

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

RAFAEL AUGUSTO FIAMETTI

**ESTUDO DE CASO: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE
CLIMATIZAÇÃO POR ÁGUA GELADA**

MONOGRAFIA

CURITIBA

2018

RAFAEL AUGUSTO FIAMETTI

**ESTUDO DE CASO: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE
CLIMATIZAÇÃO POR ÁGUA GELADA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Msc. Alexandre Santos
Co Orientador: Prof. Leonardo Balcewicz

CURITIBA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA



TERMO DE APROVAÇÃO

Estudo de caso: Eficiência Energética em Sistemas de Climatização por Água Gelada

Por

RAFAEL AUGUSTO FIAMETTI

Esta monografia foi apresentada às **09 h** do dia **23/04/2018** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Campus Curitiba**. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho:

| | | |
|----------|--|---|
| 1 | | Aprovado |
| 2 | | Aprovado condicionado às correções Pós-banca, postagem da tarefa e liberação do Orientador. |
| 3 | | Reprovado |

Prof. Msc. Enerdan Fernando Dal Ponte
UTFPR - Examinador

Prof. Esp. Leonardo Balcewicz Junior
UTFPR – Examinador

Prof. Msc. Alexandre Fernandes Santos
UTFPR – Orientador

- A Folha de Aprovação assinada encontra-se arquivada na Secretaria Acadêmica -

AGRADECIMENTOS

À Deus, por permitir mais esta conquista e evolução como ser humano, embora o caminho tenha sido sinuoso, o destino apresenta-se suave e prazeroso.

À minha família, que durante os momentos de dificuldade apresentados no decorrer desta fase da minha vida, me apoiaram incondicionalmente.

Ao meu orientador, pela dedicação ímpar apresentada. Demonstrando sempre apoio, solidariedade e comprometimento.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

FIAMETTI, Rafael Augusto. **Estudo de Caso: Eficiência Energética em Sistemas de climatização por Água Gelada.** 2018. 43 f. Monografia Especialização em Eficiência Energética - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A eficiência energética em sistemas de climatização por expansão de água gelada ou de expansão indireta está intrinsecamente relacionada aos equipamentos que compõem os circuitos de climatização e a tecnologia empregada em sua fabricação identificada através de seu período de fabricação dos equipamentos. O tipo e modelo de equipamento utilizado e a tecnologia de fabricação definem o consumo final de energia elétrica. O estudo de caso visa demonstrar a viabilidade energética e econômica da modernização dos sistemas de geração de água gelada para climatização indireta de ambientes. Aplica-se o método de comparação dos resultados dos índices de performance dos sistemas que geram a água gelada para uso final em climatização atualmente instalados e os índices propostos para modernizar as instalações, sendo possível determinar o ganho energético e o investimento financeiro através do modelo matemático da ANEEL, bem como seu breve retorno financeiro através do cálculo do pay back. Os resultados obtidos, na ordem de 16% ao ano demonstram os benefícios financeiros para o usuário, após a aplicação da metodologia e da modernização e atualização tecnológica dos sistemas de condicionamento ambiental por água gelada.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Índices de Performance. Climatização.

ABSTRACT

FIAMETTI, Rafael Augusto. Case study: Energy Efficiency in Cold Water Cooling Systems. 2018. 43p. Monograph of Specialization in Energy Efficiency - Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2018

The energy efficiency in systems of air conditioning by expansion of cold water or indirect expansion is directly related to the equipment that compose the air conditioning circuits and the technology determines the last consumption of electric energy. The case study aims to demonstrate the energy and economic viability of the modernization of the systems for the generation of cold water indirect enclosure air conditioning. The method of comparison of the results of the performance indexes of the systems that generate the chilled water for the last use in air conditioning currently installed and the proposed indexes to modernize the installations is applied, being possible to determine the energy gain and the financial investment through the mathematical model of ANEEL, as well as its brief financial return through the calculation of the pay back. The results obtained demonstrate the benefits to the user, after applying the methodology and the modernization and technological update of the systems of environmental conditioning by ice water.

Keywords: Energy Efficiency. Performance Indices. Air Conditioning.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 OBJETIVOS | 10 |
| 2.1 PROBLEMA | 10 |
| 2.2 GERAL | 12 |
| 2.3 ESPECÍFICOS | 12 |
| 2.4 JUSTIFICATIVA | 12 |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA | 13 |
| 3.2 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO INDIRETA | 17 |
| 3.3 UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR – FAN COIL | 18 |
| 3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA | 19 |
| 3.5 EVAPORADORES | 21 |
| 3.6 CHILLER | 22 |
| 3.6.1 Eficiência Energética do <i>Chiller</i> | 24 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 4.1 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR | 29 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 36 |
| 6 CONCLUSÃO | 41 |
| REFERÊNCIAS | 42 |

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável das atividades humanas e a subsequente implantação de processos mais eficientes estão se tornando realidade, década após década. Tais atitudes estão intimamente ligadas à visão crítica da sociedade, bem como a aspectos econômicos, sociais e ambientais. Assim, os atuais sistemas de produção dos diversos setores da economia devem adaptar-se às novas tecnologias, tornando-se atividades que demandem de menos recursos naturais, mantendo os mesmos níveis de produção, tornando-se mais eficientes e contribuindo para o desenvolvimento sustentável. (REIS, 2005).

Na atualidade, a busca por uma melhor eficiência energética ou desempenho energético eficaz, tem sido cada vez mais intensa, pelo fato de que os recursos energéticos estão cada vez mais escassos e pelo custo elevado para o uso final da energia elétrica.

O consumo energético de uma nação estruturada, possui vários fins, sendo que as edificações consomem grande parcela da energia gerada. Dentre os principais consumidores das edificações, destacam-se os sistemas de climatização. (CAMPANHOLA, 2015).

As edificações contemplam as estruturas existentes para diversas finalidades, podendo ser industriais, comerciais e residenciais.

Nos Estados Unidos, as edificações consumiram 41% do total de energia primária no ano de 2010, por uso final a climatização foi responsável por 50% do total de energia que chega as edificações (DOE, 2012).

Dentre os principais custos com energia nas edificações, podemos citar os custos com a climatização dos ambientes devido a busca crescente pelo conforto térmico dos ocupantes ou segurança de produtos manipulados. A escolha de um melhor sistema de climatização, que mais se adequa ao tipo e uso da edificação em que será utilizado, respeitando sempre as restrições construtivas da edificação já construída, tem um papel muito importante para o aumento da eficiência do sistema, (CAMPANHOLA, 2015).

Além disso, as condições psicrométricas internas e externas, e a tecnologia aplicada aos sistemas de climatização interferem diretamente em sua eficiência energética.

Edificações com alguns anos de construção, apresentam equipamentos de climatização com tecnologia ultrapassada, que podem apresentar a seleção e os dimensionamentos de carga térmica inadequados além de rendimentos energéticos inferiores aos sistemas atualmente disponíveis no mercado.

O presente estudo de caso poderá proporcionar o aumento da eficiência energética total de um sistema de climatização determinado, e por consequência a redução do consumo de energia elétrica da indústria, tendo como premissas que o dimensionamento do sistema pode apresentar falhas quanto ao cálculo térmico e os equipamentos que compõe a climatização possuem índices de rendimento energético ultrapassados.

2 OBJETIVOS

As perdas de energia elétrica podem ocorrer de diversas formas nas instalações elétricas das edificações, desde um simples superaquecimento de contatos elétricos por inexistência de manutenção preventiva ou a falta de limpeza, a falta de controle da qualidade da energia elétrica até equipamentos com dimensionamentos inadequados ou uso inadequado dos equipamentos, tecnologia ultrapassada, entre outros fatores.

A tecnologia é um dos principais motores do desenvolvimento econômico e social, o rápido avanço da tecnologia em todo o mundo transformou não só a nossa maneira de pensar, mas também a forma como agimos. (MOREIRA, 2017).

Por meio das ações de eficiência energética é possível melhorar e aumentar a competitividade da indústria, reduzir as perdas energéticas é utilizar o recurso energético com consciência e assertividade. Podendo desta forma usufruir de maneira adequada os avanços tecnológicos proporcionados.

Não é preciso dizer que praticamente todas as tecnologias funcionam com eletricidade e, portanto, a demanda de eletricidade aumentará rapidamente. (IEA, 2016).

Com este cenário se não houver a aplicação de técnicas e tecnologias adequadas que visam a redução do desperdício e o uso racional de energia elétrica para uso final, é provável que a demanda energética brasileira seja superior a oferta, o que poderá gerar transtornos ao desenvolvimento socioeconômico brasileiro, falta de fornecimento em algumas regiões do país entre outros transtornos.

Uma das formas de redução do desperdício é a análise das instalações industriais existentes, com o intuito de identificar oportunidades de racionalizar o uso da energia elétrica e reduzir o consumo das edificações industriais.

2.1 PROBLEMA

Sistemas de condicionamento de ar possuem constante evolução quanto a eficiência de componentes e materiais que são fabricados, proporcionando melhores índices de conversão de energia elétrica em energia térmica, sendo assim, quanto

mais antiga for a estrutura de ar condicionado, maior será a quantidade de energia elétrica que será gasta para realizar o trabalho.

Na climatização a eficiência está diretamente atrelada a tecnologia disponível e o sistema a ser utilizado para a climatização. (MOREIRA, 2017).

(POVOA, 2014), define que o coeficiente de performance avalia o rendimento de um equipamento de refrigeração, relacionando a capacidade de remoção de calor (energia útil ou efeito frigorífico) à potência requerida pelo compressor.

O fluido refrigerante utilizado deve gerar um coeficiente de performance elevado porque o custo de operação está essencialmente relacionado a este coeficiente. (UNIFEI, 2012).

Ainda (UNIFEI, 2012), uma forma bastante usual de indicar a eficiência de um equipamento frigorífico é relacionar o seu consumo, com a capacidade frigorífica.

É evidente que a melhora dos índices de eficiência energética de máquinas térmicas (*chiller*) está diretamente relacionada ao fluido refrigerante utilizado pelo equipamento. Quanto mais moderno o fluido utilizado, melhor serão os índices energéticos.

Os *Chillers* que foram concebidos antes do período de desafio à eficiência energética, que teve seu início nos anos 1990 e se intensificou com o estabelecimento do Protocolo de Kyoto, apresentam coeficientes de eficiência energética baixos. (MMA, 2016).

Atualmente, os *Chillers* padrões disponíveis no mercado possuem índices de eficiência de pelo menos 30% superiores aos *Chillers* padrões fabricados naquela época, utilizando CFC ou HCFC. (MMA, 2016).

Neste estudo foi identificada uma instalação em funcionamento desde 2005 sem modernização tecnológica ou melhorias nos sistemas, que utilizam fluido refrigerante HCFC, tornando-se possível a aplicação da metodologia de análise proposta para minimizar o consumo geral das instalações de condicionamento de ar através dos rendimentos energéticos do *Chiller*.

2.2 GERAL

O objetivo geral da pesquisa é identificar e destacar pontos de desperdício de energia elétrica e expressar a redução do consumo deste recurso através da adequação de carga térmica das edificações definidas em relação a capacidade de refrigeração do resfriador de líquido (*Chiller*), e efetuar a comparação dos índices de eficiência energética dos equipamentos atualmente instalados e dos equipamentos propostos para a modernização do parque fabril.

2.3 ESPECÍFICOS

- Identificar os principais pontos de redução do consumo de energia elétrica;
- Definir a carga térmica ideal para os sistemas de geração de água gelada, através dos dados coletados em campo;
- Definir e adequar equipamentos e componentes tecnologicamente superiores em eficiência energética para realizar o mesmo trabalho com uso inferior de energia elétrica;
- Simular o consumo de energia elétrica se aplicadas as sugestões de adequação e modernização tecnológica;
- Demonstrar os resultados da redução do consumo de energia elétrica realizando o comparativo entre o cenário atual e o cenário proposto, através da metodologia aplicada pela ANEEL.

2.4 JUSTIFICATIVA

O estudo de caso definido após a constatação, na indústria estudada, algumas instalações de condicionamento de ar centrais, composta por *Chiller* e *Fan Coil* com a expansão indireta de água gelada e com data de início das operações da instalação superior a dez anos o que potencializa o uso inadequado de energia elétrica nos sistemas de geração de frio para climatização.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A eficiência energética em sistemas de resfriamento por água gelada está atrelada a diversos equipamentos. As características destes equipamentos interferem diretamente no rendimento total e no consumo de energia elétrica total do sistema de climatização.

3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O assunto eficiência energética ganhou destaque no cenário mundial principalmente depois da crise do petróleo da década de 1970 quando se percebeu que a queima de combustíveis fósseis tem custos econômicos e ambientais crescentes. (PÓVOA, 2014).

Dessa forma, ações e movimentos da sociedade progridem na direção do aumento da eficiência dos diversos processos usados no dia a dia da população mundial. (MOREIRA, 2017).

Induzidos, muitas vezes pelas mudanças tarifárias, mudanças climáticas ou consciência ambiental, demonstrada através de processos de certificações de edificações.

(PÓVOA, 2014), de acordo com as estimativas realizadas a partir do balanço de energia útil, os setores residencial, industrial e de transportes oferecem mais da metade do potencial de eficiência energética no Brasil.

Para que se possa efetuar a análise energética de forma concisa, é necessário conceituar eficiência energética, que segundo o (GUIA PRÁTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2014), pode ser entendida como a obtenção de um produto ou serviço com baixo uso de energia.

Eficiência energética pode ser compreendida como sendo a redução dos desperdícios e uso da energia de forma racional. Ela é determinada pela relação entre a energia consumida ou recebida pela energia produzida. (MANUAL DE ECONOMIA DE ENERGIA, 2010).

A energia utilizada de maneira adequada seja para a manufatura de produtos ou para garantir conforto térmico e luminoso de edificações, promove o desenvolvimento e crescimento econômico de uma sociedade.

Para o (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2017), eficiência energética são as ações que visam diretamente a redução dos custos relativos a energia, a eficiência energética deve ser aplicada a todas as fases da cadeia energética que engloba da geração ao consumo final.

Um processo que utiliza a energia elétrica de forma adequada com a finalidade de obter um produto ou garantir condições de conforto e considerado pode ser considerado eficiente energeticamente, e pode ser obtida pela relação entre a quantidade de energia utilizada no processo e a quantidade de energia disponibilizada para o processo.

Em (MOREIRA, 2017), eficiência energética é definida como toda e qualquer ação que pode promover a redução do consumo de energia elétrica sem alterar o nível do serviço ao qual se destina.

Eficiência energética é a relação entre a quantidade final de energia utilizada e a quantidade de um bem qualquer produzido ou serviço realizado. (PÓVOA, 2014).

De forma geral a eficiência energética é a capacidade de transformar um bem material ou de proporcionar conforto de forma satisfatória aos usuários dos ambientes, consumindo a menor quantidade de energia possível, sem comprometer o processo ou produto que sofreu a ação de transformação.

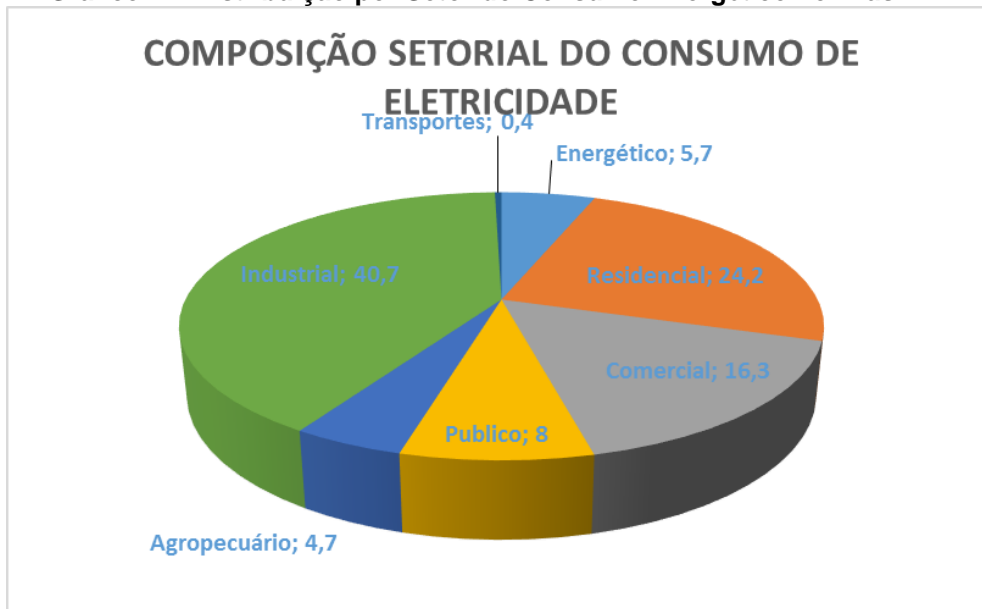
Inúmeros processos industriais requerem condições específicas de controle do ambiente, entre os quais pode-se citar ambientes hospitalares específicos (centros cirúrgicos, alas de transplante de medula óssea, entre outros), salas de manipulação de medicamentos (por exemplo antibióticos), montagem de circuitos elétricos. (GODOY, 2013).

Por característica econômica e climática, o Brasil utiliza-se de instalações de refrigeração para congelamento de produtos alimentícios em grande escala e sistemas de climatização indiretos de grande porte para adequar ambientes de uso coletivo a gradientes de temperatura e umidade relativa de conforto adequados, ou quando necessário, efetuar o tratamento do ar que estará em contato direto com produtos manufaturados.

Com base no balanço energético nacional (MME, 2014), pode-se avaliar a contribuição de cada setor da sociedade para o consumo energético total brasileiro,

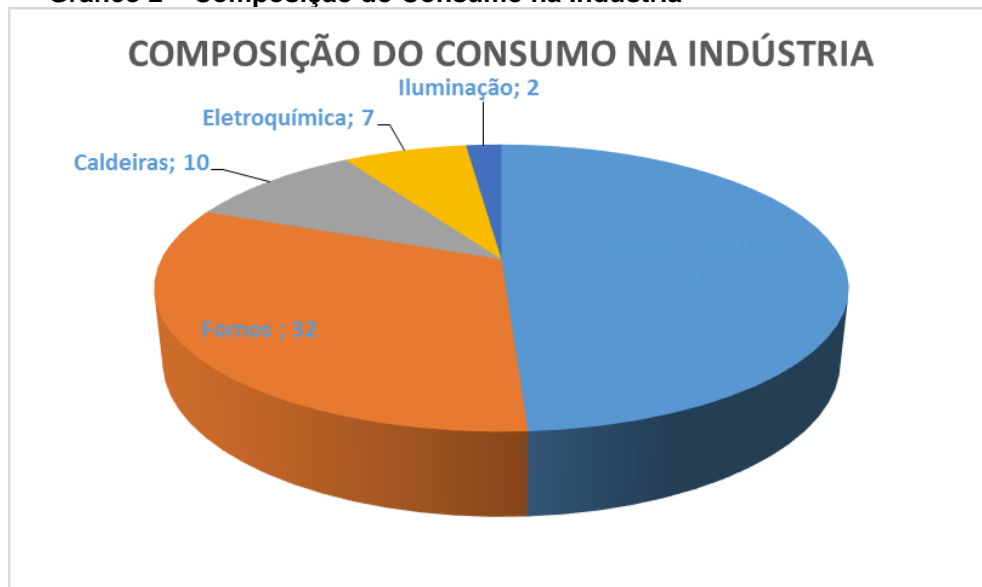
no qual o setor industrial representa 40,7% do total do consumo (Gráfico 01). Onde os motores elétricos possuem grande impacto, chegando a 49% deste consumo. (MOREIRA, 2017). (Gráfico 02).

Gráfico 1 – Distribuição por Setor do Consumo Energético no Brasil



Fonte: Moreira (2017)

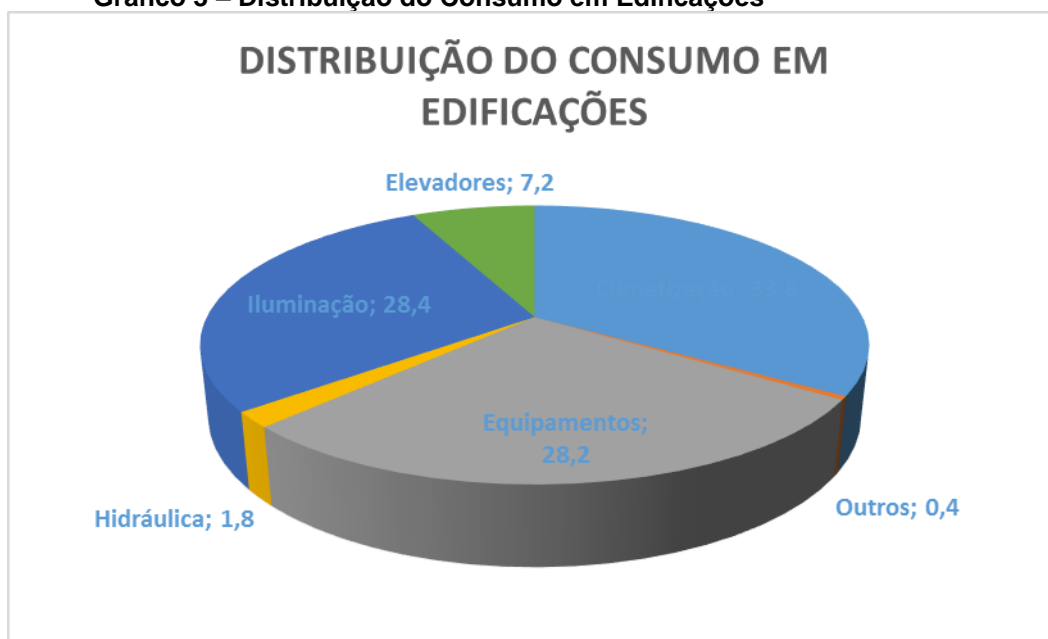
Gráfico 2 – Composição do Consumo na Indústria



Fonte: Moreira (2017)

Avaliando o perfil de consumo de uma edificação comercial típica, constata-se que os motores elétricos estão presentes em vários usos finais de energia elétrica e podem representar em torno de 49 % do consumo total em edificações (Gráfico 03). (MOREIRA, 2017).

Gráfico 3 – Distribuição do Consumo em Edificações



Fonte: Moreira (2017)

Conforme apresentado no gráfico, a climatização atinge 33,8% do consumo de energia elétrica nas edificações, e cabe salientar que os sistemas de grande porte, por expansão direta ou indireta do fluido refrigerante, possuem em praticamente todas as etapas do processo, motores elétricos de potências nominais variadas.

Estes motores elétricos possuem interferência direta no rendimento dos equipamentos de climatização bem como os fluidos refrigerantes apresentados.

A energia elétrica é elemento substancial para o desenvolvimento econômico e social de um país organizado, o uso industrial adequado, racional e eficiente deste recurso favorece o crescimento e desenvolvimento, econômico, social e tecnológico da indústria. No uso final destinado a indústria há maneiras e técnicas onde é possível identificar pontos de desperdício de energia elétrica e propor o melhor aproveitamento deste recurso.

Para compreendermos e identificarmos os alvos com potencial de redução as possíveis ações de eficiência energética, se faz necessário conhecer os sistemas de climatização a serem abordados, na sequência do estudo, serão detalhados os equipamentos que compõe o sistema de climatização em estudo.

3.2 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO INDIRETA

Alguns sistemas de climatização, usualmente utilizados para o conforto de ambientes residenciais e comerciais de pequeno porte são de simples conceituação e análise.

Os sistemas de expansão direta são empregados para instalações de pequenas e médias, como exemplo citam-se residências e consultórios, e os de expansão indireta, para grandes instalações, indústrias, shoppings centers. (GODOY, 2013).

Entretanto os sistemas de condicionamento de ar por água gelada, são sistemas de expansão indireta com condensação a ar ou água, possuem grande capacidade de resfriamento e são compostos principalmente por duas partes, que são o *Chiller* e o *fan Coil*. (CAMPANHOLA, 2015).

Os sistemas de climatização por expansão indireta através de água gelada e resfriadores de líquido (*Chiller*), tem sua composição baseada em dois circuitos de fluido refrigerante distintos, onde:

- Primário – onde há a circulação do fluido refrigerante e ocorre a produção do frio, (resfriadores de líquido ou *Chiller*);
- Secundário – onde há a circulação do fluido que irá portar o frio gerado (água, salmoura, ou solução alcoólica), até os equipamentos que realizarão as trocas térmicas com o ambiente climatizado definido (*fan Coil*).

O sistema de ar condicionado tipo expansão indireta é composto por um conjunto de equipamentos interligados, compreendendo o gerador de água gelada (*Chiller*), os climatizadores (*fan coil*) e bombas de circulação de água gelada.

Os sistemas do tipo expansão indireta são os sistemas de água gelada, que utilizam as unidades resfriadoras de líquido – os *Chillers* – como equipamentos do processo de refrigeração. Os condicionadores de ar típicos são as unidades *Fan Coil* (Ventilador e Serpentina) ou unidades de tratamento de ar (AHU – *Air Handling Units*). (MMA, 2016).

Nos sistemas indiretos de grande porte, o fluido refrigerante natural (amônia) ou halogenado (CFC Clorofluorcarbono, HFC - Hidrofluorcarboneto, HFO - Hidrofluorolefina ou HCFC - Hidroclorofluorcarbons) não entram em contato com o ambiente a ser climatizado. Estes sistemas também são conhecidos como sistemas de HVAC (*Heating, Ventilation and air Conditioning* – Aquecimento, ventilação e ar

condicionado), amplamente utilizados em ambientes de grande porte, indústrias alimentícias e farmacêuticas, áreas limpas, hospitais e ambientes onde a qualidade do ar é fator decisivo a qualidade do processo ou produto.

3.3 UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR – FAN COIL

Os sistemas centrais de condicionamento de ar, possuem alguns componentes específicos, dentre eles os *fan coil*, que apresentam características diferenciadas conforme sua aplicação e uso final.

Essas unidades são compostas por um ventilador e serpentina, de onde vem seu nome, assim o ar que passa através da serpentina é resfriado e usado para climatizar os ambientes. As unidades *fan coil* podem ser instaladas diretamente no ambiente a ser climatizado ou em casa de máquinas, tendo o ar insuflado nos ambientes através de dutos. (CAMPANHOLA, 2015).

Estas unidades de climatização, além de efetuar os tratamentos das condições psicrométricas do ar e efetuar o deslocamento mássico de ar, possuem elementos que realizam a filtragem e garantem a pureza e limpeza do ar insuflado, deixando apto a ser insuflado nas áreas definidas.

Para o (SISTEMA NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI, 2017), os *fan coil* são condicionadores de ar de grande porte, constituídos em sua essência por ventiladores centrífugos, filtros, uma serpentina e uma bandeja para a coleta de condensado. As serpentinas destes condicionadores podem variar de acordo com o tipo e aplicação e do funcionamento da instalação, podendo estas serem alimentadas por água quente ou água fria, de acordo com a finalidade.

Para (MOREIRA, 2017), os equipamentos destinados a distribuição, filtragem do ar acrescido da devida renovação de ar de cada ambiente, com a finalidade de garantir a qualidade do ar em ambientes climatizados, podem ser denominados de *fan coil* ou unidades de tratamento de ar.

Em termos de definição de *fan coil* ou unidades de tratamento de ar, a (NBR 16.401-1, 2008) define que as unidades de tratamento de ar são unidades montadas em fábrica, em gabinetes ou montadas in loco, comportando todos ou parte dos elementos necessários ao processo de condicionamento de ar, ou seja, ventiladores,

filtros de ar, serpentinas de resfriamento ou desumidificação por meio de expansão direta ou água gelada e dispositivos de aquecimento e umidificação que podem ser fornecidos por fontes de calor internas ou de unidades geradoras externas.

O *fan coil* é o equipamento responsável por efetuar o tratamento do ar a ser insuflado nos ambientes climatizados definidos, normalmente são compostos pelos ventiladores que deslocam o ar, as serpentinas de resfriamento e aquecimento para tratamento da temperatura do ar ou as resistências de aquecimento para controle de umidade relativa, as baterias de filtragens para garantir a pureza do ar e a estrutura mecânica para sustentação de todo o conjunto de componentes que caracterizam o sistema de climatização.

Nestes equipamentos é possível efetuar a regulação do ar e o balanço da quantidade adequada de ar a ser insuflada nos ambientes e a taxa de renovação de ar estabelecida em projeto, para o cumprimento a legislação e qualidade e segurança dos produtos e dos operadores.

Outro elemento essencial para a climatização através de *fan coil*, são os elementos que deslocam o ar, o próximo tópico abrange estes equipamentos, desde sua forma construtiva até as suas aplicações.

3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

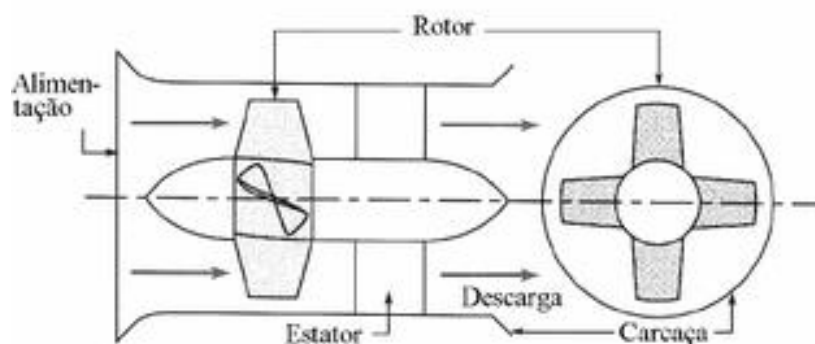
Dentre todos os equipamentos que compõem o *fan coil*, podemos descrever os ventiladores como indispensável ao cumprimento do objetivo de climatizar um determinado ambiente.

O ventilador pode ser considerado como uma bomba de ar funcionando de modo a poder vencer as pressões de resistência impostas pelo sistema de dutos e demais equipamentos. (CREDER, 2009).

Os ventiladores, segundo a (TRANE, 1980), é uma máquina capaz de produzir uma corrente de gás e que tem seu funcionamento baseado nos mesmos princípios de uma bomba ou compressor centrífugo. A diferença entre ventiladores e bombas se manifestam de forma simples, a distinção dar-se-á pelas pressões, sendo que os ventiladores são máquinas de pressão mais baixas, enquanto as máquinas de pressão mais altas são denominadas de compressores.

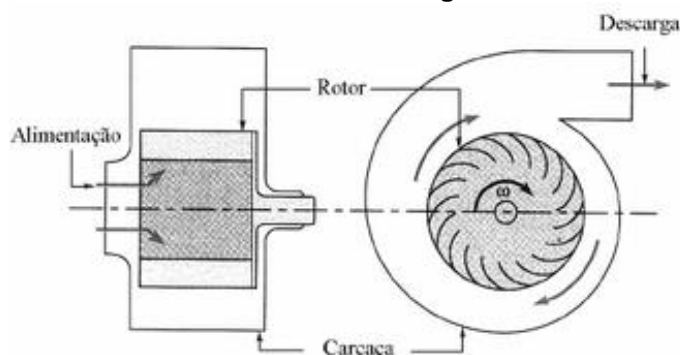
Os ventiladores ou geradores de fluxo, trabalham apenas com fluidos no estado gasoso, e provocam um diferencial de pressão entre a sua entrada e sua descarga. Estes níveis de pressão sofrem alteração de acordo com as formas construtivas dos rotores dos equipamentos. Rotores axiais proporcionam o escoamento do fluido deslocado de forma paralela ao eixo enquanto os ventiladores de construção radial impõem ao fluido o escoamento perpendicular ao eixo, conforme as ilustrações a seguir.

Figura 1 – Rotores Axiais



Fonte: Munson (2004)

Figura 2 – Rotores Radiais ou Centrífugos



Fonte: Munson (2004)

A potência de acionamento dos ventiladores é oriunda dos motores elétricos acoplados em seus eixos, (CREDER, 2009), cita que a potência elétrica dos motores é cerca de 20% maior que a potência do ventilador.

A transmissão da potência mecânica disponibilizada pelo eixo do motor ao rotor do ventilador pode ser realizada de maneira direta, com acoplamento direto entre os eixos ou através de elementos mecânicos de transmissão, por exemplo polias e correias.

Na sequência do tratamento de ar dentro do *fan coil*, encontramos as serpentinas de troca térmica.

3.5 EVAPORADORES

Estes componentes atuam de forma a efetuar a troca térmica entre o fluido refrigerante ou portador do frio e o fluido (ar) que é deslocado para dentro do ambiente definido a ser climatizado.

As serpentinas ou evaporadores/condensadores é o componente dos sistemas de climatização onde ocorre a troca de calor entre o ambiente e o fluido refrigerante, estas dividem-se em duas categorias, as de expansão direta e as de expansão indireta. (TRANE, 1980).

(MILLER, 2014), cita que o evaporador de serpentina é utilizado em armazéns para refrigerar grandes áreas e o evaporador com aletas é empregado no sistema de condicionamento de ar. O evaporador aletado possui um ventilador que insufla ar sobre suas finas superfícies metálicas.

Esta característica é evidente nos equipamentos abordados neste estudo, em cada um há o ventilador que efetua o deslocamento da massa de ar dentro do circuito de climatização efetuando a troca térmica entre o ar tratado ou de processo e as serpentinas/evaporadores.

O evaporador absorve o calor de outro fluido, que pode ser o ar ou a água, e o calor se transfere do fluido com temperatura maior para o com temperatura menor. (SILVA, 2014).

As serpentinas ou evaporadores, são estruturas moldadas com tubos de cobre ou aço inoxidável e aletas em alumínio ou aço inox, conforme a aplicação, são responsáveis por efetuar a troca térmica do fluido secundário (neste estudo a água) com o ar em movimento, provocado pelo deslocamento de massa de ar dos ventiladores, estes elementos têm finalidade de alterar a temperatura e umidade relativa dos ambientes, conforme a sua finalidade.

Já nos resfriadores de líquido (*chiller*) que serão descritos a frente, as serpentinas efetua as trocas térmicas com o ambiente externo, onde uma serpentina irá transferir o calor absorvido dos ambientes climatizados para o fluido refrigerante do *Chiller*, e uma segunda serpentina irá expurgar este calor para o ambiente externo, finalizando o ciclo de refrigeração.

3.6 CHILLER

Para poder gerar o frio e transferir para o fluido secundário, se faz necessária a presença de equipamentos de refrigeração como um resfriador de líquido ou *chiller*, estes componentes fazem a troca térmica entre o fluido secundário e o ambiente externo, retirando calor do fluido que circula no *fan coil* e que absorveu o calor dos ambientes climatizados e dissipando-o para os ambientes exteriores.

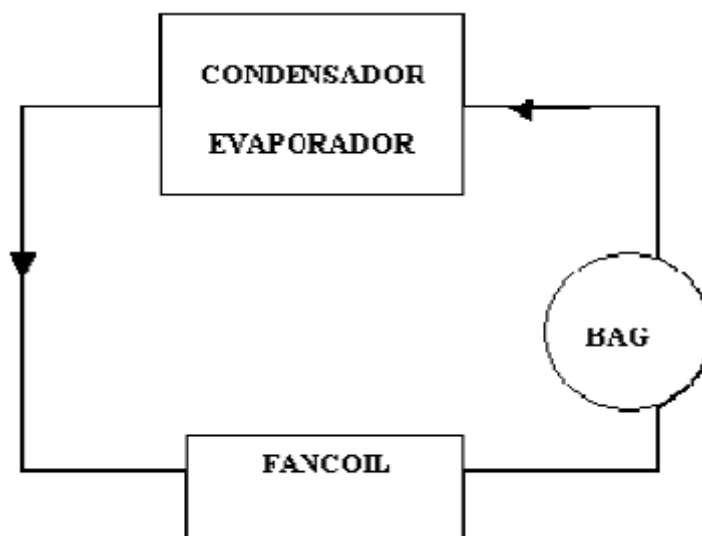
Essa dissipação de calor pode ser realizada através da condensação a ar, ou através de torres de resfriamento.

Chiller também chamados de resfriadores de líquido com condensação a ar ou condensação através de torres de resfriamento através de água e ar podem ser construídos com compressores alternativos ou centrífugos. Estes equipamentos compõem uma parte do sistema central de água gelada sendo esta resfriada pelo resfriador de líquido e posteriormente bombeado para os *fan coil* ou unidades de tratamento de ar. (MOREIRA, 2017).

O *chiller* é o equipamento responsável por produzir a água gelada que será utilizada para a refrigeração dos ambientes, ou seja, nada mais é que a unidade evaporadora do sistema em que a água troca de calor com o fluido refrigerante, diminuindo a sua temperatura. A condensação do fluido refrigerante pode ser a ar ou a água, nesse caso necessitando de uma torre de arrefecimento para a água. A água gelada produzida pelo *chiller* é bombeada através de bombas de recalque até os consumidores, as unidades *fan coil*. (CAMPANHOLA, 2015).

No *Chiller* a ar, os resfriadores de líquido possuem circuito frigorífico igual aos condicionadores de ar de expansão direta, com a diferença que ao invés de resfriar o ar em uma serpentina, possuem no evaporador um trocador de calor para resfriamento de líquido, normalmente água. (GODOY, 2013).

Figura 3 – Representação Esquemática da Climatização com *Chiller*



Fonte: Godoy (2008)

Os resfriadores de líquido são empregados para resfriar soluções de salmoura ou água. Estes fluidos resfriados alimentam através de tubos os evaporadores. Isto resfria a área onde os evaporadores estão localizados. Este tipo de resfriamento, utilizando água gelada ou salmoura, podem ser empregados em grandes unidades de ar condicionado. (MILLER, 2008).

Ainda (MILLER, 2008), resfriadores de líquido, *Chiller*, são utilizados para resfriar água para fins de resfriamento do ar.

O deslocamento do volume de água resfriada para os evaporadores e serpentinas é efetuado por um sistema de bombas de água gelada (BAG) que mantém este fluido em constante circulação, promovendo a troca térmica entre as serpentinas dos evaporadores e as serpentinas do *Chiller*.

O sistema de refrigeração (normalmente um *Chiller*) resfria o fluido secundário (água ou outro fluido em caso de temperaturas abaixo de 0,0°C) que circula no sistema de água gelada com a utilização de bombas, e o fluido secundário resfria o processo final. (MMA, 2016).

O *Chiller* é uma máquina que sai de fábrica pronta para operar e que utiliza um circuito frigorígeno (ciclo de refrigeração mecânica) para produzir água gelada ou salmoura (*brine*). O resfriador é o coração de qualquer sistema de condicionamento de ar, uma vez que cumpre uma função essencial entre a captação e a rejeição de calor da edificação. (SILVA, 2013).

Os chamados *Chillers* (termo em inglês para estas unidades, amplamente utilizado no Brasil), que são equipamentos com ciclo de refrigeração completo, em circuito fechado, montados em base compacta única (*skid*) e que necessitam apenas de interligações hidráulicas (com os circuitos de bombeamento de água gelada e água de resfriamento, quando aplicável) e interligações elétricas para se integrarem ao sistema. (MMA, 2016). Tem sua eficiência energética definida por padrões internacionalmente definidos.

3.6.1 Eficiência Energética do *Chiller*

Para um determinado *Chiller*, a eficiência energética desde o projeto e durante a sua vida útil operacional depende de característica dos componentes, tais como a eficiência do compressor, a eficácia dos trocadores de calor e das características dos fluidos de refrigeração, dos fluidos secundários e do fluido de rejeição de calor (água ou ar). (MMA, 2016).

A medida de eficiência energética destes equipamentos é medida através de índices fornecidos pelos fabricantes ou através de relação matemática entre as potências elétricas e de refrigeração. Estes índices de referência de eficiência energética são o COP (Coeficiente de Performance) e o IPLV (*Integrated Part Load Value* – Valor Integrado de Carga Parcial).

Estes equipamentos que efetuam o resfriamento do fluido secundário de refrigeração, possuem sua eficiência energética diretamente ligada ao seu coeficiente de performance. Para se obter maior eficiência do sistema, se faz necessária o uso de equipamentos que apresentem um coeficiente de performance maior, nesta situação quanto maior for o valor deste coeficiente melhor será a eficiência do equipamento. Na climatização a eficiência está diretamente atrelada a tecnologia disponível e o sistema a ser utilizado para a climatização. (MOREIRA, 2017).

Ainda (MOREIRA, 2017), a relação matemática para o cálculo do COP é a potência térmica retirada do ambiente em quilowatt (KW) dividido pela potência elétrica consumida pelo sistema de refrigeração também em quilowatt (KW).

Para a norma (AHRI 210/240, 2017), COP é uma proporção da capacidade de refrigeração ou aquecimento em watts e os valores de entrada de energia também em watts.

O COP é definido pela ASHRAE, 2009, como sendo:

$$COP = \frac{\text{Energia util}}{\text{Energia gastada}} = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{W}_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

A norma (ASHRAE 189.1, 2009), ainda sugere os níveis mínimos do COP em função do tipo de sistema e à sua capacidade de resfriamento. Para este estudo de caso a recomendação da normativa é um COP mínimo de 2,8 (KW/KW) para qualquer capacidade de resfriamento, visto a abordagem de um sistema de resfriamento de líquido com condensação a ar, conforme tabela abaixo.

Tabela I – COP para Sistemas de Climatização

| Tipo do Sistema | Capacidade | COP |
|--|----------------------|------------|
| Sistemas Locais Unitários de Expansão Direta | Até 65.000 Btu/h | 3,3 |
| Resfriador com Condensador a Ar | Todas as Capacidades | 2,8 |
| | Até 75 TR | 4,2 |
| Resfriador com Torre de Resfriamento e Compressor Alternativo | ≥75TR < 150TR | 4,5 |
| | ≥150TR < 300TR | 5,2 |
| | >300TR | 5,7 |
| | Até 150 TR | 5,6 |
| Resfriador com Torre de Resfriamento e Compressor Centrífugo | ≥150TR < 300TR | 5,6 |
| | ≥300TR < 600TR | 6,1 |
| | >600TR | 6,2 |
| Resfriadores por Absorção de Simple Efeito com Condensação a Ar | Todas as Capacidades | 0,6 |
| Resfriadores por Absorção de Simple Efeito com Torre de Resfriamento | Todas as Capacidades | 0,7 |
| Resfriadores por Absorção de Duplo Efeito com Queima Indireta | Todas as Capacidades | 1,0 |
| Resfriadores por Absorção de Duplo Efeito com Queima Direta | Todas as Capacidades | 1,0 |

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2009)

(POVOA, 2014), define que o coeficiente de performance avalia o rendimento de um equipamento de refrigeração, relacionando a capacidade de remoção de calor (energia útil ou efeito frigorífico) à potência requerida pelo compressor.

O segundo índice para quantificar a eficiência energética de sistemas de refrigeração de resfriadores de líquido, é o IPLV (*Integrated Part Load Value* – Valor Integrado de Carga Parcial), que expressa a eficiência energética de um *chiller*, considerando seu desempenho não somente a 100% de carga, mas a média ponderada considerando a sua operação em cargas parciais ao longo do ano. (AHRI STANDART 550/590, 2015).

Abaixo está a equação para calcular o IPLV para unidades de resfriamento de líquido em KW / TR, segundo a AHRI 550/590, 2015.

$$IPLV = \frac{1}{\frac{0,01}{A} + \frac{0,42}{B} + \frac{0,45}{C} + \frac{0,12}{D}}$$

Onde:

A =Entrada de energia por capacidade, kW/ton R a 100% carga;

B =Entrada de energia por capacidade, kW /tonR a 75%carga;

C =Entrada de energia por capacidade, kW /tonR a 50%carga;

D =Entrada de energia por capacidade, kW /tonR a 25%carga.

Para obter os melhores resultados quanto a redução do consumo de energia elétrica sem afetar o processo principal, é necessário adequar a capacidade de resfriamento dos resfriadores de líquido a real necessidade térmica projetada dos *fan coil*, se houver superdimensionamento ou sub dimensionamento do sistema de geração de frio, ocorrerá desperdício de energia elétrica durante a operação, além desta correção é possível efetuar a comparação dos índices de performance dos *Chiller*, quantificar o que as diferenças que o COP e o IPLV representam no consumo elétrico total e propor soluções de modernização e aumento da eficiência dos sistemas de climatização instalados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o estudo de caso em eficiência energética proposto fez-se necessário o levantamento de dados para suprir de informações as análises e embasar a metodologia, porém no Brasil há empecilhos para esta forma de estudo em sistemas de climatização.

Para sistemas de ar condicionado não existe um ensaio padronizado para a avaliação do consumo de energia como há para refrigeradores. Portanto, falta para o mercado brasileiro uma norma que quantifique a influência da variação da modulação da rotação do compressor no desempenho final do sistema, como as normas AHRI 210/240 (2008), EN 14825 (2008) e JIS B 8616 (2006) já fazem nos Estados Unidos, na União Europeia e Japão, respectivamente. (RIBEIRO, 2015).

A primeira variável de impacto nos sistemas de climatização é o seu período de funcionamento. Ficou estabelecido que esta empresa possui jornada de trabalho definida das 00:01 h (zero horas e um minuto) da segunda feira até as 23:59 (vinte e três horas e cinquenta e nove minutos) do sábado.

Desta forma a jornada de trabalho atual da empresa e por consequência de seus equipamentos de climatização é de 24 (vinte e quatro horas) por dia, durante 6 (seis) dias da semana, totalizando por semana 144 (cento e quarenta e quatro) horas de trabalho.

Considerando o período de trabalho anual de 52 semanas, o período de trabalho anualizado é de 7.488 horas de trabalho contínuo.

Salienta-se que não é permitido pela legislação trabalhar com os sistemas de condicionamento de ar desligado ou precário, para o processo produtivo ao qual estes equipamentos foram destinados, assim consideramos para as análises o período de trabalho dos equipamentos igual a jornada de trabalho dos colaboradores da instituição.

Além do período de trabalho definido, a bandeira tarifária da indústria precisa ser identificada e definida, a indústria trabalha na modalidade tarifária verde e durante o horário considerado de ponta, a energia elétrica para suprir a demanda da indústria é oriunda de geradores elétricos autônomos, movidos a diesel.

Para efetuar a estimativa de carga elétrica instalada, não foi possível efetuar as medições de energia elétrica para determinarmos a linha de base de consumo adequada, em função da indisponibilidade de recursos para efetuar as medições conforme o protocolo internacional de medição e verificação de performance (PIMVP), desta forma o método aplicado para o cálculo das reduções de consumo da energia elétrica e de redução econômico-financeira é a metodologia adota pela ANEEL, aplicada nas chamadas públicas de Eficiência Energética no Paraná através da COPEL.

Para compor a metodologia ANEEL, foram consideradas as potências nominais dos equipamentos instalados e a potências nominais do cenário futuro proposto, além dos índices de eficiência energética dos equipamentos.

Os sistemas de climatização do estudo, são os responsáveis por condicionar os ambientes produtivos a níveis de temperatura e umidade relativa adequadas a manipulação dos produtos fabricados, garantindo a qualidade do produto e a segurança dos operadores, o que exige funcionamento ininterrupto durante toda a jornada de trabalho.

4.1 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR

As unidades de tratamento de ar dos ambientes produtivos, objeto do estudo de eficiência energética são as seguintes:

Tabela II – Especificações Técnicas da Unidade de Tratamento de ar 01

| Parâmetro | Especificação |
|---------------------------------|----------------------|
| Fabricante | TROX |
| Modelo | TKZ – 93 |
| Capacidade Frigorífica (Kcal/h) | 92.050 |
| Pressão Estática Total (mmca) | 200,4 |
| Pressão Disponível (mmca) | 60 |
| Motor | |
| Fabricante | WEG |
| Modelo | 132S |
| Potência (CV) | 10 |
| Rotação (rpm) | 1.760 |
| Tensão (V) | 380/3~ |
| Corrente Nominal (A) | 15,4 |
| Ventilador | |
| Fabricante | OTAM |
| Modelo | LMD 500.CLI |
| Rotação (rpm) | 2.177 |
| Vazão de Ar (M³/h) | |
| Insuflamento | 7.540 |

Fonte: Aatoria Própria

Tabela III – Especificações Técnicas da Unidade de Tratamento de ar 02

| Parâmetro | Especificação |
|--------------------------------------|----------------------|
| Fabricante | TROX |
| Modelo | TKZ – 308 |
| Capacidade Frigorífica (Kcal/h) | 119.621 |
| Pressão Estática Total (mmca) | 196,5 |
| Pressão Disponível (mmca) | 80 |
| Motor | |
| Fabricante | WEG |
| Modelo | 200M |
| Potência (CV) | 40 |
| Rotação (rpm) | 1.770 |
| Tensão (V) | 380/3~ |
| Corrente Nominal (A) | 58,7 |
| Ventilador | |
| Fabricante | OTAM |
| Modelo | RLD-710 CL II |
| Rotação (rpm) | 1.686 |
| Vazão de Ar (M³/h) | |
| Insuflamento | 29.500 |

Fonte: Autoria Própria

Tabela IV – Especificações Técnicas da Unidade de Tratamento de ar 03

| Parâmetro | Especificação |
|---------------------------------|----------------------|
| Fabricante | TROX |
| Modelo | TKZ – 130 |
| Capacidade Frigorífica (Kcal/h) | 43.865 |
| Pressão Estática Total (mmca) | 147 |
| Pressão Disponível (mmca) | 80 |
| Motor | |
| Fabricante | WEG |
| Modelo | 132M |
| Potência (CV) | 12,2 |
| Rotação (rpm) | 1.755 |
| Tensão (V) | 380/3~ |
| Corrente Nominal (A) | 19,3 |
| Ventilador | |
| Fabricante | OTAM |
| Modelo | RLD-500 CL II |
| Rotação (rpm) | 1.947 |
| Vazão de Ar (M³/h) | |
| Insuflamento | 12.610 |

Fonte: Aatoria Própria

Tabela V – Especificações Técnicas da Unidade de Tratamento de ar 04

| Parâmetro | Especificação |
|--------------------------------------|----------------------|
| Fabricante | TROX |
| Modelo | TKZ – 160 |
| Capacidade Frigorífica (Kcal/h) | 62.506 |
| Pressão Estática Total (mmca) | 122,5 |
| Pressão Disponível (mmca) | 60 |
| Motor | |
| Fabricante | WEG |
| Modelo | 132M |
| Potência (CV) | 12,2 |
| Rotação (rpm) | 1.755 |
| Tensão (V) | 380/3~ |
| Corrente Nominal (A) | 19,3 |
| Ventilador | |
| Fabricante | OTAM |
| Modelo | RLD-500 CL II |
| Rotação (rpm) | 1.862 |
| Vazão de Ar (M³/h) | |
| Insuflamento | 14.635 |

Fonte: Autoria Própria

Tabela VI – Especificações Técnicas da Unidade de Tratamento de ar 05

| Parâmetro | Especificação |
|--------------------------------------|----------------------|
| Fabricante | TROX |
| Modelo | ICV-7,5 |
| Capacidade Frigorífica (Kcal/h) | 51.408 |
| Pressão Estática Total (mmca) | 99 |
| Pressão Disponível (mmca) | 50 |
| Motor | |
| Fabricante | WEG |
| Modelo | 100L |
| Potência (CV) | 4 |
| Rotação (rpm) | 1.725 |
| Tensão (V) | 380/3~ |
| Corrente Nominal (A) | 6,83 |
| Ventilador | |
| Fabricante | OTAM |
| Modelo | RLD-315 CL II |
| Rotação (rpm) | 2.708 |
| Vazão de Ar (M³/h) | |
| Insuflamento | 5.210 |

Fonte: Aatoria Própria

Para o estudo, os principais dados utilizados foram as potências elétricas dos motores que acionam os ventiladores das unidades de tratamento de ar e as potências de refrigeração de cada uma das unidades.

Desta forma, somando-se todas as potências dos motores elétricos dos ventiladores, obtemos uma potência elétrica instalada da ordem de 79 CV ou 58,10 Kw.

Importante citar que estes equipamentos não possuem controle de velocidade instalados, a vazão destes ventiladores é controlada apenas por dispositivos mecânicos, conhecidos como *dampers*, ou seja, ocorre o estrangulamento da descarga de ar dos ventiladores, porém, os motores elétricos estão sempre em sua rotação máxima e por consequência consumo máximo de energia elétrica, para realizar um trabalho menor que a necessidade dos ambientes climatizados.

Desta forma, observa-se a possibilidade de ganho energético, aumentando o rendimento de cada um dos motores que acionam os ventiladores das unidades de

tratamento de ar através do controle de velocidade por dispositivos eletrônicos em substituição aos elementos mecânicos e da substituição dos ventiladores, eliminando os acoplamentos por correias e polias, e inserindo equipamentos com acoplamento direto eixo-eixo.

Da mesma maneira que a efetuada para os ventiladores, se faz necessária à coleta das condições atuais de trabalho do equipamento de resfriamento de líquido. Desta forma foi evidenciado que os equipamentos trabalham com temperatura de condensação do ar na faixa de 35°C (dados climáticos históricos) e o líquido resfriado é bombeado para os *fan coils* a temperatura de 6°C.

Os dados climáticos de temperatura de condensação para os resfriadores de líquido estão baseados nos registros da norma ABNT 16.401 – 1, referenciando a cidade mais próxima ao local onde a indústria está instalada (Foz do Iguaçu), conforme tabela abaixo:

Figura 4 – Dados Climáticos de Referência

| PR | Foz de Iguaçu | | | | | Latitud | Longit. | Altitude | Pr.atm | Período | Extrem. anuais | TBU | TBSmx | s | TBSmn | s |
|--------|---------------|--------------------------------|------|-------|-------|---------|---------------|----------|--------|---------|----------------|--------|--------------|------|-------|-----|
| | 25,52S | 54,58W | 243m | 98,44 | 85/01 | | | | | | | 29,4 | 37,2 | 0,9 | 0,1 | 1,9 |
| Mês>Qt | Freq. | Resfriamento e desumidificação | | | | | Baixa umidade | | | Mês>Fr | Freq. | Aquec. | Umidificação | | | |
| Jan | anual | TBS | TBUc | TBU | TBSc | TPO | w | TBSc | Jul | anual | TBS | TPO | w | TBSc | | |
| | 0,4% | 35,1 | 23,6 | 26,1 | 31,6 | 24,6 | 20,1 | 28,7 | | 99,6% | 3,4 | 1,1 | 4,2 | 6,3 | | |
| ΔTmd | 1% | 34,1 | 23,7 | 25,6 | 31,1 | 24,0 | 19,5 | 28,2 | | 99% | 5,8 | 3,1 | 4,9 | 8,0 | | |
| 11,1 | 2% | 33,1 | 23,5 | 25,1 | 30,6 | 23,5 | 18,9 | 27,7 | | | | | | | | |

Fonte: ABNT 16.401-1 (2008)

Assim como as unidades de tratamento de ar os dados técnicos dos resfriadores de líquido foram coletados *in loco*, conforme segue:

Tabela VII – Especificações Técnicas da Unidade de Resfriamento de Líquido

| Parâmetro | Especificação |
|-----------------------------|---------------|
| Fabricante | TRANE |
| Modelo | RTAA 125 |
| Capacidade Frigorífica (TR) | 125 |
| Potência Elétrica (KW) | 260 |
| Tensão (V) | 380/3~ |
| Ano de Fabricação | 2005 |
| COP | 2,8 |

Fonte: Autoria Própria

Para definir se há ou não divergências entre as capacidades frigoríficas dos *fan coil* e a capacidade de resfriamento do resfriador de líquido do sistema foram realizadas as somas de todas as potências frigoríficas indicadas nos equipamentos

de climatização (*Fan Coil*) e comparados com a potência de refrigeração indicada pelos fabricantes do resfriador de líquido.

Além da análise que relaciona as potências frigoríficas instaladas com as necessárias pelos equipamentos de climatização, foi efetuada a aplicação dos índices de eficiência energética para os resfriados de líquido, calculando o COP (coeficiente de Performance em Kw/Kw) dos equipamentos atuais e dos equipamentos propostos e o índice IPLV (Kw/TR), considerando as cargas parciais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as coletas de dados *in loco* e a busca de informações de equipamentos atuais instalados na indústria, disponibilizados pelos fabricantes e da base teórica apresentada foi possível analisar, calcular, comparar e obter os resultados do estudo de caso.

Sendo que o primeiro ponto considerado para o estudo, foi a capacidade de resfriamento de cada uma das unidades de tratamento de ar, totalizando, após a soma de todas as capacidades individuais em uma potência de refrigeração total instalada de 369.090 Kcal/h ou 122,06 TR (toneladas de refrigeração).

O equipamento responsável pelo resfriamento de água do sistema de climatização, apresenta capacidade nominal de 125 TR e tem sua data de fabricação no ano de 2005, conforme placa de dados, ou seja, comparando com o somatório das necessidades térmicas de projeto da unidade de tratamento de ar, o equipamento está 2,35% acima do necessário. Este valor foi encontrado através da seguinte relação:

$$\% Dif = \frac{(125 - 122,06) \times 100}{125} = +2,35\%$$

%Dif – Diferença em %

Potência de refrigeração resfriador de líquido – 125TR

Somatório das Potências de Refrigeração dos *Fan Coil* – 122,6 TR

Para a unidade geradora de água gelada ou resfriador de líquido, é possível alterar a capacidade de refrigeração para 120TR, tornando a diferença entre a capacidade de refrigeração instalada e a necessidade térmica dos ambientes para apenas -1,71%. O método de cálculo foi o mesmo acima:

$$\% Dif = \frac{(120 - 122,06) \times 100}{120} = -1,76\%$$

%Dif – Diferença em %

Potência de refrigeração resfriador de líquido Proposto – 120TR

Somatório das Potências de Refrigeração dos *Fan Coil* – 122,6 TR

Esta alteração acarreta em uma redução da carga de refrigeração do resfriador de líquido na ordem de 5TR. A alteração não irá comprometer o funcionamento do sistema de climatização, visto que a carga calculada de 122, 06 TR, o uso máximo da capacidade de resfriamento do *Chiller* só poderá ocorrer em situações extremas de calor externo e carga térmica, viabilizando a substituição.

Além da alteração da capacidade de refrigeração instalada de 125 TR, para 120 TR, é possível melhorar tecnologicamente o equipamento, comprovado pela comparação entre o COP (Coeficiente de Performance – Kw/Kw) do equipamento atualmente instalado e o COP do equipamento proposto.

O COP do equipamento atualmente instalado é de 2,8 Kw/Kw, com a água gelada a 6°C, enquanto o COP do equipamento proposto é de 3,22 Kw/Kw, mantendo o mesmo regime de trabalho.

Para afirmar a melhoria da eficiência energética do equipamento, é possível comparar além do COP o índice IPLV (Kw/TR) entre os equipamentos instalados e os equipamentos propostos. Este índice é fornecido pelo fabricante dos equipamentos, e segue a tabela de referência abaixo, para os equipamentos propostos:

Tabela VIII – Índices IPLV

| Unidade | % de Carga | Tonelada de Refrigeração | EER | IPLV |
|----------|------------|--------------------------|------|------|
| RTAA 125 | 100 | 120,1 | 9,8 | 12,6 |
| | 75 | 89,7 | 11,2 | |
| | 50 | 59,8 | 13,7 | |
| | 25 | 29,9 | 13,4 | |

Fonte: TRANE, 2005

Já para os novos equipamentos, o índice IPLV que considera as cargas parciais dos equipamentos chega a 15,3 Kw/TR.

Os índices de eficiência energética COP e IPLV, dos resfriadores de líquido com condensação a ar – *Chiller*, são decisivos para a afirmação de substituição dos equipamentos ou da não substituição dos equipamentos de resfriamento de líquido.

Para melhor explanar esta comparação, desenvolvemos uma referência através da tabela abaixo, onde há o comparativo dos índices de eficiência energética COP e IPLV para equipamentos de resfriamento de líquido de mesma capacidade dos principais fabricantes e fornecedores no Brasil.

Tabela IX – Comparativo de Índices de Eficiência Energética de Resfriadores de Líquido

| Fornecedor | Potência Frigorífica (TR) | COP | IPLV |
|----------------------------|--------------------------------------|------------|-------------|
| Equipamento Atual TRANE | 125 | 2,8 | 12,6 |
| TRANE | 120 | 3,22 | 15,3 |
| HITACHI | 120 | 3,16 | 15,1 |
| CARRIER | 120 | 3,06 | 14,8 |

Fonte: Autoria Própria

O coeficiente de performance para o equipamento proposto para melhorar a eficiência energética do sistema é de 3,22 Kw/Kw, enquanto seu índice IPLV chega a 15,3 Kw/TR.

Como a eficiência energética dos resfriadores de líquido está diretamente relacionada ao COP e ao IPLV observamos que o ganho energético, além da redução da capacidade nominal total do equipamento, está nos resultados da comparação de seus indicadores de eficiência energética.

O COP sofreu uma alteração de 2,8Kw/Kw para 3,22 Kw/Kw, um ganho de 0,42. Aumento de 13%, já o índice IPLV, ampliou de 12,6 para 15,3, um crescimento de 2,7 pontos ou 17,64%.

Com os dados de eficiência energética dos equipamentos definidos, e considerando como modelo matemático para estimar os valores energéticos e financeiros a planilha de cálculo do programa de eficiência energética da Copel – PEE 2017, baseada na metodologia da ANEEL. A modernização dos equipamentos de resfriamento de líquido e adequação das cargas térmicas necessárias para este estudo, obtemos uma redução de 16,52% do consumo anual de energia elétrica do resfriador de líquido, totalizando 135,40 MWh/ano de redução de consumo de energia elétrica.

Financeiramente a redução apresentada é de R\$ 34.585,42 ao ano, somente para um sistema de refrigeração de líquido (água gelada).

Cabe salientar que os dados apresentados não alteraram as condições de trabalho do sistema, mantendo inalterados os índices da temperatura da água gelada (6°C), e a temperatura de condensação externa (+35°C) e temperatura de climatização dos ambientes definidos (dados não disponibilizados pela indústria).

Os investimentos necessários para a implantação dos sistemas propostos são apresentados abaixo:

Tabela X – Resumo de investimento

| Equipamento | Investimento em R\$ | Mão de Obra – Instalação R\$ | Valor Total R\$ |
|-----------------------|---------------------|------------------------------|-----------------|
| Resfriador de Líquido | 189.778,00 | 3.700,00 | 193.478,00 |

Fonte: Autoria própria

Com investimentos totais na ordem de R\$ 193.478,00 e com economia de energia calculada em torno de R\$ 34.585,42 ao ano, torna-se possível calcular o retorno do investimento simples da modernização, totalizando 5,6 anos para o pay back considerando apenas a redução do gasto com energia elétrica.

$$PayBack = \frac{\text{Investimento}}{\text{Economia de Energia}} =$$

O resultado de 5,6 anos de retorno do investimento na modernização do sistema de geração de água gelada, considera os valores atuais de aquisição de equipamentos, de instalação e de energia elétrica, sem qualquer recurso oriundo de programas de eficiência energética.

Segundo a ASHRAE, o *chiller* de condensação a ar, possui vida útil de 20 anos, e os de condensação a água possuem vida útil de 23 anos. Assim é possível afirmar que este equipamento tem possibilidade de ser utilizado durante um tempo superior a três vezes o seu tempo de *pay back*, em outros termos, trará retorno financeiro ao empresário durante 15 anos, após o *pay back*.

Este tempo de retorno poderá variar se houver alteração nas tarifas de energia elétrica, alteração no regime de trabalho da indústria.

Outro fator a ser salientado é a substituição do fluido refrigerante dos sistemas de resfriamento de líquido. Os equipamentos atuais trabalham com o fluido R22, nocivo a camada de ozônio e que deve ser retirado de mercado em breve. Enquanto os equipamentos propostos possuem em seu sistema de refrigeração o fluido amigável R134A.

Também não está expresso e quantificado o custo de manutenção dos equipamentos, visto que o equipamento atualmente instalado possui 13 (treze) anos

de operação e está sujeito a intervenções de manutenção com maior frequência que o equipamento a ser instalado.

6 CONCLUSÃO

As análises de consumo de sistemas de climatização centrais, sofrem interferências de diversas variáveis de grande dificuldade de controle, podemos citar as variações climáticas externas e internas, com variação da carga térmica e os elementos responsáveis pelo tratamento de ar insuflado na área climatizada.

O estudo demonstra resultados satisfatórios em economia de energia e retorno de investimento em soluções energéticas de modernização dos sistemas de climatização central.

O tempo de Pay Back, de apenas 5,6 anos é viável ao considerarmos os benefícios complementares que a modernização tecnológica dos sistemas resfriamento de líquido apresenta.

No *chiller*, o ganho expressivo de energia está na atualização tecnológica do equipamento, onde o COP e o IPLV, que norteiam a eficiência energética de equipamentos de refrigeração foram elevados, e tornaram possível realizar o trabalho de resfriar a água com menos energia elétrica consumida.

E por fim, há a substituição do fluido refrigerante, o qual passa a ser o fluido amigável e que não prejudica a camada de ozônio.

Conclui-se que o estudo de caso através da metodologia de análise de dados técnicos nominais aliados a metodologia de cálculo disponibilizada pela ANEEL, proporciona ganhos energéticos viáveis para equipamentos de resfriamento de líquido e pode ser replicado as demais instalações de condicionamento de ar com as mesmas características, proporcionando resultados satisfatórios.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 16.401 – 1, Instalações de Ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários Parte 1: Projetos das Instalações**. 1ª Edição, Rio de Janeiro, 2008.

AHRI 210/240– **Standart, Performance Rating of Unitary Air-conditioning & Air-source Heat Pump Equipment**, AHRI, Arlington, USA, 2017.

AHRI 550/590– **Standart, Performance Rating of Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using the Vapor Compression Cycle**, AHRI, Arlington, USA, 2015.

ASHRAE, **American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditionong Engineers, inc. ASHRAE Fundamentals Handbook**, SI edition, Atlanta, USA, 2009.

CAMPANHOLA, Felipe P, **Avaliação de sistemas de Condicionamento de Ar para Salas de Prédio Público**, Santa Maria, 2015. Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em:
<https://portal.ufsm.br/biblioteca/pesquisa/registro.html?idRegistro=430433>

CREDER, Helio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6ª Edição. Rio de Janeiro, LTC, 2009.

DOE, United States Department of Energy, **Annual Energy 2012**, Washington, USA, 2012.

GODOY, Renata Cristina Zanotelli, **O ar Condicionado como Fonte Potência de Risco à Saúde dos Trabalhadores de Call Centers**. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1555>.

GUIA PRÁTICO DE EFICIÊNCIA. **Reunindo a experiência prática do projeto de etiquetagem: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura / Ministério do Meio Ambiente**. Brasília: MMA, 2014.

IEA, International Energy Agency. **Biomass Energy: Data, Analysis and Trands**. Paris. IEA.1994.

MILLER, Rex. **Ar Condicionado e Refrigeração**. 2ª Edição. Rio de Janeiro. LTC. 2014.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira: Exercício** 2014. Brasília. MME. 2015, disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2015>

MMA, Ministério de Meio Ambiente. **Ar condicionado: Guia Prático Sobre Sistemas de Água Gelada**. Brasília. MMA. 2016. Disponível em:

<http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/repositorio/noticias/documentos/1652.pdf>

MOREIRA, José Roberto Simões. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 1º Edição, Rio de Janeiro. LTC. 2017.

MUNSON, Bruce R. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos** / 4ª Tradução da Edição Americana, São Paulo, Edgard Blucher, 2004.

PÓVOA, Marcos Cortez Brito Leite. **Fatores de Influência na Eficiência Energética**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:

<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010700.pdf>

PUC, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia. Grupo de Eficiência Energética. USE - Uso Sustentável da Energia [recurso eletrônico]: guia de orientações / PUCRS, FENG, GEE, PU; coord. PROAF. - Dados eletrônicos. - Porto Alegre: PUCRS, 2010.

REIS, Lineu Belico dos, **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**, São Paulo, Manole, 2005.

RIBEIRO, Guilherme Borges. **Análise de Sistemas de Condicionamento de Ar com Capacidade Variável Considerando o Efeito da Mistura Oleo Refrigerante**.

2015, 259f – Tese Doutorado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em

<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/159020>.

RIBEIRO JUNIOR, Elson Herald. **Modelo para formação de trabalhos acadêmicos da UTFPR**. Ponta Grossa, 2011. (Apostila).

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Eficiência Energética**. 222p. Brasília. SENAI/DN. 2017.

SILVA, Jesué Graciliano da. **Introdução a Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. 1ª edição. São Paulo. Artliber. 2004.

TRANE, **Manual de Ar Condicionado**, 1ª Edição, Ken Cook CO. USA.1980.

UNIFEI, Universidade Federal de Itajubá. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. 1ª edição. São Paulo. 2012.