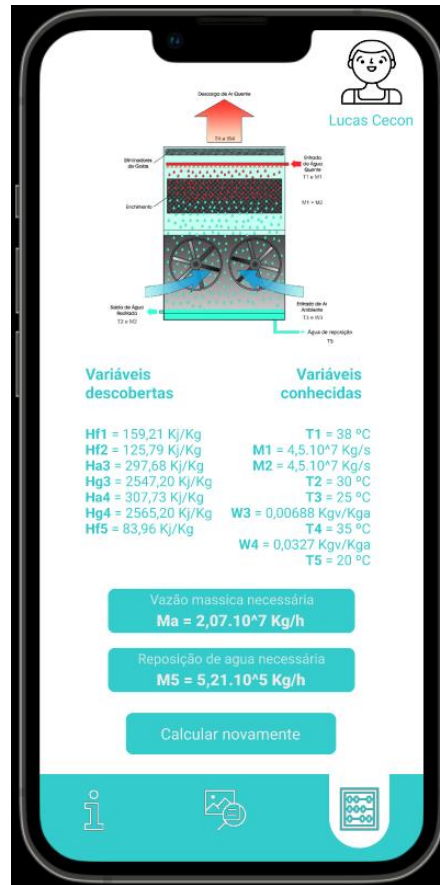
10.Figura 10 – Cadastro de informações

The screenshot displays a mobile application interface for data entry. At the top right, there is a user profile icon and the name 'Lucas Cecon'. Below this, the section is titled 'Variáveis conhecidas'. The interface contains several input fields with the following values and units: 38 °C, 4,5 $\frac{\text{Kg}}{\text{h}}$, 7 10^x , 30 °C, 25 °C, 0,00688 $\frac{\text{Kg.v}}{\text{Kg.a}}$, 35 °C, 0,0327 $\frac{\text{Kg.v}}{\text{Kg.a}}$, and 20 °C. A 'Calcular' button is located at the bottom of the form. The bottom navigation bar features three icons: a person, a chart, and a calculator.

Fonte: do autor. (2022)

Quando o usuário calcular as informações fornecidas, será direcionado para a última tela do aplicativo. Nessa tela poderá ver os resultados que foram encontrados pelo aplicativo e algumas variáveis que foram retiradas de tabelas (Figura 11). Como por exemplo: $Hf1$, $Hf2$, $Ha3$ e variáveis apresentadas na Equação (1) anteriormente apresentada.

Figura 11 – Dimensionamento



Fonte: Do autor. (2022)

4 CONCLUSÃO

As torres de resfriamento estão presentes em diversas indústrias para o resfriamento e manutenção de fluidos refrigerantes nos inúmeros processos de fabricação. É de suma importância o correto dimensionamento dos componentes responsáveis por esse processo, pois qualquer falha durante o projeto pode resultar em uma perda gigantesca de processos, materiais, produtos e, até mesmo, vidas.

Com o intuito de melhorar, simplificar e agilizar o processo de dimensionamento das torres de resfriamento do tipo úmida, o aplicativo desenvolvido atende aos requisitos propostos no início do planejamento: ser de fácil usabilidade, simplificar o processo e ser ágil nas tomadas de decisões de componentes para as torres.

Apesar do projeto estar na fase de prototipagem, os resultados foram como esperados, apresentando velocidade e confiabilidade nos resultados obtidos.

Para o protótipo ir ao ar e usuários de todo o mundo começarem a usar, faz-se necessário certo investimento, que não foi o foco do trabalho. Porém, pode-se citar alguns como divulgação, marketing, hospedagem, mantenedor e banco de dados. Com esse investimento, o aplicativo será exportado e sofrerá um pós-refinamento com linguagens de programação complementares para o seu pleno funcionamento, como React JS.

REFERÊNCIAS

- BEST, R.; RIVERA, W. A review of thermal cooling systems. *Applied Thermal Engineering*, Oxford, v. 75, p. 1162–1175, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.08.018>> Acesso em: 13 ago. 2022.
- Carvalho Filho, Pedro C331t *Termodinâmica* / Pedro Carvalho Filho. – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. 264 p.
- CUTILLAS, C. G.; RAMÍREZ, J. R.; MIRALLES, M. L. Optimum design and operation of an HVAC cooling tower for energy and water conservation. *Energies*, Paris, v. 10, n. 3, 2017.
- HE, S. et al. Comparative study on the performance of natural draft dry, pre-cooled and wet cooling towers. *Applied Thermal Engineering*, Oxford, v. 99, p. 103–113, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.060>>. Acesso em: 13 ago. 2022.
- He, S et al. Selection of wetted media for pre-cooling of air entering natural draft dry cooling towers. *Applied Thermal Engineering*, Oxford, v. 114, p. 857–863, 2017. Acesso em: 13 ago. 2022.
- KLIMANEK, A.; CEDZICH, M.; BIALECKI, R. 3D CFD modeling of natural draft wetcooling tower with flue gas injection. *Applied Thermal Engineering*, Oxford, v. 91, p. 824– 833, 2015. Acesso em: 13 ago. 2022.
- MA, H. et al. A new theoretical method for predicating the part-load performance of natural draft dry cooling towers. *Applied Thermal Engineering*, Oxford, v. 91, n. 2, p. 1106–1115, 2015. Disponível em: . Acesso em: 13 ago. 2022.
- MORAN, Michel J. *Princípios de Termodinâmica para Engenharia* / Michel J. Moran; tradução Francesco Scofano Neto – RJ: Ed. LTC livros técnicos e científicos S.A., 2002.
- NAIK, B. K.; MUTHUKUMAR, P. A novel approach for performance assessment of mechanical draft wet cooling towers. *Applied Thermal Engineering*, Oxford, v. 121, p. 14–26, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.042>> . Acesso em: 13 ago. 2022.
- RUIZ, J.; KAISER, A. S.; LUCAS, M. Experimental determination of drift and PM 10 cooling tower emissions: Influence of components and operating conditions. *Environmental Pollution*, Barking, v. 230, p. 422–431, 2017. Disponível em:<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026974911731120X>>. Acesso em: 13 ago. 2022.
- SADAFI, M. H.; JAHN, I.; HOOMAN, K. Nozzle arrangement effect on cooling performance of saline water spray cooling. *Applied Thermal Engineering*, Oxford, v. 105, p. 1061–1066, 2016. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.078>> . Acesso em: 13 ago. 2022.

SINGLA, R. K.; SINGH, K.; DAS, R. Tower characteristics correlation and parameter retrieval in wet-cooling tower with expanded wire mesh packing. *Applied Thermal Engineering*, Oxford, v. 96, p. 240–249, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.063>> . Acesso em: 13 ago. 2022.