

# CAPÍTULO I - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO NA AUTOMAÇÃO DE TORRES DE RESFRIAMENTO EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS

Denis Ricardo Selli<sup>1</sup>

Wesley Candido da Silva<sup>2</sup>

## RESUMO

Este estudo aborda a eficiência energética em torres de resfriamento de água localizado em uma empresa do ramo plástico no Paraná, onde utiliza-se a água como fluido de trabalho. O objetivo é fazer a automação nos ventiladores dessas torres de forma que possa ser feito o controle de velocidade das mesmas de acordo com a temperatura pré-estabelecida para resfriamento. A metodologia utilizada é o estudo de caso com a implementação na empresa citada, como resultado observou-se a diminuição do consumo mensurável de energia elétrica na torre, e conseqüentemente o aumento da vida útil não mensurável da torre de resfriamento.

**Palavras-chave:** Automação. Eficiência energética. Torres de resfriamento.

## ENERGY EFFICIENCY: CASE STUDY IN THE AUTOMATION OF COOLING TOWERS IN A PLASTIC PACKAGING INDUSTRY

### ABSTRACT

This study aims the energy efficiency in water cooling towers located in a Plastic Packaging company in Paraná, this company uses water as working fluid. The goal is to automate the fans of these towers so that speed control can be made according to the pre-set cooling temperature. The methodology used is the case study with the implementation in the mentioned company, in a way that results in a reduction in the consumption of electric energy in the towers, and consequently the increase in the useful life of the cooling tower.

**Key-words:** Automation. Energy efficiency. Cooling towers.

## 1 INTRODUÇÃO

---

<sup>1</sup> Graduando Tecnólogo em Manutenção industrial, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: [denis.selli@hotmail.com](mailto:denis.selli@hotmail.com)

<sup>2</sup> Especialista Engenharia de Automação Industrial, da Faculdade de Tecnologia do Senai Santa Catarina. E-mail: [wesley.candido@sistemafiep.org.br](mailto:wesley.candido@sistemafiep.org.br)

Atualmente a automação faz parte da tecnologia em uma indústria, tendo como base melhorias na produção, agilidade nos processos produtivos, competitividade além da confiabilidade dos produtos produzidos, entre outros fatores influenciam de forma positiva este processo.

Ao longo dos anos novas tecnologias aparecem e as indústrias devem estar atualizadas para que sempre possam ter melhorias em seus processos produtivos, com a junção da manutenção fazendo com que estas tecnologias possam ser aplicadas. Para isso exista, todo um investimento, tempo e mão de obra, que poderá ser elevado dependendo do equipamento que será automatizado.

Para Silveira e Santos (2007), com uma tecnologia mais avançada à necessidade de controles mais sofisticados na automação, tendo como base os controladores lógicos programáveis (CLP), que vieram para substituir controles mecânicos e que tinham um gasto em energia elétrica mais elevada e ocupavam mais espaço nos painéis entre outros. Com essa tecnologia a automação passa a ser controlada de forma que em processos variados informação da planta crie variáveis, para que sejam criadas ações proporcionais a tal variável, assim diminuindo o erro aumentando a confiabilidade e etc.

Em muitos processos produtivos, principalmente nas indústrias, utiliza-se de equipamentos que fazem o resfriamento da água, denominadas torres de resfriamento, na maioria dos casos usando a água como fluido de resfriamento.

A água faz a troca de calor com o processo de produção e logo após deve retornar a torre, pois será resfriada por um ventilador localizado na extremidade da torre para que daí possa seguir para um próximo passo, esta água irá para um equipamento que deixara ela em torno de 0°C a 5°C chamado de chiller, após isso retornara ao processo fazendo um ciclo contínuo.

Tendo como foco para este estudo a eficiência energética e a sustentabilidade visto que as indústrias são as que mais consomem energia elétrica em um país e necessitam de projetos para a diminuição do consumo de energia elétrica e água, propõe-se uma automação no sistema de resfriamento de uma torre localizada no Paraná, na unidade de uma indústria do ramo plástico em Londrina visto que o cenário atual mostra a importância na economia de energia elétrica e de nossas fontes hídricas.

O problema encontrado nessas torres e o fato de que os motores que fazem o resfriamento da água do processo trabalham de forma nominal, muitas vezes sem necessidade, acarretando no aumento no consumo de energia elétrica e uma maior evaporação da água. A proposta e que esses motores trabalhem de forma automatizada e

module sua velocidade de acordo com a temperatura da água e tendo um set point pré-estabelecido, visto que dias com menor incidência de calor este ventilador poderá trabalhar em uma rotação menor podendo até desligar automaticamente.

Com a automação neste equipamento poderá ter uma grande diminuição no consumo de energia elétrica e diminuição no consumo de água visto que este equipamento se utiliza de força motora para o resfriamento da água.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Eficiência energética**

Para Santos et al (2001) considerando que a energia elétrica está a todo momento em nossas vidas vemos a necessidade de investir em novas tecnologias e fontes alternativas, para podermos diminuir esse alto consumo que ao passar dos anos cresce gradativamente.

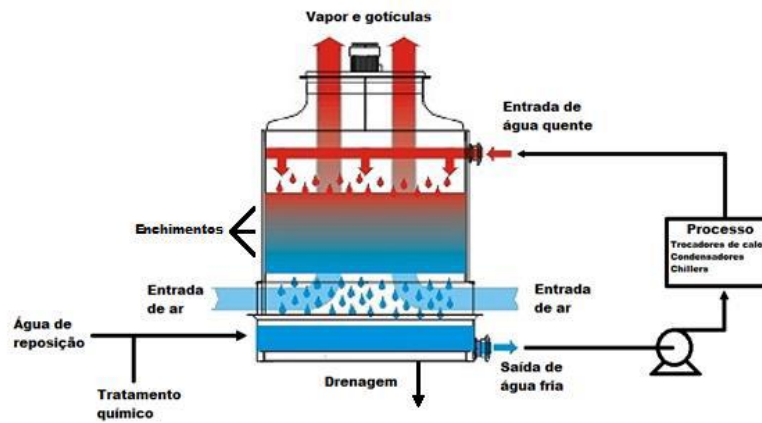
Para Santos et al (2001) a eficiência de um motor de indução é muito importante, pois motores em indústrias são os que mais consomem energia elétrica, tendo como base a eficiência dos motores procura-se aperfeiçoar processos indústrias para a diminuição no consumo de energia elétrica.

A indústria principalmente, a maior consumidora de energia elétrica de um país deve tomar medidas para observar fatores que levem ao desperdício de energia, e buscar modos para resolver esses desperdícios. Na maioria das vezes os próprios funcionários podem observar equipamentos e máquinas que poderiam diminuir o consumo de energia fazendo coisas simples em seus sistemas.

### **2.2 Torres de resfriamento**

A torre de resfriamento funciona de forma que recebe um fluido, que no caso é a água, que entra na torre com uma temperatura elevada, e ao passar pelo processo de resfriamento na torre sai com a temperatura especificada, dando assim entender que é conceituada a torre como a diferença da temperatura de entrada pela temperatura de saída, conforme mostrado na figura 1.

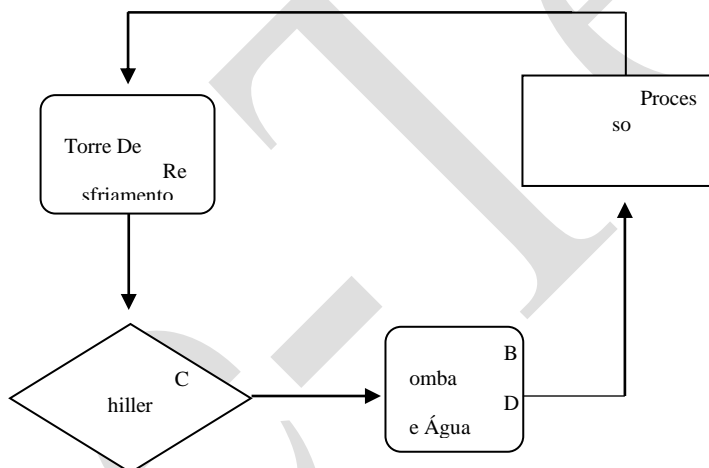
Figura 1 - Funcionamento de uma torre de resfriamento por tiragem mecânica



Fonte: Proficool (2017)

Neste estudo iremos abordar este tipo de torre, utilizada para resfriamento de água do processo de fabricação de uma empresa do ramo plástico onde utiliza a torre para a troca de calor da água com o processo produtivo conforme a figura 2.

Figura 2 – Tratamento de fluidos



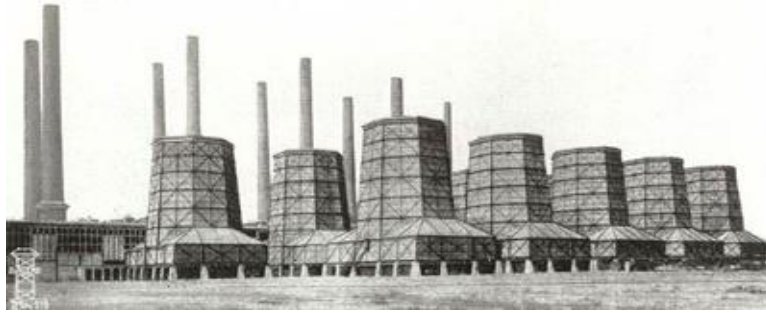
Fonte: Adaptado de Gasi (2017)

### 2.2.1 Histórico das torres de resfriamento

Para Balcke (1894) a primeira torre de resfriamento foi criada no ano de 1894 pelo engenheiro Hans Joachim Balcke com 12 metros de altura era uma inovação naquela época, dez anos depois já havia vendido 1.400 torres de resfriamento ao redor do mundo (apud SAMPAIO, 2013, p.14).

Para Balcke (1920) com o avanço da construção civil, Balcke construiu a maior torre de resfriamento de tiragem natural com capacidade de resfriar 43 mil m<sup>3</sup> de água por hora, conforme mostrado na figura 3 (apud SAMPAIO, 2013, p.15).

Figura 3 – Primeiras torres de alta capacidade de resfriamento em 1920



Fonte: Vettortorres (2017)

Para Balcke (1930) São construídas as primeiras torres de resfriamento por tiragem mecânica induzida nos EUA (apud SAMPAIO, 2013, p.15)

Para Marley (1943) Atualmente Marley SPX Cooling Technologies projeta e entrega sete torres de resfriamento de água para o projeto denominado Manhattan para a construção da primeira bomba atômica após segunda guerra mundial para o novo México, naquela época torres de resfriamento por tiragem natural era substituída por torres de tiragem mecânica, conforme mostrado na figura 4 (apud SAMPAIO, 2013, p.15).

Figura 4 – Torres por tiragem mecânica



Fonte: Flickr (2017)

Para Munters (1955) começa a desenvolver as primeiras torres com enchimento interno de papelão, e logo a seguir de PVC Policloreto de vinil, logo no mesmo ano com o avanço da tecnologia são introduzidas às primeiras torres por tiragem forçada nos EUA (apud SAMPAIO, 2013, p.15).

Para (Alpina 1986) São construídas as primeiras torres de resfriamento no Brasil pela empresa Alpina, com a capacidade de resfriar 33m<sup>3</sup>/3 horas, a partir de 2007 é criada a maior torre de resfriamento no Brasil conforme figura 5 (apud SAMPAIO, 2013, p.15).

Figura 5 – Torre de resfriamento



Fonte: Vettortorres (2017)

As torres começaram a serem maiores e mais eficientes conforme a figura 6, esta torre tem a junção de ser seco-úmida com ventilação induzida e forçada dando assim um maior resfriamento no seu fluido de trabalho.

### 2.2.2 Principais tipos

Os principais tipos de torres de resfriamento existentes podem ser classificados como;

- Torre com tiragem natural denominada (hiperbólicas)
- Torre com tiragem mecânica (induzida ou forçada)

### 2.2.3 Torres com tiragem natural

Para Sampaio (2013) as torres de resfriamento por tiragem natural são consideradas torres de grande porte, podendo chegar a 200 metros de altura e 100 metros de diâmetro, para sua eficiência ser alcançada dependem de lugares com um amplo espaço e com alta incidência de vento, pois diferentemente da torre por tiragem mecânica não utilizam de ventiladores para seu resfriamento, conforme a figura 6.

Figura 6 - Torre com tiragem natural denominada (hiperbólicas)



Fonte: Enacademic (2017)

Para Sampaio (2013) as torres de resfriamento por tiragem natural são consideradas torres de grande porte, podendo chegar a 200 metros de altura e 100 metros de diâmetro, para sua eficiência ser alcançada dependem de lugares com um amplo espaço e com alta incidência de vento, pois diferentemente da torre por tiragem mecânica não utilizam de ventiladores para seu resfriamento.

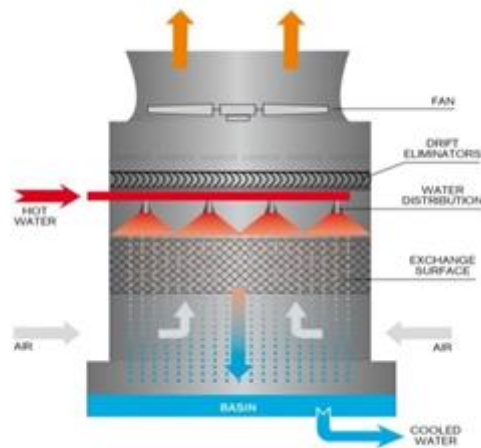
Estas torres trabalham de forma que recebem a brisa do vento por aletas encontradas na sua base, assim encontrando o fluido em seu interior tendo relação direta com essa brisa fazendo a troca de calor. Principais características:

- Resfriamento de grandes volumes de água.
- Baixo custo de energia elétrica.
- Pouca manutenção.
- Baixa eficiência no resfriamento.

#### **2.2.4 Torres com tiragem mecânica (induzida e forçada)**

Segundo Hamon (2017) São dois tipos de torres que usam ventiladores para o resfriamento do fluido interno da torre, denominas torres por tiragem mecânica induzida e forçada, para o melhor entendimento confira a Figura 7.

Figura 7 – Funcionamento da torre de resfriamento por tiragem mecânica induzida



Fonte: Hamon (2017)

Para Sampaio (2013) Com seu funcionamento bem simples consiste em receber o ar em suas aletas localizado na base, trocar calor no enchimento com a água que cai em pequenas gotas, chegando ao topo da torre e sendo jogada para fora fazendo com que a água quente evaporada da troca de calor saia e seja jogada para fora, utilizando o ventilador no topo conforme a figura 8.

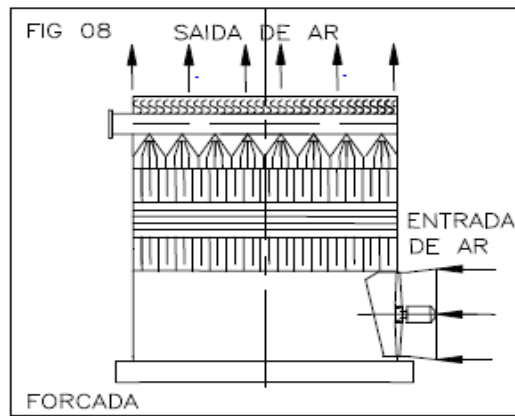
Figura 8- Torre de resfriamento por tiragem mecânica induzida



Fonte: Do autor (2018)

Para Sampaio (2013) As torres por tiragem mecânica induzida e forçada são as mais utilizadas nos dias de hoje em indústrias por ser pequenas mais ser eficientes e não necessita de grande incidência de vento comparado a torre por tiragem natural conforme figura 9.

Figura 9 – Funcionamento da torre de resfriamento por tiragem mecânica forçada



Fonte: Torres de resfriamento (2017)

Para Sampaio (2013) Com o mesmo propósito da torre de resfriamento por tiragem mecânica induzida, esta torre utiliza um ou mais ventiladores em sua base de forma que o ar entre com mais velocidade na parte interna da torre.

Figura 10 – Torre de resfriamento por tiragem forçada



Fonte: Spxcolling (2017)

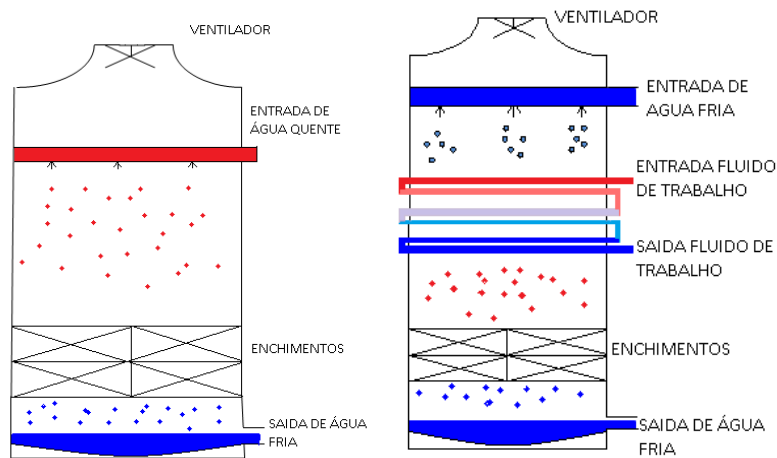
Para Sampaio (2013) Algumas torres utilizam mais de um ventilador, pois processos específicos que recebem o fluido com uma temperatura alta demandam mais ventilação para obter uma maior eficiência no resfriamento. Principais características:

- Grande eficiência no resfriamento.
- Não tem a necessidade de um grande fluxo de ar.
- Alto custo de energia elétrica.
- Custo inicial menor.

## 2.2.5 Torres de circuito aberto e fechado

As torres de circuito aberto e fechado são conhecidas como torres de resfriamento secas e úmidas.

Figura 11 - Torres de resfriamento de circuito fechado e aberto



Fonte: Adaptado de Sampaio (2013)

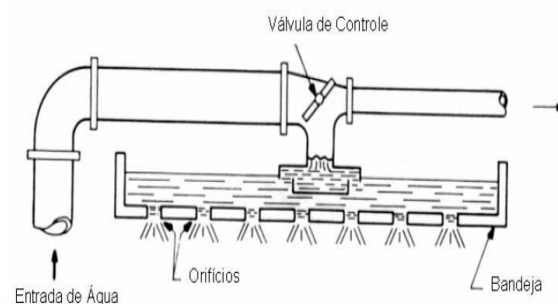
De acordo com a figura 11 vemos que as duas torres têm o mesmo propósito de resfriamento, a diferença de uma da outra e a forma de resfriamento, torres de circuito aberto utilizam seu fluido de trabalho em contato diretamente com o ar, diferentemente das torres do circuito fechado que o fluido de trabalho passa por uma serpentina que recebe um banho de água fria fazendo com que o fluido no seu interior saia com uma menor temperatura.

## 2.2.6 Formas de distribuição de água

Os sistemas de distribuição de água podem ser definidos em dois modelos:

- Distribuição por gravidade.
- Distribuição por pressão.

Figura 12 – Distribuição de água por gravidade

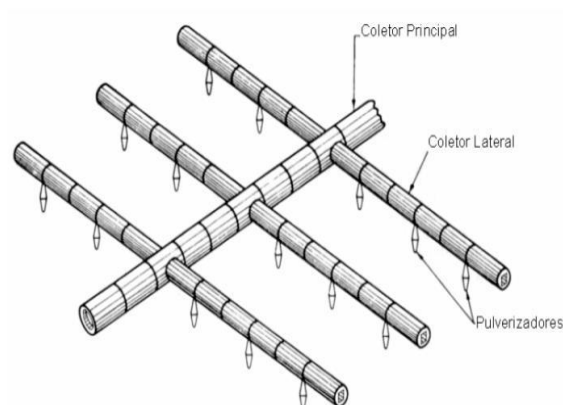


Fonte: Fabioferrazdr (2017a)

Sistemas de distribuição por gravidade são mais empregados aonde não se tem uma rede de bombeamento eficiente, por funcionar apenas com a força da gravidade.

São de fácil manutenção, mais em contrapartida são de baixa eficiência de fluxo de água por não ter uma maior dispersão da água.

Figura 13 – Distribuição de água por pressão



Fonte: Fabioferrazdr (2017b)

Necessitam de uma alta eficiência das bombas para levar a água para seus pulverizadores.

São de difícil manutenção, pois ao longo do tempo seus pulverizadores podem entupir e obstruir a passagem da água.

### 2.2.7 Enchimentos

Para Sampaio (2013) os enchimentos em torres de resfriamento são muito utilizados, apesar de terem ainda torres que não a utilizam, os enchimentos têm como finalidade distribuir água de forma uniforme, fazendo com que a troca de calor da água com o ar seja mais eficiente.

Os enchimentos podem ser divididos em dois tipos principais;

- De gotejamento ou respingo (splash fill) figura 14.
- De película ou laminar (film fill) figura 15.

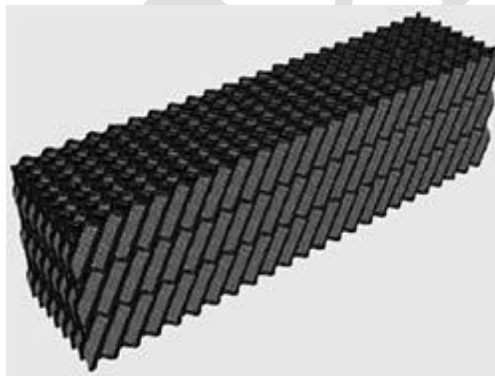
Figura 14 – Enchimento splash fill



Fonte: Vettor (2017)

Para Sampaio (2013) a função do enchimento splash fill é fazer com que se criem respingos ou gotejamentos, de forma que quanto menor os respingos forem maiores vai ser a troca de calor com o ar seco feito pelo ventilador.

Figura 15 – Enchimento film fill

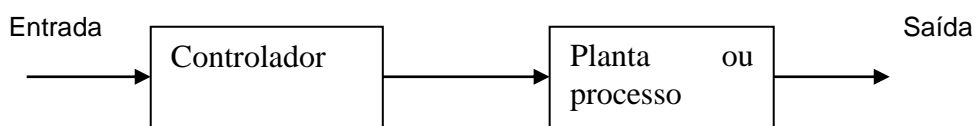


Fonte: Termoparts (2017)

Para Sampaio (2013) este tipo de enchimento é utilizado quando se quer obter um enchimento mais uniforme, o volume de resfriamento é maior comparado ao enchimento splash fill, porém demanda um volume de água constante para não ter descontinuidade em seu escoamento.

Para Franchi (2011) no controle de malha aberta, o controle não depende da saída, são criadas ações pré-determinadas, que ao final do processo deste sistema não se sabe se obteve êxito por não ter uma realimentação, diferentemente do controle em malha fechada que obtêm essa realimentação, conforme mostrado na figura 16.

Figura 16 – Configuração de controle em malha aberta



Fonte: Franchi (2011)

Este tipo de controle, é utilizado em sistemas que não requer um controle específico, por não ter um feedback o resultado final não é comparado com o controlador assim não obtendo respostas se aquela ação teve um resultado esperado.

### 2.3 Partida Eletrônica de Motores de Indução.

Para Peres (2011) a partida eletrônica tanto a soft-starter como utilizando inversor de frequência serve para dar uma partida e uma parada suave aos motores de indução, e dar possibilidades de controles mais robustos para várias aplicações.

#### 2.3.1 Motores de Indução Trifásicos

Segundo Peres (2011) é um equipamento alimentado em tensão alternada, transforma energia elétrica em torque mecânico na ponta do eixo, pode ser tanto de rotor bobinado quanto rotor gaiola de esquilo muito utilizado nas indústrias conforme mostrado nas figuras 17 e 18.

Figura 17 – Motor trifásico rotor gaiola de esquilo



Fonte: Grupoferron (2018)

Motores trifásicos com rotor gaiola de esquilo tem uma maior utilização na indústria por ser de fácil aplicação, manutenção e custo.

Figura 18 – Motor trifásico com rotor bobinado



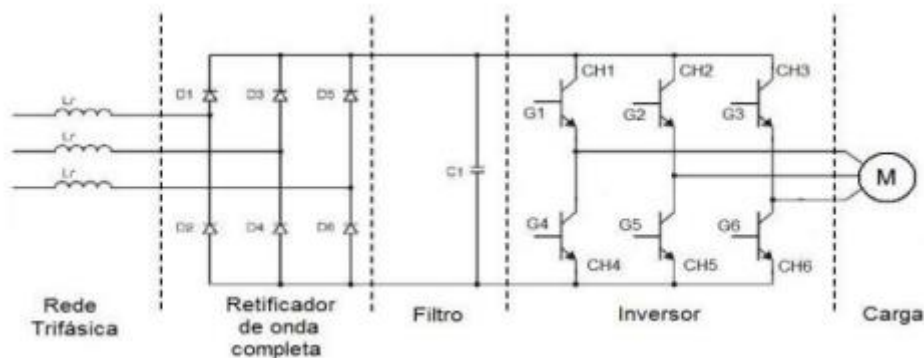
Fonte: Edibon (2018)

Motores trifásicos com rotor bobinado, ao contrário do motor com rotor gaiola de esquilo tem uma menor aplicação, custo de aquisição e manutenção altos.

### 2.3.2 Inversor de frequência

É um equipamento capaz gerar tensão trifásica e frequência ajustáveis. Opera transformada a tensão alternada, em contínua para após transformá-la em tensão de frequência e amplitude ajustáveis.

Figura 19 – Diagrama da chave de partida de um inversor de frequência



Fonte: Mascheroni (2018)

Os inversores de frequência são muito utilizados na indústria para diversos controles, porem esse equipamento possui um alto custo.

## 2.4 Automação e controle na indústria

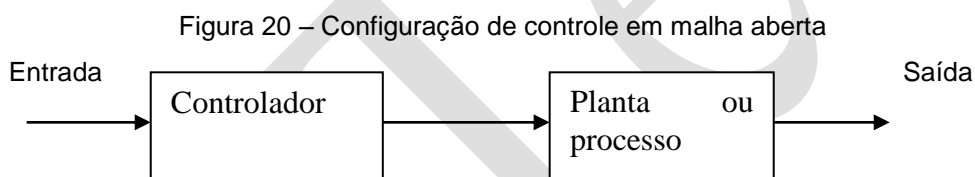
Para Silveira e Santos (2007) o conceito de automação é a junção de técnicas utilizadas em sistemas ativos que são capazes de atuar com o uso de informações

recebidas deste próprio sistema, utilizando um feedback para que sejam criadas ações de acordo com a referência da saída naquele exato momento, este tipo de conceito é chamado de malha fechada.

Para Heinen (2002) pode se definir um sistema de controle, como uma mudança de um determinado estado para outro, para chegar ao determinado estado dependerá de variáveis do ambiente que será feito o controle, logo podemos justificar o controle como a interação entre o ambiente e sistema a ser controlado, podendo utilizar-se de equipamentos para coletar dados e criar ações pré-determinadas.

### 2.4.1 Malha aberta

Para Franchi (2011) no controle de malha aberta, o controle não depende da saída, são criadas ações pré-determinadas, que ao final do processo deste sistema não se sabe se obteve êxito por não ter uma realimentação, diferentemente do controle em malha fechada que obtêm essa realimentação, conforme mostrado na figura 20.



Fonte: Franchi (2011)

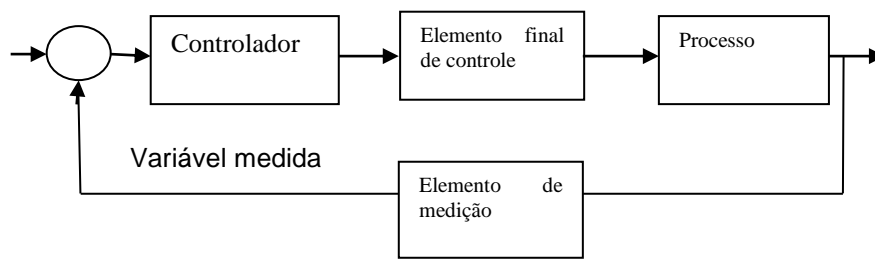
Este tipo de controle, é utilizado em sistemas que não requer um controle específico, por não ter um feedback o resultado final não é comparado com o controlador assim não obtendo respostas se aquela ação teve um resultado esperado.

### 2.4.2 Malha fechada

Para Franchi (2011) é o controle mais utilizado, também chamado de controle (feedback), pois ele colhe informação da variável do processo, e de acordo com o valor de set-point pré-estabelecido ele cria um erro e envia a um controlador a onde é feita uma ação de correção, como ilustrado na figura 21.

Figura 21 – Diagrama de blocos que representa a malha de controle fechada



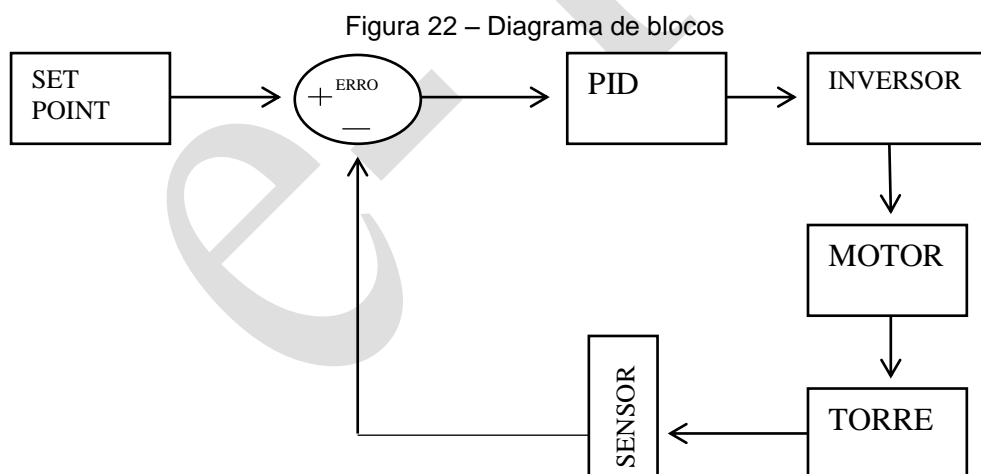


Fonte: Franchi (2011)

Neste estudo propõe-se utilizar este modelo de controle para obter um máximo controle no sistema, obtendo um feedback para que o processo trabalhe de forma que possa criar ações naquele determinado tempo.

### 3 METODOLOGIA

O propósito deste estudo de caso é a automação de um sistema com o controle de velocidade de um motor, que refrigera a água de uma torre de resfriamento conforme diagrama de blocos da figura 22, a torre de resfriamento está localizada em uma empresa do ramo plástico em Londrina (PR). Pretende-se diminuir o consumo de energia elétrica da torre de resfriamento.



Fonte: Do autor (2018)

Por meio de incentivos da empresa citada, o projeto foi aceito e foram requisitados os equipamentos para a automação, e posteriormente feito à instalação dos mesmos utilizando as metodologias ao longo do curso e carreira conforme figura 23.

Figura 23 – Processo de montagem do painel



Fonte: Do autor (2018)

O processo de montagem do painel que faz controle do motor demorou aproximadamente dois meses, a figura 24 demonstra o painel devidamente montado

Figura 24 – Painel finalizado




Fonte: Do autor (2018)

### 3.1 Equipamentos que foram utilizados para a automação

Motor de alto rendimento, conforme quadro 1.


Quadro 1 – Motor Weg

	<b>Motor Weg W22</b>
	<b>Tensão: 220/380 v</b>
	<b>Frequência: 60HZ</b>
	<b>RPM: 1800</b>
	<b>Eficiência: IR3 Premium</b>
	<b>Potência: 15cv</b>

Fonte: Weg (2013a)

Este motor será instalado na parte superior da torre de resfriamento. A instalação do inversor conforme o quadro 2 possibilitará o controle da rotação do motor do ventilador da torre.

Quadro 2 – Inversor de frequência

	<b>Inversor CFW-08</b>
	<b>Tensão: 380/480 v</b>
	<b>Frequência: 60HZ</b>
	<b>Potência: 11KW</b>

Fonte: Weg (2013b)

Será instalado um painel de controle principal do motor da torre, e no seu interior será instalado este inversor. Para fazer o controle de temperatura foi escolhido o controlador ilustrado no quadro 3.

Quadro 3 – Controlador de temperatura

	<b>Controlador Novus N1100</b>
	<b>Tensão: 100 a 240 vca</b>
	<b>Entradas: J, K, T, N, R, S, B, E, Pt100, 4-20 mA, 0- 50 mV</b>
	<b>Saídas: Relé SPST 3 A / 250 Vca, ou saída 4- 20mA</b>


Fonte: Novus (2017)

Este controlador possibilitará receber sinal do sensor pt100 localizado na torre a assim fazer o controle enviando sinal ao inversor utilizando a sua saída de 4-20mA.

Para definição dos valores de PI “proporcional e integral” foi utilizado o auto-tuning do controlador conforme manual do mesmo.

Com fácil aplicação em locais que demandam robustez o sensor TR10-H como mostra o quadro 4, pode ser instalado em locais com grande incidência de radiação solar e umidade sem ser danificado.

Quadro 4 - Sensor de temperatura

	<b>Sensor TR10-H</b>
	<b>Faixa de aplicação: -200°C a 600°C</b>
	<b>Tipo de sensor: PT100</b>
	<b>Proteção: IP65</b>

Fonte: Wika (2017)

O sensor de temperatura será instalado dentro do tanque de resfriamento.

Fazendo a interface entre o controlador de temperatura e o sensor de temperatura será instalado o transmissor a seguir.

### 3.2 Equipamentos que farão a medição de energia

Para fazer a medição da corrente, tensão do motor, rendimento etc. E posteriormente gerar gráficos de potência consumida será utilizado o equipamento conforme quadro 6.

Quadro 6 – Analisador de energia



Fonte: Do autor (2018)

O analisador será diretamente conectado as fases do motor, utilizando transformadores de corrente 3000/5A.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

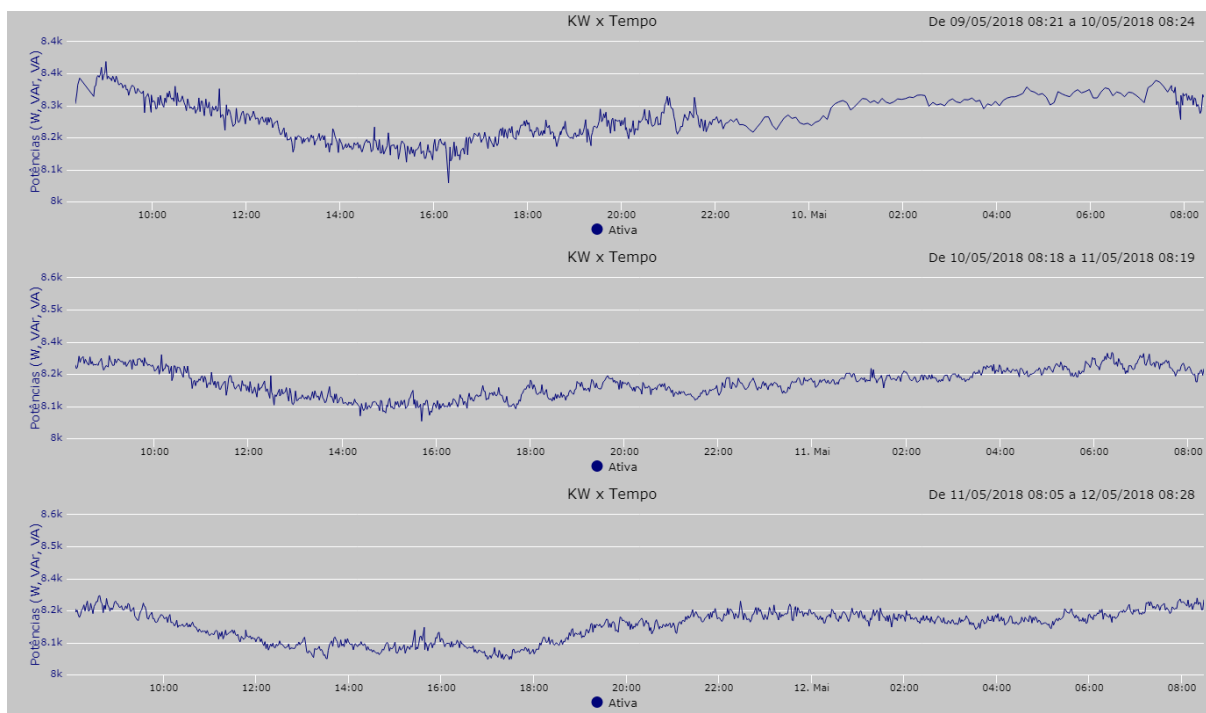
O presente trabalho tem o propósito de fazer a automação em uma torre de resfriamento na empresa anteriormente citada em funcionamento, tendo como resultado a diminuição do consumo de energia elétrica na torre.

Com base nos estudos aqui apresentados deve-se por meio de uma análise de dados coletados por um equipamento de análises elétricas, fazer um comparativo do sistema de resfriamento antes e depois de sua automação, diretamente com gráficos exportados do equipamento de medição demonstrando potências ativa, reativa e aparente em função do tempo de funcionamento.

## 4.1 Antes da automação

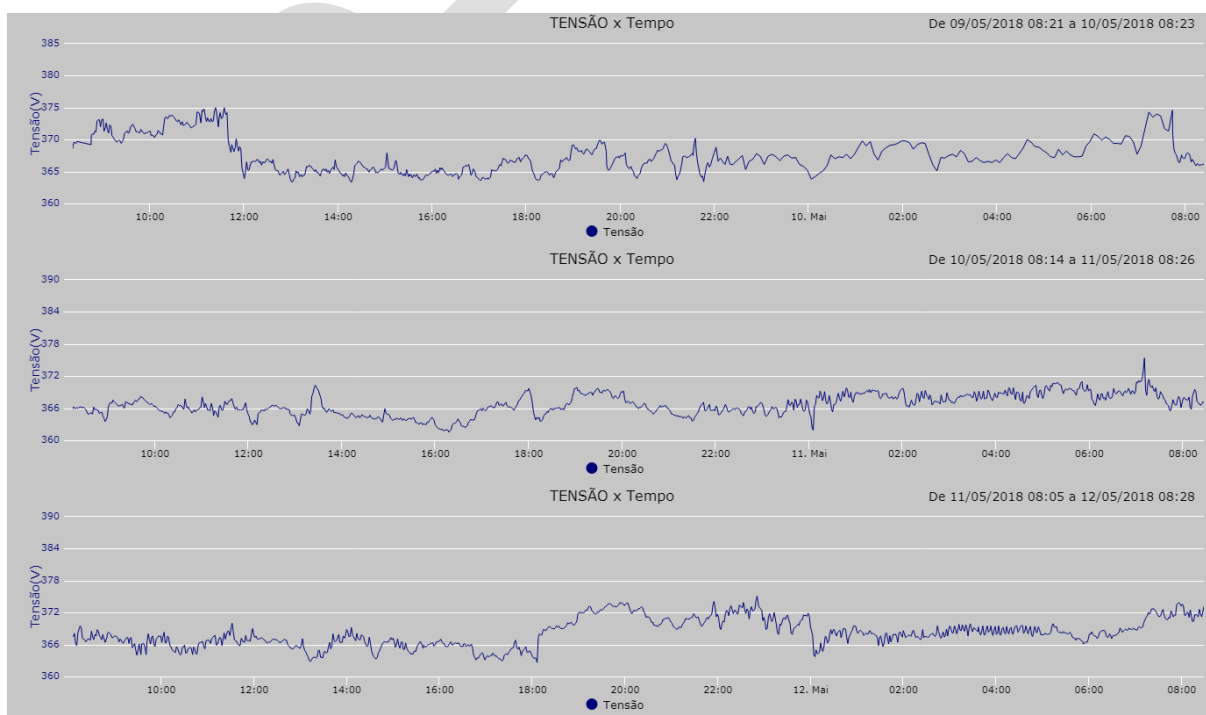
Foram coletados gráficos do analisador de energia dos dias 09/05/2018 “quarta-feira” ao dia 12/05/2018 “sábado”, assim demonstrando o funcionamento do motor muitas das vezes sem a necessidade.

Figura 25 – Kw x tempo



Fonte: Do autor (2018)

Figura 26 – Tensão x tempo

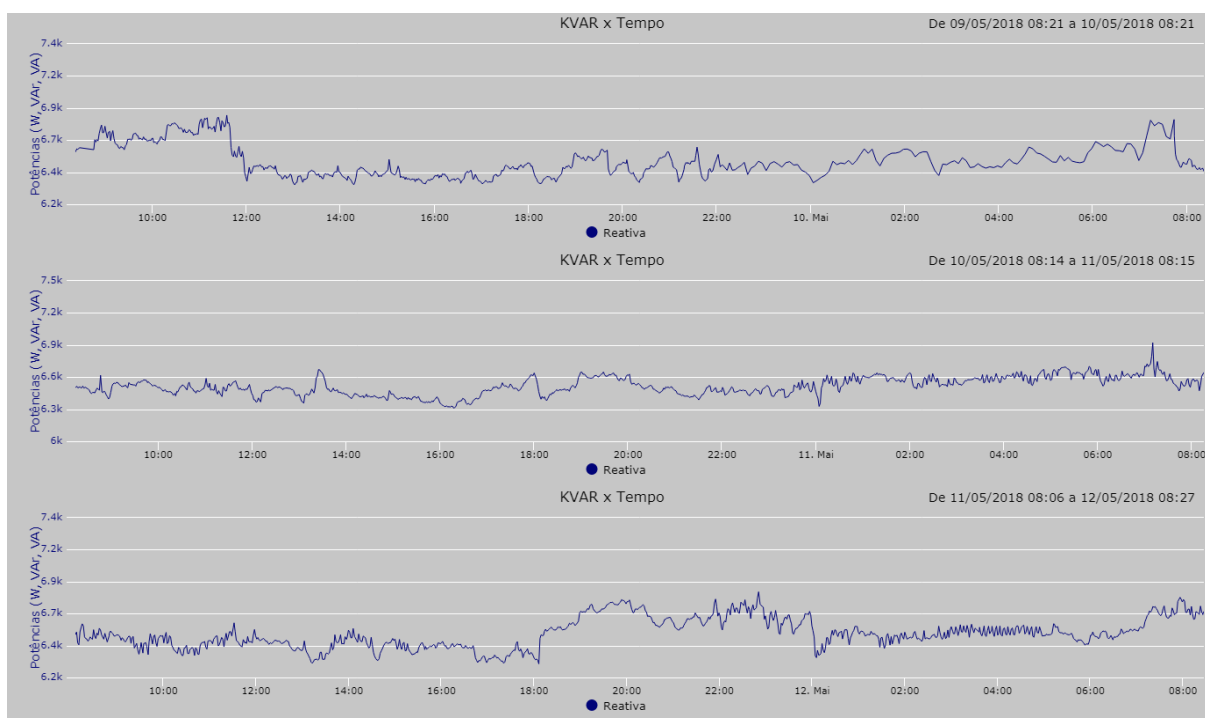


Fonte: Do autor (2018)

De acordo com a figura 24 verificou-se que a potência ativa consumida variou entre 8000w a 8400w.

Os gráficos são atualizados por minuto pelo próprio equipamento, de acordo com a figura 25, 26 e 27 notasse que no dia 09/05 as 22:00PM a 08:00AM do dia 10/05 o gráfico apresentou uma diferença, vista que a atualização ficou de 5 em 5 minutos, a princípio o computador que estava enviando as informações do analisador para a rede hibernou e ocasionou esta diferença.

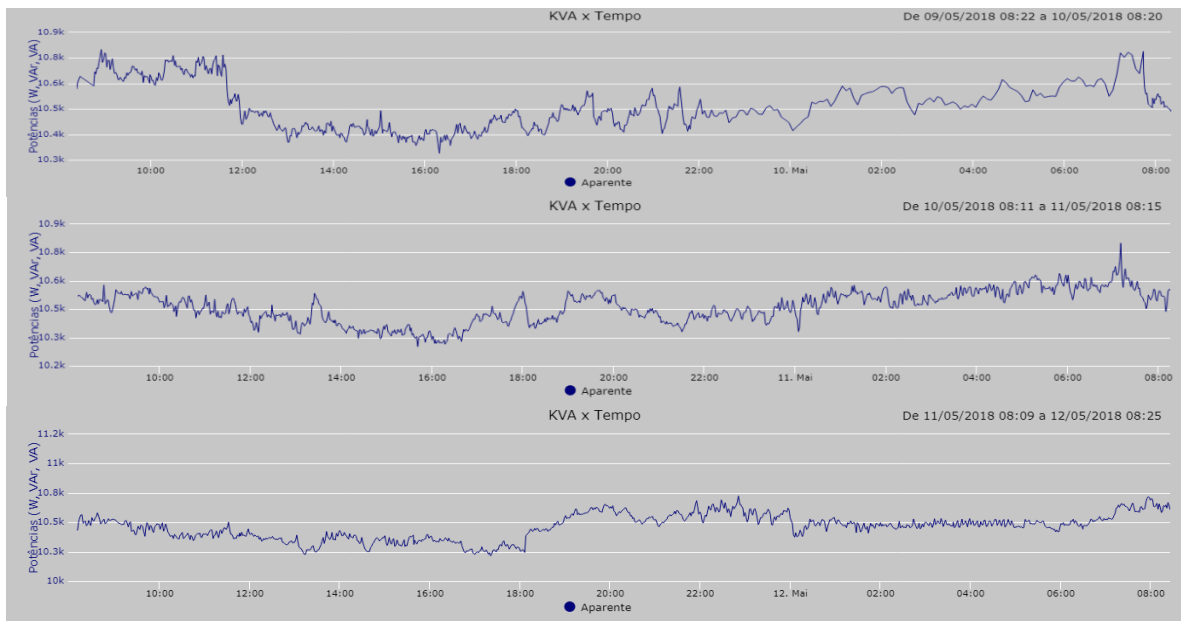
Figura 27 – KVAR x tempo



Fonte: Do autor (2018)

De acordo com a figura 27 verificou-se que a potência reativa consumida variou entre 6200var a 6900var.

Figura 28 – Kva x tempo



Fonte: Do autor (2018)

Quadro 7 – Consumo antes da automação

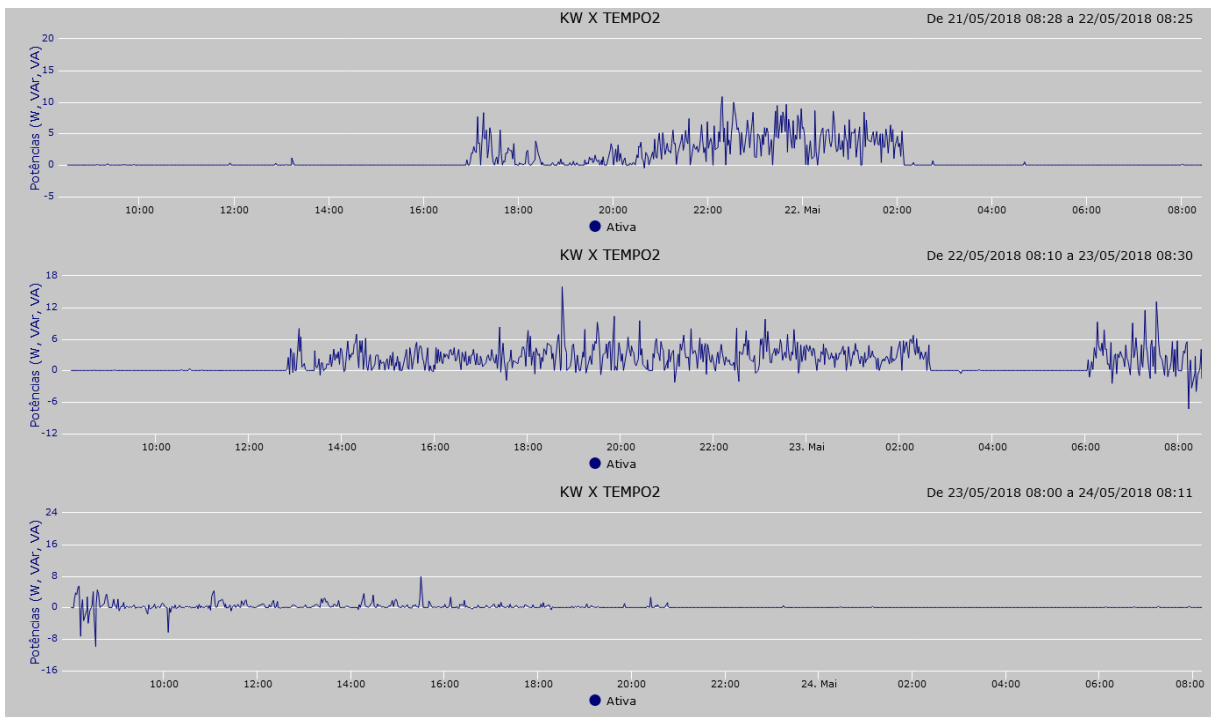
<b>Potência ativa consumida (w/h)</b>	<b>Funcionamento da torre (dias)</b>	<b>W/h consumido</b>
8300 w/h	1 dia	199,200 w/h
199,200 w/h	3 dia	597,600 w/h

Fonte: Do autor (2018)

## 4.2 Depois da automação

Foram coletados gráficos do analisador de energia dos dias 21/05/2018 “segunda-feira” ao dia 24/05/2018 “quinta-feira”, e demonstra nenhuma utilização do motor nestas datas, por motivo de não chegar à temperatura do valor de set-point, pois os dias que foram feitas as análises o ambiente estava com temperatura máxima de 23°C o motor não entrou em funcionamento.

Figura 29 – Kw x tempo

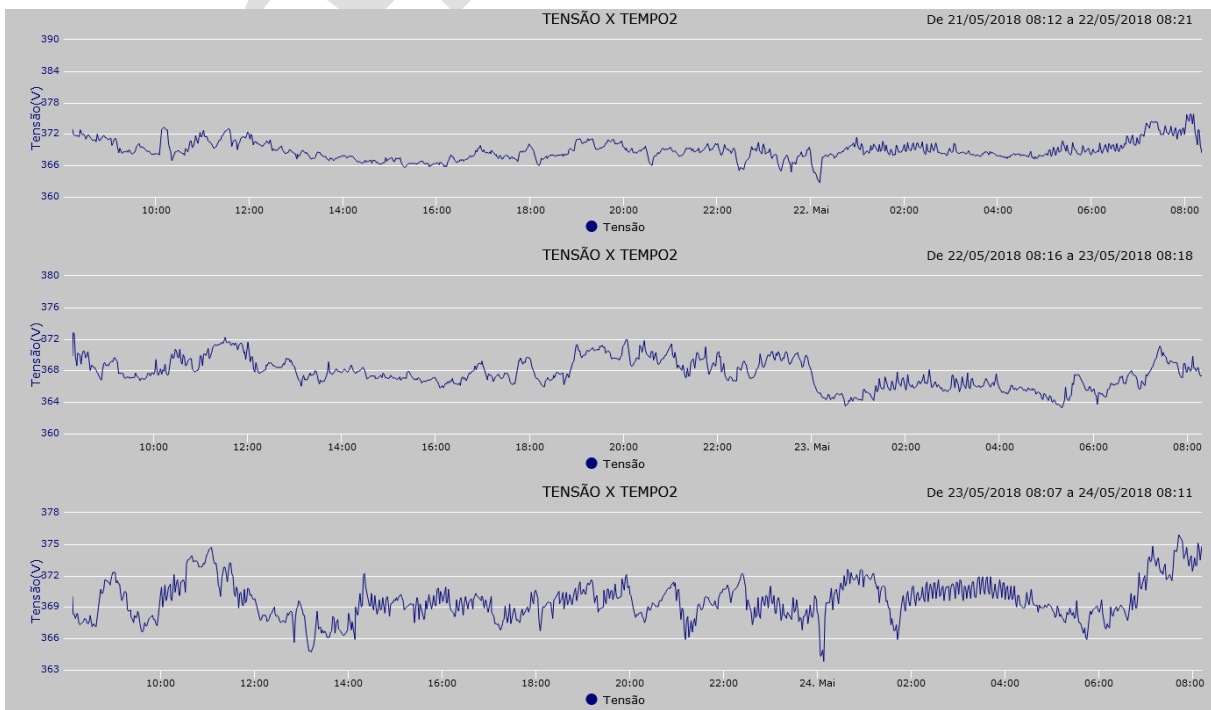


Fonte: Do autor (2018)

De acordo com a figura 28 verificou-se que a potência ativa consumida foi usada apenas para manter os componentes eletrônicos do inversor ligados variando de 0W a 12W.

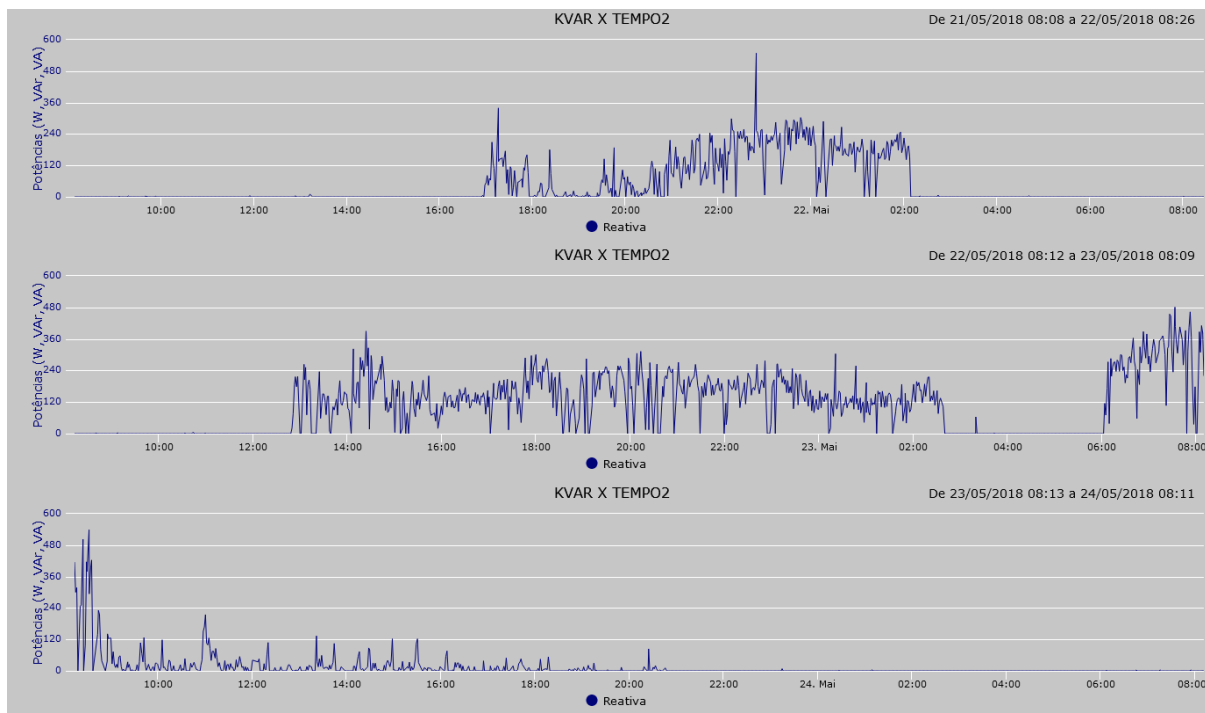
A figura 29 demonstra que a tensão variou de 364vac a 375vac, tensão que foi medida no ramal de alimentação do inversor de frequência.

Figura 30 – Tensão x tempo



Fonte: Do autor (2018)

Figura 31 – KVAR x tempo



Fonte: Do autor (2018)

Figura 32 – Kva x tempo



Fonte: Do autor (2018)

Quadro 8 – Consumo depois da automação

<b>Potência média consumida</b> <b>(w/h)</b>	<b>Funcionamento da torre</b> <b>(dias)</b>	<b>W/h consumido</b>
---	--	----------------------

12 w/h	1 dia	288 w/h
288 w/h	3 dia	864 w/h

Fonte: Do autor (2018)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se um resultado esperado, notando que o motor só irá ligar ao atingir a temperatura que foi setado para resfriamento, e em dias com temperaturas amenas ele irá ficar completamente desligado, sendo assim um controle eficaz que torna o sistema automático.

Como o presente trabalho teve os resultados colhidos em dias que a temperatura ambiente estava baixa, os resultados foram mostrados apenas com o motor desligado, para regulagens do controle do motor deve-se fazer em dias com temperaturas altas, para que possa ter um resultado satisfatório do funcionamento.

## REFERÊNCIAS

EDIBON. **Motor trifásico com rotor bobinado**. Disponível em: <<http://www.edibon.com/es/equipment/cut-away-asynchronous-three-phase-motor-of-wound-rotor>>. Acesso em: 17 maio 2018.

ENACADEMIC. Torre de tiragem natural ou hiperbólica. Disponível em: <<http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/392003>>. Acesso em: 07 maio 2017.

FABIOFERRAZDR. Distribuição de água por gravidade. 2017a. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/torres-de-resfriamento2.pdf>, figura 7>. Acesso em: 27 maio 2017.

FABIOFERRAZDR. Distribuição de água por gravidade. 2017b. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/torres-de-resfriamento2.pdf>, figura 8>. Acesso em: 27 maio 2017.

FLICKR. Torre de resfriamento por tiragem mecânica. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/grupoebx/7068748861/>>. Acesso em: 06 maio 2017.

FRANCHI, Claiton Moro. Controle de processos industriais: princípios e aplicações. São Paulo: Érica, 2011. 255p.

GASIL. **Tratamento de fluidos**. Disponível em: <<http://www.gasil.com.br/index.php/areas/industrial/tratamento-de-fluidos/#4>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

GRUPOFERMON. **Motor trifásico rotor gaiola de esquilo**. 2018. Disponível em: <<http://grupofermon.com/?product=mot-tf-10hp-motor-trifasico-de-10-h-p>>. Acesso em: 16 maio 2018.

HAMON. Funcionamento da torre de resfriamento por tiragem mecânica induzida. Disponível em: <[http://www.hamon.com.br/pt\\_BR/produtos/torres-de-resfriamento/sistema-de-resfriamento-umido/torres-de-resfriamento-de-tiragem-mecanica/tiragem-induzida](http://www.hamon.com.br/pt_BR/produtos/torres-de-resfriamento/sistema-de-resfriamento-umido/torres-de-resfriamento-de-tiragem-mecanica/tiragem-induzida)>. Acesso em: 21 maio 2017.

HEINEN, Farlei Jose. **SISTEMA DE CONTROLE HÍBRIDO PARA ROBOS MÓVEIS AUTÔNOMOS**. 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Computação Aplicada, Universidade do Vale do Rio de Sinos, São Leopoldo, 2002. Cap. 2.

LADISLAU DOWBOR (São Paulo) (Org.). Administrando a água como se fosse importante. São Paulo: Secac, 2005. 290 p.

MASCHERONI, José M.; LICHTBLAU, Marcos; GERALDI, Denise. **Guia de aplicação de inversores de frequência**. Santa Catarina: WEG Automação, 238p.

NOVUS. **Controlador de temperatura**. Disponível em: <[http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaolD=726281&Template;=../catalogos/layout\\_produto.asp&ProdutoID=504417](http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaolD=726281&Template;=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=504417)>. Acesso em: 27 maio 2017.

PERES, Antônio Daniel Catunda. **MÓDULO DE CONTROLE APLICADO À AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA**. 2011. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2011.

PROFICOOL. Torre de resfriamento. Disponível em: <[http://www.proficool.pl/?html\\_file\\_name=zasada-dzialania-chlodni](http://www.proficool.pl/?html_file_name=zasada-dzialania-chlodni)>. Acesso em: 06 maio 2017.

SAMPAIO, Franco Serighelli. **TORRE DE RESFRIAMENTO: MODELAGEM, SIMULAÇÃO E TESTES EXPERIMENTAIS PARA APOIO AO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA**. 2013. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, 2013.

SANTOS, Afonso Henrique Moreira et al. Conservação de energia: eficiência energética de instalação e equipamentos. 2. ed. Itajubá: Efei, 2001. 467 p.

SILVEIRA, Paulo Rogério da; SANTOS, Winderson Eugenio dos. Automação e controle discreto. 8.ed. São Paulo: Érica, 2007. 229p.

SPXCOOLING. Torre de resfriamento por tiragem forçada. Disponível em: <<http://spxcooling.com/images/fd-p02-b.jpg>>. Acesso em: 24 maio 2017.

TERMOPARTS. Enchimento film fill. Disponível em: <<http://www.termoparts.com.br/tp/>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

TORRE DE RESFRIAMENTO. Funcionamento da torre resfriamento por tiragem mecânica forçada. Disponível em: <<http://torresresfriamento.com.br/tr/19/torre-de-resfriamento-funcionamento/manual-de-funcionamento-de-uma-torre-de-resfriamento/>>. Acesso em: 21 maio 2017.

UTFPR, Banco de Dados. **Partida de motores com inversor de frequência**. Disponível em: <[http://paginapessoal.utfpr.edu.br/joaquimrocha/acionamento-eletronico-de-maquinas-eletricas/Acionamento\\_03\\_Motor\\_de\\_Inducao.pdf](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/joaquimrocha/acionamento-eletronico-de-maquinas-eletricas/Acionamento_03_Motor_de_Inducao.pdf)>. Acesso em: 17 maio 2018.

VETTOR. Enchimento splash fill. Disponível em: <<http://vettor.com.br/store/index.php/internos/enchimento-de-respingo-v-bar-1500-mm.html>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

VETTORTORRES. Torre de resfriamento. Disponível em: <<http://vettortorres.com.br/vettor/Home/Historia>>. Acesso em: 06 maio 2017.

WIKA. **Sensor de temperatura**. Disponível em: <[http://www.wika.com.br/tr10\\_h\\_pt\\_br.WIKA](http://www.wika.com.br/tr10_h_pt_br.WIKA)>. Acesso em: 17 maio 2017.

WEG. **Inversor cfw112013b**. Disponível em: <<http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia/CFW11>>. Acesso em: 17 maio 2017.

WEG. **Motor ir3 w22 premium2013a**. Disponível em: <<http://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-Elétricos/Trifásico---Baixa-Tensão/Eficiência-Energética/IR3-Premium/W22-WELL-IR3-Premium/W22-Well-IR3-Premium-15-cv-4P-132M-L-3F-220-380-V-60-Hz-IC411---TFVE---B3D/p/12805624>>. Acesso em: 17 maio 2017.

E-TEC