

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

**APROVEITAMENTO DE ENERGIA DA ÁGUA DOS
CHILLERS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Camargo, RS, Brasil
2014**

APROVEITAMENTO DE ENERGIA DA ÁGUA DOS CHILLERS

Gessen Souza Teixeira

Projeto de TCC apresentado ao Curso de Pós-Graduação Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos da Universidade Federal de Santa Maria como requisito parcial para a obtenção do grau de **Especialista.**

Orientador: Prof. Dr. Ademar Michels

**Camargo, RS, Brasil
2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**APROVEITAMENTO DE ENERGIA DA ÁGUA DOS
CHILLERS**

elaborado por
Gessen Souza Teixeira

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ademar Michels, Dr.
(Orientador)

Carlos Roberto Cauduro, Dr (UFSM)

Isis Portolan dos Santos, Dra (UFSM)

Michel Brondani, Eng (UFSM)

Camargo, 05 de dezembro de 2014.

*A meu pai, Cely Pereira Teixeira, que de onde
estiver, tenho certeza, está orgulhoso de mim.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu ainda esteja por aqui, lutando por aquilo que acredito, e obtendo grandes realizações;

À minha esposa Francieli, que esteve sempre junto comigo nesta caminhada, e que soube ser compreensiva nos momentos em que tive de abdicar do tempo em poderíamos estar juntos, em prol deste trabalho;

Aos meus educadores desde sempre, minha família, na figura de minhas irmãs Giane e Janaina, e minha mãe Zulma, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e me incentivando em todos os caminhos que escolhi;

Aos meus colegas de trabalho, engenheiros Douglas Grando e Marcos Grando, pela ajuda que dispensaram a mim, sempre que tive alguma dúvida em relação a este projeto;

Ao professor Geomar Machado Martins, que sempre esteve a disposição quando precisei de auxílio, seja via e-mail ou pessoalmente. Suas palavras de incentivo e sua dedicação para com os alunos foram determinantes para que pudéssemos concluir com êxito este curso de especialização;

À professora Leila Araújo que me passou dicas a cerca da metodologia científica e outras sugestões importantes a respeito da montagem deste trabalho, que com certeza fizeram toda a diferença na fase final de elaboração do TCC;

Ao tutor Roger Gallon, que sempre esteve disponível quando foi solicitado, mostrando empatia e solidariedade para com os alunos. Sua dedicação e comprometimento foram visíveis desde o início deste curso.

RESUMO

Dentre as constantes alterações climáticas que vem ocorrendo ao longo dos últimos anos, seguramente a que mais preocupa o homem é alteração da temperatura ambiente, que influencia o regime de chuvas e compromete diretamente a qualidade de vida na terra.

Apesar de a água ser fundamental para a manutenção da vida do ser humano, no Brasil, a falta d'água trás uma preocupação ainda maior, que é a diminuição da oferta de energia elétrica, uma vez que 70% da geração deste tipo de energia porvém de hidrelétricas. Daí a preocupação cada vez maior em buscar processos mais eficientes do ponto de vista de consumo de energia elétrica.

Dentro deste contexto, o objetivo geral deste trabalho é evidenciar a possibilidade de ganhos energéticos através da recuperação de energias perdidas durante o fluxo produtivo. O trabalho foi realizado em um frigorífico abatedouro de frangos de uma grande empresa de alimentos, que consome em seus processos uma grande quantidade de energia, em várias formas.

A análise foi feita em um equipamento chamado chiller de resfriamento que consome, durante regime normal de operação, uma grande quantidade de água gelada. Será mostrado no decorrer deste trabalho formas de recuperação de energia através do aproveitamento da água de descarte, e os ganhos obtidos com redução em energia elétrica.

Palavras chaves: Transferência de Calor, Aproveitamento de Energia, Eficiência Energética.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1 Fluxograma de produção de um frigorífico de abate de aves (100% cortes).....	17
Figura 2.2.1. Desenho em corte transversal de um chiller.....	21
Figura 2.2.2. Chiller de resfriamento de carcaças de frango.....	22
Figura 2.2.3 Vista superior de um chiller de resfriamento de carcaças de frango.....	22
Figura 2.1.3 Sistema de resfriamento de carcaças tipo Air chiller.....	23
Figura 2.4.1 Trocador de Calor a Placa e quadro para líquido-líquido.....	26
Figura 2.4.2 Principais modelos de placas dos Fabricantes de Trocadores de Calor a Placas.....	26
Figura 3.1.1 Fluxograma geral do sistema de reaproveitamento de energia.....	27
Figura 3.2.1 Sistema para recuperação e aproveitamento de energia.....	28
Figura 3.2.2 Peneira Rotativa.....	29
Figura 3.2.3 Sistema autolimpante da peneira rotativa.....	29
Figura 3.2.4 Dimensões do acumulador de água do chiller.....	30
Figura 3.2.5 Acumulador de água do chiller.....	30
Figura 3.2.6 Trocador de calor utilizado no sistema de recuperação de energia.....	31
Figura 3.2.7 Sistema CIP de limpeza.....	32
Figura 3.2.8 a) Quadro de comando do sistema com CLP.....	33
Figura 3.2.8 b) Tela de comando sensível ao toque (Touch Screen).....	33
Figura 4.1.1 Volume de controle 1.....	34
Figura 4.1.2 Balanço de massa no volume de controle 1.....	35
Figura 4.2.1 Volume de controle 2.....	36
Figura 4.2.2 Tela do software Coll Pack.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.1 Distribuição de vapor nos setores da indústria.....	21
Tabela 4.1.1 Quantidade de água de renovação nos chillers de resfriamento.....	35
Tabela 4.1.2 Valores das temperaturas nas saídas dos chillers.....	35
Tabela 4.3.1 Redução de energia com o trocador de calor água / água.....	39
Tabela 4.3.2 Acréscimo de energia no sistema.....	39
Tabela 4.3.3 Balanço energético do sistema.....	39
Tabela 4.5.1 Orçamento dos componentes do sistema de recuperação de energia.....	40
Tabela 4.5.2 Tabela para cálculo da MTIR.....	41

LISTA DE SIGLAS

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PIB: Produto Interno Bruto

Ipea: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

SIF: Serviço de Inspeção Federal

CIP: Clean in Place

IHM: Interface Homem Máquina

AISI: American Iron and Steel Institute

COP: Coeficiente de Performance

EES: Engineering Equation Solver

TIR: Taxa Interna de Retorno

MTIR: Taxa Interna de Retorno Modificada

TPA: Tonelada de Produto Acabado

LISTA DE SIMBOLOS

CV: cavalo vapor ;

kcal/h: quilocalorias por hora ;

$^{\circ}\text{C}$: graus Celsius;

R\$: real;

%: porcentagem;

m^3 : metros cúbicos;

kgf/cm²: quilograma força por metro quadrado;

m^3/h : metros cúbicos por hora;

mm: milímetro;

bar: unidade de pressão equivale a exatamente 100 000 Pa (10^5Pa);

min: minutos;

ms: massa total que sai do volume de controle;

me: massa total que entra no volume de controle;

m1: massa de água na saída do pré-chiller;

m2: massa de água na saída do chiller intermediário;

m3: massa de água na saída do chiller final;

m4: vazão de água do chiller na entrada do trocador água/água;

m5: vazão da água potável na entrada do trocador água/água;

t1: temperatura média lida no pré-chiller;

t2: temperatura média lida no chiller intermediário;

t3: temperatura média lida no chiller final;

t4: temperatura da água do chiller na entrada do trocador;

t5: temperatura da água do chiller saída do trocador água/água;

t6: temperatura de água potável na entrada do trocador;

t7: temperatura da água potável na saída do trocador água/água;

t8: temperatura da água potável na saída do trocador água/amônia;

c: calor específico;

Q1: calor retirado da água potável no trocador água/água;

Q2: carga térmica total da água potável;

Q3: carga restante para o trocador de calor água/amônia;

QLiq: carga térmica líquida;

$W_{liq,ent}$: trabalho líquido na entrada;

W_{cp} : potência de compressão será economizada;

v : velocidade;

V : vazão;

A : área;

m/s : metros por segundo;

d : diâmetro;

v_{calc} : velocidade calculada;

n : número de anos;

i : taxa de juros.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 - Tema da Pesquisa.....	14
1.2 - Delimitação do tema	14
1.3 - Problematização.....	14
1.4 - Objetivos	14
1.4.1 Objetivo geral.....	14
1.4.2 Objetivos específicos	14
1.5 - Apresentação do trabalho	15
2.REVISÃO DA LITERATURA	16
2 .1 Processo de abate de frangos	16
2.1.1 Frigorífico de Aves	16
2.1.1.1 Recepção de aves.....	16
2.1.1.2 Escaldagem e depenagem	16
2.1.1.3 Evisceração.....	18
2.1.1.5 Embalagem e Estocagem	19
2.1.2 Setores de Utilidades	19
2.1.2.1 Água.....	19
2.1.2.2 Energia Elétrica	20
2.1.2.3 Geração e Distribuição de Frio.....	20
2.1.2.4 Geração e Distribuição de Vapor	20
2.2 Sistema de resfriamento de carcaças por imersão (<i>Chiller</i>)	21
2.3 Transferência de calor	24
2.4 Trocadores de Calor	24
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 Sistema de reaproveitamento de energia	27

3.2 Planejamento do trabalho	28
3.2.1 Sistema para recuperação e aproveitamento de energia	28
3.2.1.1 Peneira Rotativa.....	28
3.2.1.2 Sistema acumulador de água;.....	29
3.2.1.3 Trocador de calor;.....	31
3.2.1.4 Sistema CIP;.....	32
3.2.1.5 IHM de controle	33
4 RESULTADOS	34
4.1 Estudo da carga térmica.....	34
4.1.1 Verificação da água disponível e temperaturas.....	34
4.1.2 Balanço de massa e energia no acumulador (Volume de Controle 1).....	35
4.2 Cálculo da energia disponível.....	36
4.2.1 Cálculo de Potência	37
4.2 Cálculo do diâmetro da tubulação.....	38
4.3 Economia gerada.....	39
4.4 Resultado financeiro.....	40
4.5 Análise financeira.....	40
4.5.1 Orçamento.....	40
4.5.2 Taxa interna de retorno modificada (MTIR).....	40
5 CONCLUSÕES	42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 - Tema da Pesquisa

O tema da pesquisa é: Aproveitamento de energia

1.2 - Delimitação do tema

O trabalho visa calcular a energia perdida no descarte de águas residuais em ambiente industrial, bem como a apresentação de equipamentos térmicos para recuperação desta energia descartada.

1.3 - Problematização

O resfriamento industrial de carcaças de frango é normalmente efetuado em tanques de imersão em água, tipo rosca sem fim (chillers). Nesta etapa, além da redução da temperatura, ocorre absorção de água pelas carcaças. A produção de água gelada para este processo em um abatedouro com capacidade de 172.380 aves por dia, com um peso médio em torno de 2,6 kg, é feita utilizando um compressor de amônia com potência de 400 CV e uma capacidade térmica de 812.000 kcal/h operando em regime 0° / 35°C em paralelo com o sistema de climatização.

A renovação da água gelada dos chillers, durante os trabalhos, deve ser constante e em sentido contrário à movimentação das carcaças (contracorrente), na proporção mínima de 1,5 (um e meio) litros por carcaça no primeiro estágio e 1,0 (um) litro no último estágio. A temperatura da água do sistema de pré-resfriamento por imersão não deve ser superior a 4°C (Portaria 210/98 MAPA).

1.4 - Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Evidenciar a possibilidade de recuperação de energias térmicas que são descartadas para o meio ambiente (descarte de resíduos, resfriamento de componentes,...) em um processo industrial.

1.4.2 Objetivos específicos

Utilizar a energia térmica disponível na água de descarte proveniente dos chillers, através de um trocador de calor de forma que ocorra o pré resfriamento da água a ser utilizada nos processos que demandam água gelada, economizando energia elétrica.

- Reduzir R\$ 130.000,00 / ano em gastos com energia elétrica;
- Reduzir em pelo menos 4,5 kWh/tonelada de produto acabado no indicador de energia elétrica;
- Conservar energia térmica na fábrica;
- Reduzir carga térmica de condensação nos condensadores de amônia, através desligamento de um compressor na sala de máquinas da geração de frio;

1.5 - Apresentação do trabalho

A seguir, é apresentado, de forma resumida, o conteúdo de cada capítulo deste trabalho.

No capítulo 2 consta a revisão da literatura, iniciando com a conceituação de cada etapa de um frigorífico de aves, incluindo os processos de utilidades envolvidos. Um destaque é dado para o sistema de resfriamento de carcaças, o chiller, propriamente dito. Ainda no mesmo capítulo são apresentados conceitos de transferência de calor sobre a ótica de alguns autores renomados, bem como a abordagem adotada por engenheiros que trabalham em projetos que usam princípios da termodinâmica e de outras ciências da engenharia. Também são conceituados os trocadores de calor e ainda os passos fundamentais para projetos destes equipamentos. Ao final do capítulo é apresentado o trocador de calor a placas, modelo que foi adotado neste trabalho.

A metodologia de trabalho é mostrada no capítulo 3, onde é apresentado o sistema de reaproveitamento de energia, bem como o detalhamento de todas as suas partes constituintes.

No capítulo 4 são mostrados os resultados obtidos com o cálculo da carga térmica, balanço de energia e potência a ser retirada do sistema. A economia gerada é mostrada tanto em quilowatt-hora (kWh) como em reais (R\$), por mês e por ano. A análise financeira é feita neste mesmo capítulo.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões finais.

2.REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Processo de abate de frangos

2.1.1 Frigorífico de Aves

O processo industrial inicia-se pela recepção de aves vivas e segue pelos demais setores num fluxo contínuo e ordenado. Na Figura 2.1.1 é mostrado o fluxograma de produção de um frigorífico de abate de aves com produção 100% cortes, ou seja, neste abatedouro os frangos são divididos em suas partes (peito, asa, coxa, etc...), não sendo produzido frango inteiro. Neste tipo de processo são necessárias mais máquinas e mais funcionários no processo, em comparação com unidades que produzem como produto final a ave inteira. Na fábrica em questão o regime de operação é de dois turnos diários somando 16,9 horas por dia (já descontado os intervalos).

2.1.1.1 Recepção de aves

Pela recepção de aves chega a matéria prima ainda viva, transportada em caminhões adequados, com gaiolas plásticas para melhor movimentação e acondicionamento das aves. As gaiolas são descarregadas dos caminhões e transportadas por esteira, a uma velocidade de 10000 aves/hora.

O frango é retirado das gaiolas manualmente e pendurado pelos pés em um transportador aéreo denominado nórea. Logo em seguida as gaiolas são lavadas e recarregadas nos caminhões.

Os frangos seguem então até a área de sangria, e em seguida para o túnel de gotejamento.

2.1.1.2 Escaldagem e depenagem

Logo após sair do túnel de gotejamento os frangos entram no setor de escaldagem e depenagem.

Neste setor os frangos passam por um tanque de água quente à aproximadamente 54°C, onde ficam submersos por um tempo aproximado de 1 min para que ocorra um

afrouxamento das penas antes das depenadeiras, que agem sobre os frangos usando sequências de dedos de borracha, os quais girando à alta rotação removem as penas.

As penas extraídas pelas depenadeiras são conduzidas pela rede de esgoto, juntamente com água, até o depósito de subprodutos.

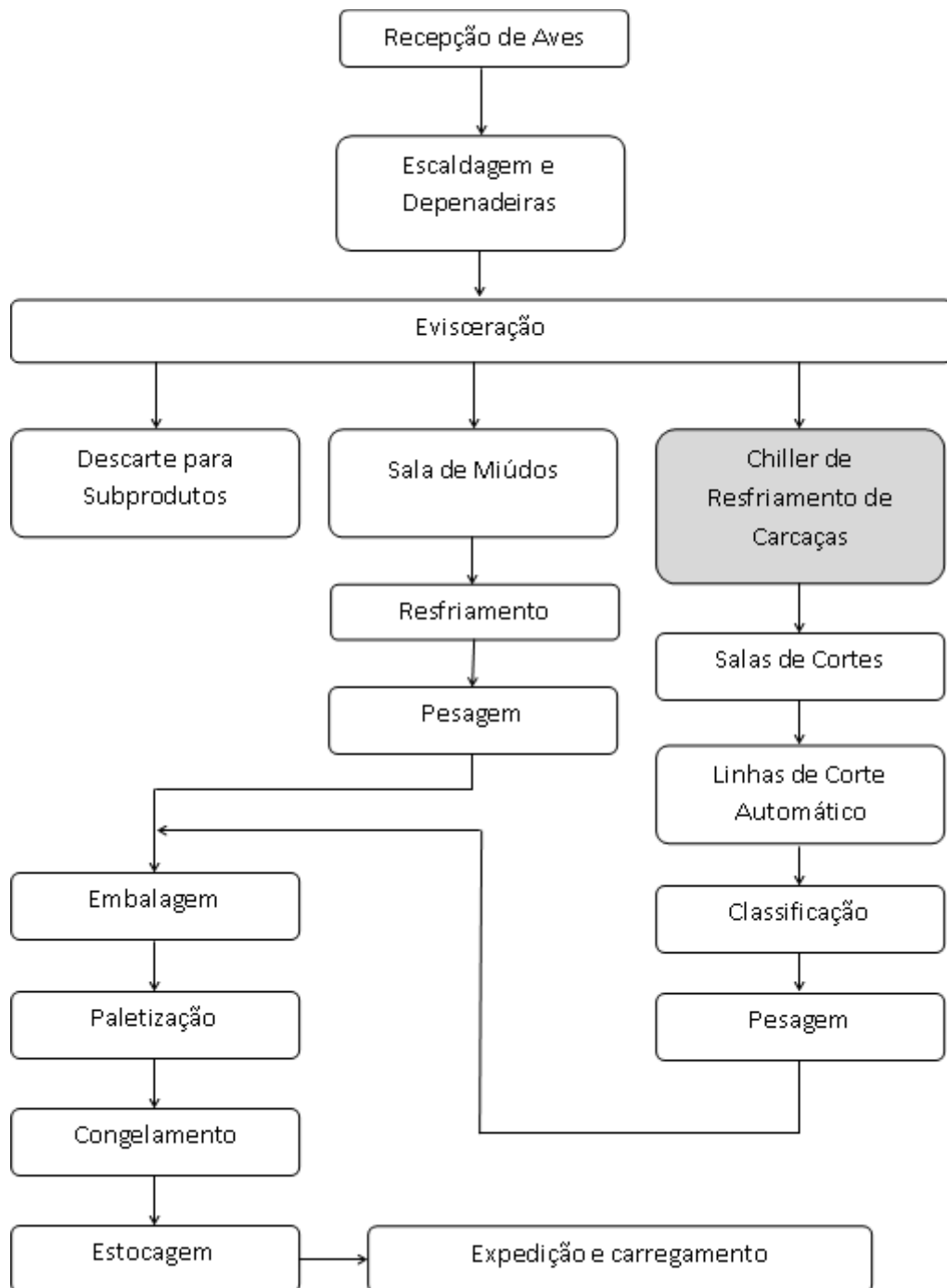


Figura 2.1.1 Fluxograma de produção de um frigorífico de abate de aves (100% cortes).

Os frangos saem das dependencias totalmente limpos, então são cortados os pés e rependurados automaticamente em outra nórea para na sequência ser feito o trabalho de evisceração.

2.1.1.3 Evisceração

Após passar pelo setor de escaldagem e depenagem, os frangos seguem por uma série de equipamentos, os quais se destinam a retirar todas as vísceras e os miúdos.

Todos os frangos passam pela Inspeção Federal (órgão fiscalizador do Ministério da Agricultura) e caso apresentem alguma anomalia, são condenados.

Todos os miúdos, coração, moela e fígado são separados manualmente, onde recebem os processos de limpeza distintos, e então, são todos bombeados para serem congelados e embalados.

As vísceras seguem através das tubulações de esgoto e vão até o depósito de subprodutos, onde posteriormente serão encaminhados para a fábrica de farinhas e gorduras onde receberão o cozimento para então serem processados em farinha para utilização em ração animal.

O frango limpo tem seu pescoço e cabeça cortados e recebem um jato de água para lavagem final.

2.1.1.4 Chiller

O chiller nada mais é do que um grande tanque aberto com água gelada, onde em seu interior possui um eixo em forma de helicóide que faz com que as carcaças de frango sejam conduzidas do início ao fim do tanque por um tempo predeterminado. O frango fica submerso em água gelada por um tempo de uma hora e vinte minutos aproximadamente.

O objetivo deste processo, além do resfriamento das carcaças, é eliminar micróbios ou bactérias que ocasionalmente tenham permanecido no frango durante os processos anteriores. O frango sai do chiller e é rependurado em outro transportador aéreo, e segue para a sala de cortes onde serão feitos os cortes das partes.

2.1.1.4 Salas de Cortes

Os frangos que chegam do chiller recebem o processo de corte e desossa de forma automática ou totalmente manual. Os cortes de peito, coxas, asas, filezinho, e demais cortes, são separados, pesados, colocados em bacias e transferidos para outros setores por meio de esteiras e dali diretamente para o setor de embalagem.

2.1.1.5 Embalagem e Estocagem

Os produtos oriundos das salas de corte seguem para a embalagem, onde são carimbados e encaixados em pellets facilitando a estocagem nas câmaras frias.

Logo após serem paletizados, os pellets são transportados para as câmaras frias onde são congelados e permanecem estocados até a data estabelecida para o carregamento e expedição.

2.1.2 Setores de Utilidades

Para viabilizar o processo de abate e processamento de aves, é necessária a garantia de suprimento de recursos energéticos para as mais diversas finalidades dentro de todo o parque industrial. O setor de utilidades deve não só garantir a continuidade do processo, bem como exigências de clientes e do Ministério da Agricultura através do SIF local (Serviço de Inspeção Federal).

2.1.2.1 Água

A água é um dos principais recursos energéticos em um abatedouro frigorífico, tendo sua vazão mínima controlada pelo número de aves abatidas (litros / ave), além de ser também utilizada nos processos de higienização diários. O consumo total chega 3.500m³ por dia em uma linha de produção de 10.200 aves por hora (172380 aves por dia), considerando todos os processos. No chiller de resfriamento de carcaças são gastos aproximadamente 19% do total da água utilizada no frigorífico.

2.1.2.2 Energia Elétrica

Um frigorífico de aves pode ter como produto final o frango inteiro ou cortes. No segundo caso há a necessidade de muitos equipamentos para atender o *mix* de produtos, que em alguns casos pode chegar a mais de 100 tipos. Em uma fábrica com alto grau de automação, como é o caso da indústria analisada, são mais de 850 equipamentos cadastrados no sistema de controle da manutenção. Para movimentar este maquinário tem-se uma demanda contratada de 4515 kWh que já inclui as necessidades da sala de máquinas da geração de frio.

No processo analisado, são consumidos em média por mês 2.235.893,94 kWh, para uma produção média mensal de 8.697,3 toneladas de produto acabado (valores programados). Estes valores definem a meta de consumo de energia elétrica na unidade industrial, que fica em torno de 257,08 kWh/TPA.

2.1.2.3 Geração e Distribuição de Frio

Os ambientes dentro do frigorífico, com exceção do setor de evisceração, são climatizados a fim de manter o produto resfriado durante todo o processo, partindo de 10°C na sala de cortes, 7°C na antecâmara dos túneis de congelamento, -7°C no setor de paletização, -22°C nas câmaras de estocagem, e -30°C nos túneis de congelamento. Para suprir esta capacidade de geração de frio, a unidade industrial analisada possui uma sala de máquinas com 18 compressores de amônia operando nos regimes 0°C, -10°C e -35°C, totalizando 3350 CV de potência instalada. Para atingir as temperaturas adequadas nos setores são utilizados quarenta evaporadores no regime 0°C, três no regime -10°C, um no regime -22°C e doze no regime -35°C, totalizando cinquenta e seis evaporadores em toda a unidade industrial.

2.1.2.4 Geração e Distribuição de Vapor

O vapor utilizado na planta frigorífica é basicamente para aquecimento de água, já que esta indústria não produz produtos industrializados, somente cortes *in natura*. A distribuição e utilização de vapor seguem da seguinte forma (Tabela 2.1.1):

Tabela 2.1.1 Distribuição de vapor nos setores da indústria

Fonte: Dados coletados *in loco*

Equipamento / Processo	Temp. da Água (°C)	Vazão de Vapor (kg/h)
Tanque de escaldagem	58	4303,45 (início) 341,1 (manter temp.)
Chiller escalda de pés	61	9,72
Trocador de calor pezinhos	60	455,17
Trocador de calor higienização	48	2670,31
Trocador de calor central de pias	38	232,64
Trocador de calor depenadeiras	70	1668,94
Máquina de lavar bacias	52	245,88
Preparação de caldo	51	377,47

Para atender todas as demandas da fábrica, é utilizada uma caldeira com capacidade de 3 toneladas de vapor por hora, com uma pressão normal de trabalho de 8kgf/cm² (784,532 kPa), utilizando lenha de eucalipto em toras de um metro, alimentadas manualmente.

2.2 Sistema de resfriamento de carcaças por imersão (*Chiller*)

O sistema de resfriamento de carcaças por imersão consiste em meios-cilindros deitados, dotados de um helicóide interno, que se move lentamente, provocando o deslocamento de carcaças (Figuras 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3). O processo deve ser de no mínimo em duas etapas (pré-chiller e chiller), para atender o determinado pela legislação (MAPA, Portaria 210, 1998).

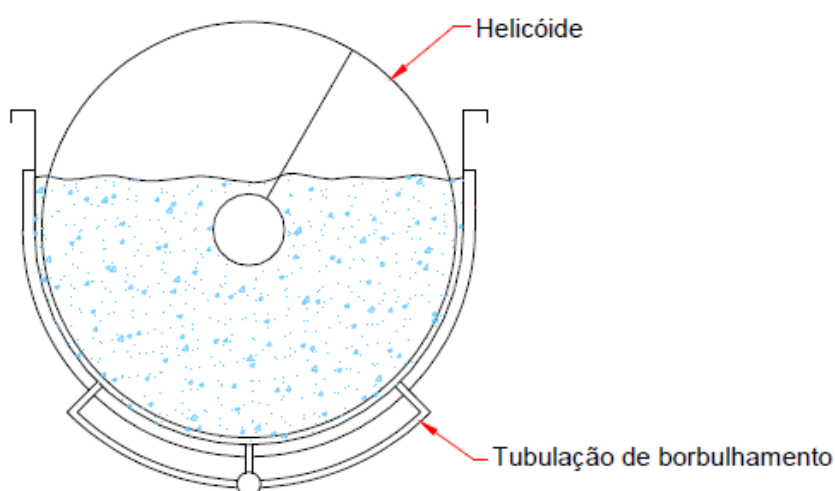


Figura 2.2.1. Desenho em corte transversal de um chiller

Fonte: (KLASSEN,2008).

Uma renovação mínima e constante de água deve ser cumprida, e também parâmetros de temperatura. Nos pré-chillers é necessária a adição de mais 1,5 litros de água por carcaça, e a temperatura no ponto mais quente não deve ultrapassar 16°C. Nos chillers é necessário no mínimo 1 litro por carcaça, e a temperatura da água na saída do frango deve ser menor que 4°C. Utiliza-se para renovação água gelada numa temperatura próxima de 1°C, resfriada em trocadores de calor, normalmente a placas (KLASSEN, 2008).



Figura 2.2.2. Chiller de resfriamento de carcaças de frango

Fonte: Frinox Equipamentos Industriais¹

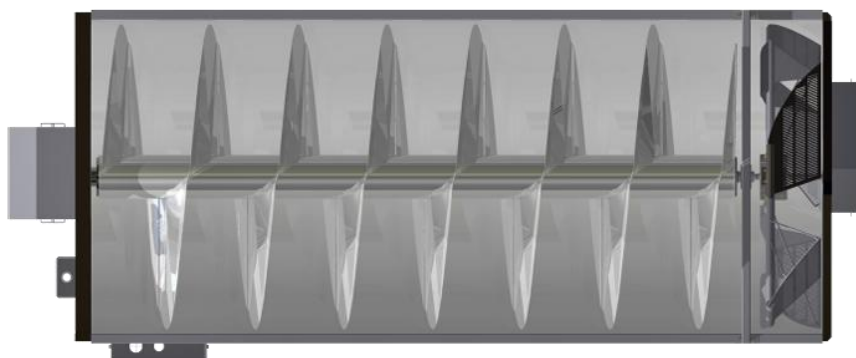


Figura 2.2.3 Vista superior de um chiller de resfriamento de carcaças de frango

Fonte: Morris & Associates²

¹ Disponível em: <http://frinox.ind.br>

² Disponível em: <http://www.morris-associates.com/pt-br>

Ao longo do equipamento existem pontos de distribuição de gelo, gerado em salas especialmente projetadas e equipadas para esta finalidade, podendo ocorrer em um ou mais pontos ou até estar ausente em alguns tanques.

O tamanho e número de equipamentos variam de acordo com a disponibilidade de espaço físico na planta industrial, bem como com a necessidade de resfriamento de frangos dada pela velocidade da linha de abate.

Também pode fazer parte destes equipamentos um sistema de injeção de ar (conhecido industrialmente como borbulhamento), composto de entradas (bico injetores) na parte inferior do chiller, acoplados a uma linha de ar comprimido. Estes bicos permitem a entrada do ar (que deve ser previamente tratado e seguir padrões pré- estabelecidos pela legislação vigente), promovendo uma maior agitação da água. Isso pode promover um aumento nas taxas de resfriamento e de absorção de água pelas carcaças. Assim, sua utilização deve estar cercada de cuidados (CARCIOFI, 2005).

Existem processos alternativos, principalmente fora do Brasil, os quais utilizam o ar frio, ao invés da água, como meio de resfriamento (são os chamados “air chillers”). Na Figura 2.1.3 pode ser visto um sistema de resfriamento de carcaças tipo *air chiller*.



Figura 2.1.3 Sistema de resfriamento de carcaças tipo Air chiller

Fonte: Stork Poultry Processing³

³ Disponível em : <http://marel.com>

2.3 Transferência de calor

Incropera (et al, 2008) afirma que sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorre transferência de calor (é a energia térmica em trânsito).

Dossat (2004) diz que o calor é uma forma de energia. Isto resulta evidente pelo fato de que o calor pode ser convertido em qualquer outra das formas de energia e que outras formas de energia podem ser convertidas em calor. Termodinamicamente, o calor é definido como energia em trânsito de um corpo para outro como resultado de uma diferença de temperatura entre dois corpos. Toda outra transmissão de energia ocorre como trabalho.

Os engenheiros usam os princípios da termodinâmica e de outras ciências da engenharia, como mecânica dos fluidos e transferência de calor e massa, para analisar e projetar artefatos objetivando atender as necessidades humanas. Um projeto de engenharia é uma tomada de decisão em que princípios de extraídos da engenharia e de outros campos, como economia e matemática, são aplicados, usualmente de uma forma interativa, de modo a planejar um sistema, um componente de um sistema ou um processo.

Um projeto demanda uma síntese: a seleção e montagem de componentes de modo a formar um conjunto coordenado. No entanto, como cada componente per se pode variar em tamanho, desempenho, custo e assim por diante, é geralmente necessário sujeitar cada componente a um estudo ou a uma análise intensa para se fazer uma escolha final. Os engenheiros frequentemente realizam análises, seja explicitamente em função de um procedimento de projeto seja por algum outro objetivo. As análises envolvendo os tipos de sistema usam, direta ou indiretamente, uma ou mais de três leis básicas, que são:

- Princípio da conservação de massa;
- Princípio da conservação de energia;
- Segunda lei da termodinâmica.

(MORAN & SHAPIRO, 2002).

2.4 Trocadores de Calor

Diferentes tipos de transferência de calor requerem diversos tipos de dispositivos e configurações de equipamentos de transferência de calor. A tentativa de igualar os dispositivos de transferência de calor aos requisitos de transferência do calor dentro das restrições específicas resultou em inúmeros tipos de projetos inovadores de trocadores de calor (Çengel; Ghajar, 2012).

Existem várias formas destes equipamentos, variando do simples tubo dentro de outro, até os condensadores e evaporadores de superfície complexa. Entre estes extremos, existe um vasto conjunto de trocadores de calor comuns tubulares. Essas unidades são largamente utilizadas, devido à possibilidade de serem construídas com grande superfície de transferência, em um volume relativamente pequeno, além de possibilitar a fabricação com ligas metálicas resistentes à corrosão e, são apropriados para o aquecimento, resfriamento, evaporação ou condensação de qualquer fluido.

O projeto completo de um trocador de calor pode ser dividido em três partes principais:

- Análise Térmica - se preocupa, principalmente, com a determinação da área necessária à transferência de calor para dadas condições de temperaturas e escoamentos dos fluidos.
- Projeto Mecânico Preliminar – envolve considerações sobre as temperaturas e pressões de operação, as características de corrosão de um ou de ambos os fluidos, as expansões térmicas relativas e tensões térmicas e, a relação de troca de calor.
- Projeto de Fabricação – requer a translação das características físicas e dimensões em uma unidade, que pode ser fabricada a baixo custo (seleção dos materiais, selos, invólucros e arranjo mecânico ótimo), e os procedimentos na fabricação devem ser especificados (GHIZZE, 1989).

Um tipo inovador de trocador de calor que tem utilização generalizada é o trocador de calor de placa e quadro (ou apenas placa), que consiste em uma série de placas planas corrugadas com passagens para o escoamento (Figura 2.4.1). Fluidos quentes e frios escoam em passagens alternadas e, assim, cada escoamento de fluido frio é cercado por dois escoamentos de fluido quente, resultando em uma transferência de calor muito eficiente. Além disso, os trocadores de calor a placa podem crescer com o aumento da demanda de transferência de calor mediante uma simples montagem de mais placas. Esses trocadores são bem adaptados para aplicações de troca de calor líquido – líquido, desde que os escoamentos dos fluidos quentes e frios estejam mais ou menos na mesma pressão (Çengel; Ghajar, 2012).

Na Figura 2.4.2 pode ser visto alguns dos principais modelos de placas utilizadas em trocadores de calor a placas.

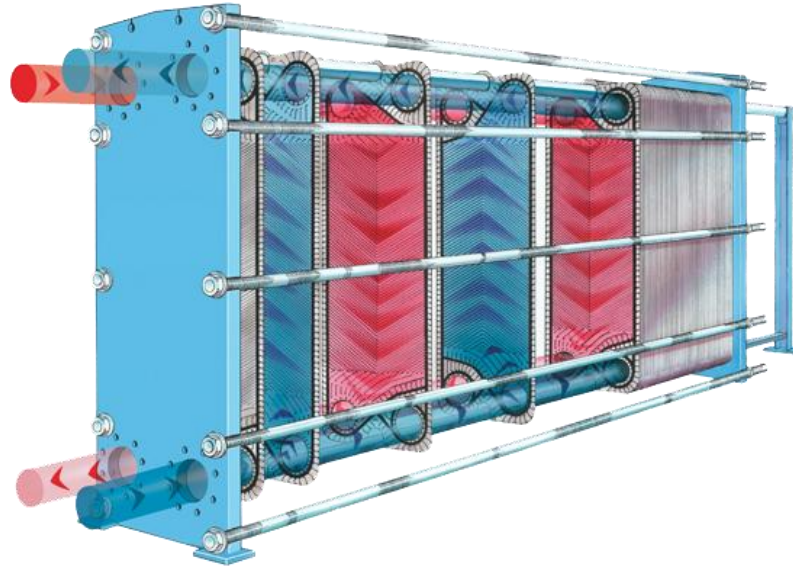


Figura 2.4.1 Trocador de Calor a Placa e quadro para líquido-líquido

Fonte: Tranter Traces⁴



Figura 2.4.2 Principais modelos de placas dos Fabricantes de Trocadores de Calor a Placas.

Fonte: Orobica Plast-Gom do Brasil Ltda⁵

⁴ Disponível em: <http://www.tranter.com>

⁵ Disponível em: <http://www.trocadoresdecalor.com.br/>

3 METODOLOGIA

3.1 Sistema de reaproveitamento de energia

O sistema para reaproveitamento da energia dos chiller's consiste na utilização de tubulações isoladas para direcionamento de água gelada (esgoto), do pré chiller, chiller intermediário e chiller final até uma central localizada no porão da fábrica. Esta central será composta por uma peneira rotativa para remoção de resíduos e um acumulador de água para evitar que a bomba trabalhe a vazio.

Após passar pela peneira rotativa a água será conduzida através de tubulação isolada para entrada de um trocador de calor a placas água/água onde realizará a troca térmica com água com temperatura em torno de 24°C (temperatura média ambiente) .

Água potável passará primeiramente no trocador de calor água/água, onde será retirada uma parcela de calor utilizando a água de esgoto dos chiller's e pré-chiller, em seguida esta água entrará no trocador de calor água/amônia (já existente) onde será feito o complemento da redução de temperatura até aproximadamente 1°C (temperatura ideal segundo portaria regulamentadora) e em seguida direcionada para consumo. Na Figura 3.1.1 pode ser visualizado um fluxograma geral com os volumes de controle para a análise de transferência de calor.

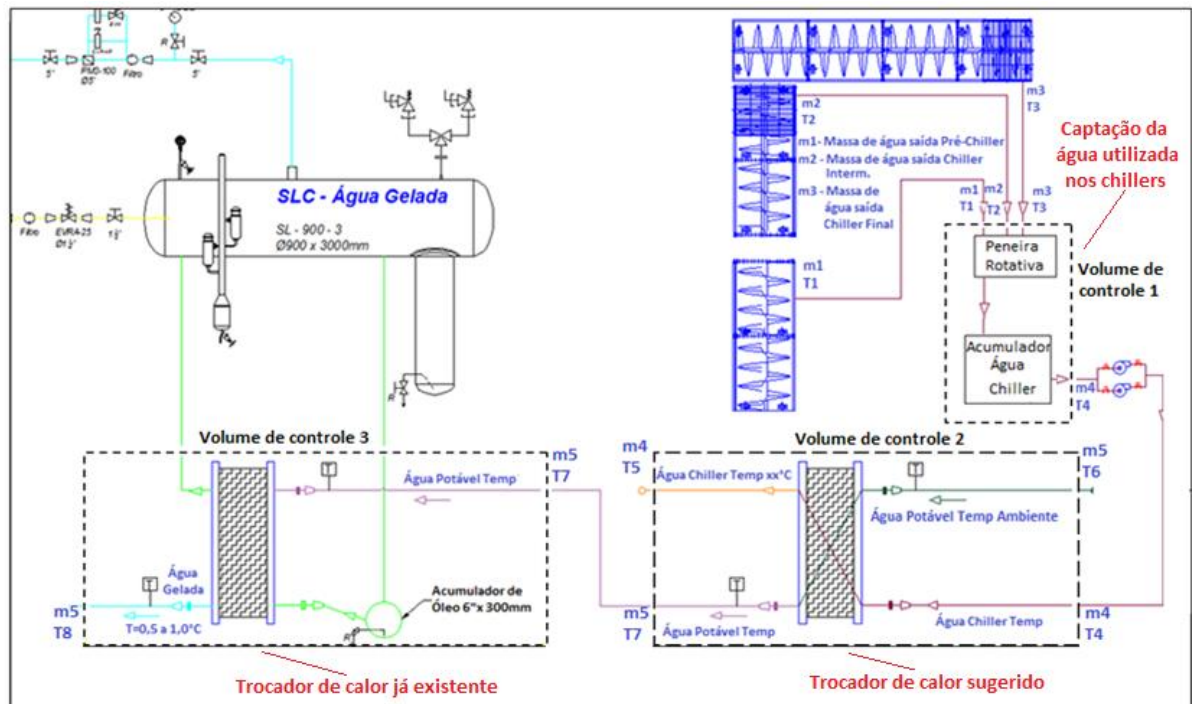


Figura 3.1.1 Fluxograma geral do sistema de reaproveitamento de energia.

3.2 Planejamento do trabalho

3.2.1 Sistema para recuperação e aproveitamento de energia

Para atingir os objetivos deste trabalho de aproveitamento de energia, foi desenvolvido um sistema recuperação composto basicamente por cinco partes, que são elas: peneira rotativa, sistema acumulador de água, trocador de calor, sistema CIP e IHM de controle. Na Figura 3.2.1 é apresentado uma visão geral do sistema proposto.

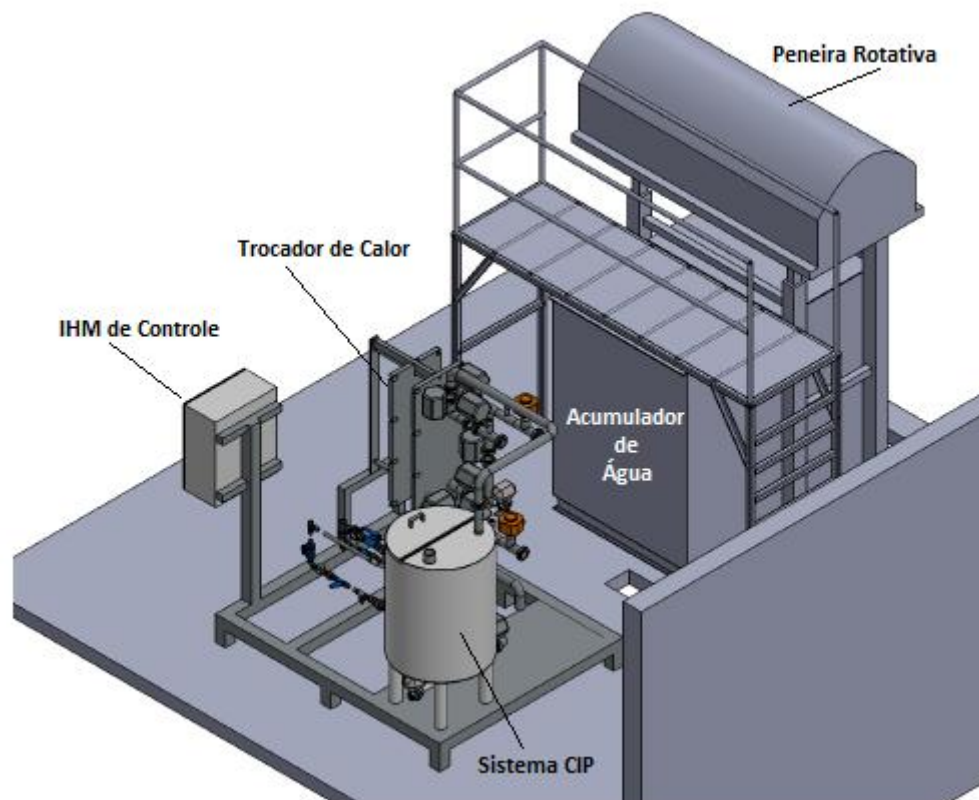


Figura 3.2.1 Sistema para recuperação e aproveitamento de energia

3.2.1.1 Peneira Rotativa

A água de descarte dos chillers é um líquido bastante carregado de gorduras que provém dos frangos que são resfriados neste equipamento. A utilização desta água no trocador a placas torna-se inviável sem que antes seja feita a separação dos resíduos. Esta separação foi conseguida utilizando uma peneira rotativa com capacidade de 25m³/h (figura 3.2.2).



Figura 3.2.2 Peneira Rotativa

Fonte: MCL Vale Indústria e Comércio⁶

O equipamento possui uma malha de 0,5 mm e opera com água gelada a 8°C contendo resíduos sólidos e gordura. Possui um sistema autolimpante, com acionamento automático a cada 10 minutos, podendo variar este tempo, conforme a necessidade (Figura 3.2.3).



Figura 3.2.3 Sistema autolimpante da peneira rotativa.

Fonte: Arquivo Pessoal

3.2.1.2 Sistema acumulador de água;

Após passar pela peneira rotativa, a água do chiller é acumulada em um reservatório de 2,31m³ feito de polipropileno. A escolha do material se deu em função do baixo custo quando comparado com o aço e pela boa resistência térmica (Figuras 3.2.4 e 3.2.5).

⁶ Disponível em: <http://www.mclvale.com.br>

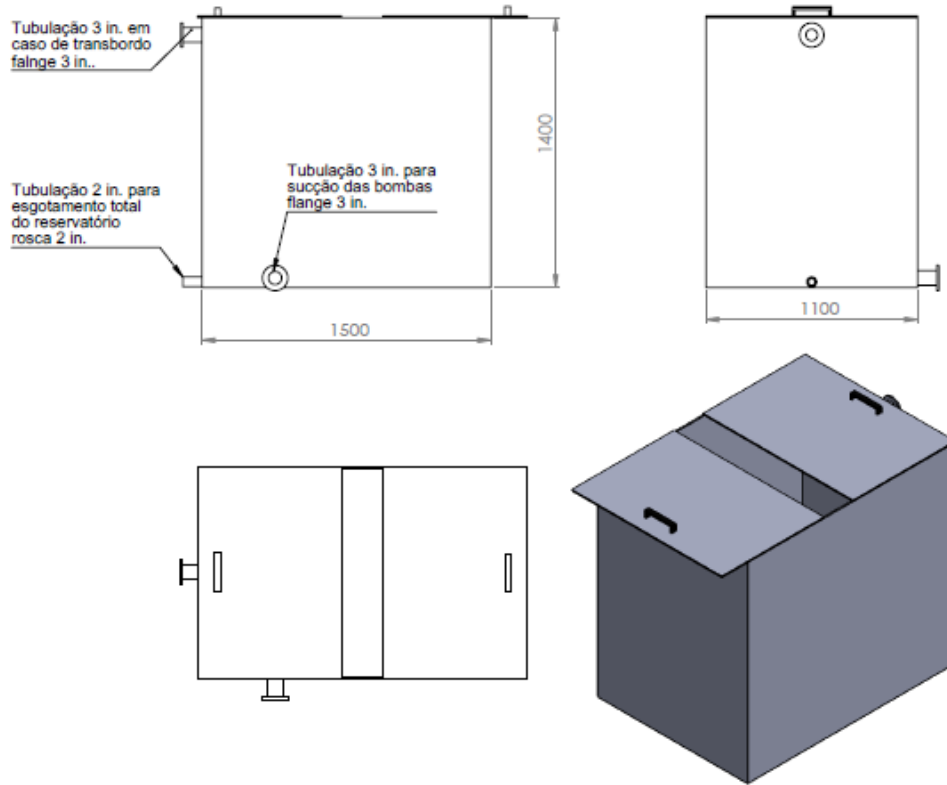


Figura 3.2.4 Dimensões do acumulador de água do chiller



Figura 3.2.5 Acumulador de água do chiller

Fonte: Arquivo Pessoal

3.2.1.3 Trocador de calor;

O trocador de calor utilizado para a troca térmica é do tipo a placas, estrutura em aço carbono e placas em aço inox, com as seguintes condições operacionais:

- Vazão de água na entrada do trocador de calor de 25m³/h com pressão de 3 bar (lado frio);
 - Temperatura da água na entrada do trocador de calor de pelo menos 6° C (água do chiller - lado frio);
 - Vazão de água (temperatura ambiente) na entrada do trocador de calor de 35m³/h com pressão de 4 bar (lado quente);
 - Temperatura da água na entrada do trocador de calor a 24°C (lado quente);
 - Temperatura da água na saída do trocador de calor calculada para chegar ao mínimo possível conforme o dimensionamento adotado (levando em conta a relação custo benefício para a aquisição do equipamento) e considerando o melhor aproveitamento energético do sistema.
- Na Figura 3.2.6 é mostrado o trocador de calor antes da instalação. O estudo da carga térmica e o dimensionamento do trocador de calor serão mostrados na seção 4.1.



Figura 3.2.6 Trocador de calor utilizado no sistema de recuperação de energia

Fonte: Arquivo Pessoal

3.2.1.4 Sistema CIP;

A limpeza CIP (clean in place) é um sistema concebido para limpar todo o interior de equipamentos, tubulações e tanques de armazenamento, através da remoção de resíduos de alimentos e bactérias utilizando limpeza em circuito fechado.

Para este projeto foi concebido um tanque pulmão para solução CIP (água + soda cáustica) em aço inox AISI 304 com capacidade de 200 litros, com semitampa para higienização (Figura 3.2.7) . O tanque possui em seu interior uma serpentina em aço inox AISI 304 (pressão de trabalho 10 bar) para aquecimento indireto da solução. O sistema completo ainda possui os seguintes dispositivos:

- Conjunto de controle e indicação da temperatura da solução CIP com válvula solenóide, filtro, válvula de bloqueio e conexões de interligações na entrada de vapor da serpentina do tanque CIP;
- Sistema de drenagem de condensado da serpentina do tanque CIP, com válvula de bloqueio, purgador, retenções e conexões de interligações;
- Sensores de nível para o tanque de solução CIP;
- Bomba para a circulação da solução CIP entre o trocador de calor e o tanque pulmão da solução, com intervalo do CIP ajustável via IHM;



Figura 3.2.7 Sistema CIP de limpeza.

Fonte: Arquivo Pessoal

O sistema é todo automatizado, ou seja possui um controlador de fluxo na linha de água ambiente, assim quando o fluxo é interrompido o sistema interpreta que deverá ser desligado, entrando automaticamente o sistema CIP (30 min. possibilitando ajustes), após o

sistema CIP operar o equipamento este fica em *Stand By* até o fluxo ser reestabelecido voltando a acionar o sistema.

O sistema CIP possui uma função manual, sendo identificado pelo operador a necessidade de limpeza, o mesmo deverá entrar em funcionamento fazendo o ciclo completo.

3.2.1.5 IHM de controle

A operação do sistema é feita através de uma IHM (*Interface Homem Máquina*) de controle (Figura 3.2.8). Na IHM podem ser visualizados a indicação das temperaturas de entrada e saída do trocador de calor, bem como a vazão de água.

A central IHM possui saídas para comandar a peneira rotativa e a bomba centrífuga da água gelada, ou seja: quando o sistema é acionado, a peneira e a bomba centrífuga da água gelada são acionados também.

O sistema possui uma bomba para água gelada com vazão nominal de 25m³/h com inversor de frequência com uma rampa de partida de 10 min., o inversor modula conforme a quantidade de água gelada no reservatório, ou seja quando o nível está baixo a rotação da bomba diminui e quando está alto a bomba aumenta a rotação mantendo o nível do tanque constante.

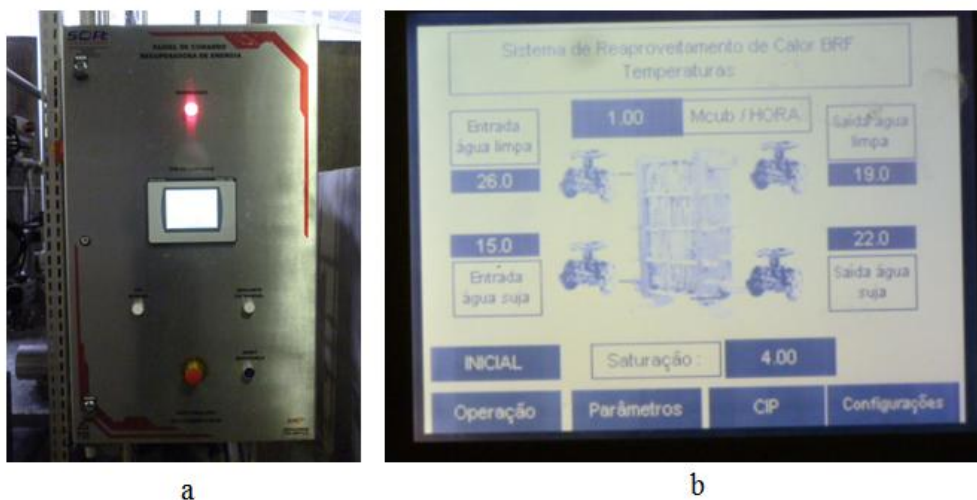


Figura 3.2.8 a) Quadro de comando do sistema com CLP. b) Tela de comando sensível ao toque (Touch Screen)

Fonte: Arquivo Pessoal

4 RESULTADOS

4.1 Estudo da carga térmica

4.1.1 Verificação da água disponível e temperaturas

Através de acompanhamento diário do consumo de água e medições de temperatura no esgoto dos chillers foi determinado a quantidade total de água que será enviada para o acumulador (volume de controle 1) (Figura 4.1.1).

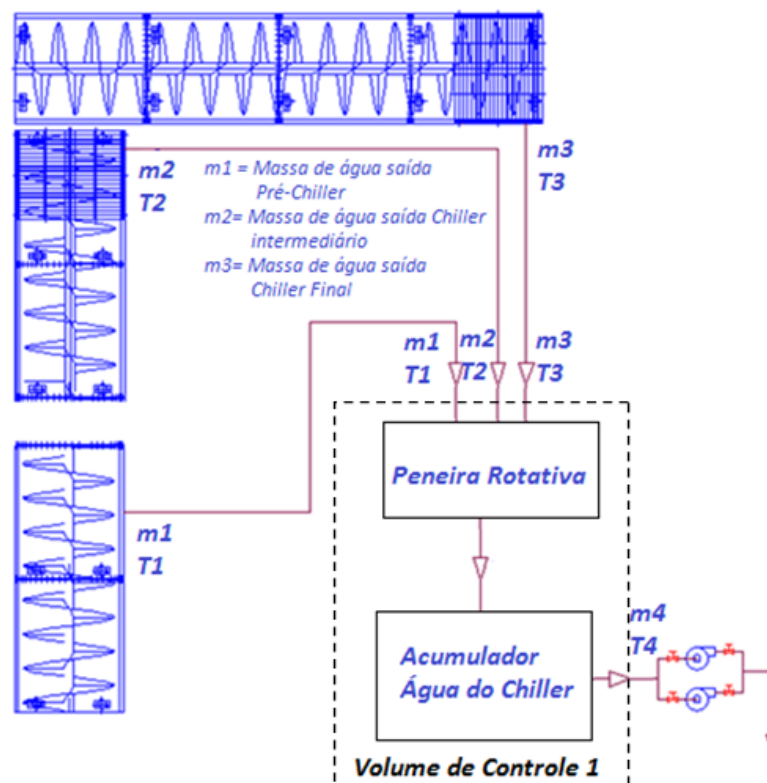


Figura 4.1.1 Volume de controle 1.

Na Tabela 4.1.1 consta, para efeito de cálculo, o levantamento da quantidade média de litros de água por ave em cada chiller de resfriamento e na Tabela 4.1.2 os valores das temperaturas. Os valores foram coletados de janeiro a agosto de 2014, e não há grandes variações nas quantidades, sendo que não havendo mudança significativa na quantidade de aves abatidas, a renovação de água foi considerada constante.

Tabela 4.1.1 Quantidade de água de renovação nos chillers de resfriamento.

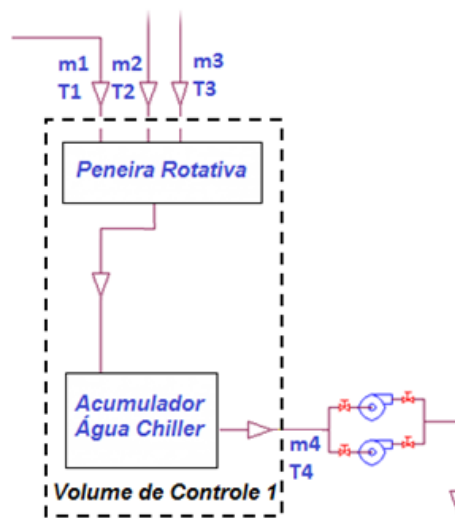
Descrição	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Pré-Chiller (L/AVE)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Intermediário (L/AVE)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Final (L/AVE)	1	1	1	1	1	1	1	1
Aves Abatidas (média/dia)	169468	165908	169030	169051	169006	166969	165710	168552
Total (renovação água do chiller /ave)	457563,6	447951,6	456381	456437,7	456316,2	450816,3	447417	455090,4

Tabela 4.1.2 Valores das temperaturas nas saídas dos chillers.

Descrição	1ª leitura	2ª leitura	3ª leitura	4ª leitura	5ª leitura	6ª leitura	7ª leitura	8ª leitura	9ª leitura	10ª leitura	Média
Pré-Chiller	10,9	11,5	12,9	11,7	14	14,4	13	14	13	14,3	12,97
Intermediária	2,7	1,1	2	1,8	1,7	1,9	2,1	2,5	2	1,8	1,96
Final	1	1,1	0,7	0,8	0,9	1,1	1	1,2	1,3	1,2	1,03

4.1.2 Balanço de massa e energia no acumulador (Volume de Controle 1)

Considerando o número de aves abatidas de 10.200 por hora e uma jornada de 16,9 horas por dia, com os dados da Tabela 4.1.2 (litros / ave), podemos calcular o balanço de massa que passa através do volume de controle 1 (Figura 4.1.2).



Balanço de massa:

$$m_s = m_e$$

$$m_4 = m_1 + m_2 + m_3$$

$$m_4 = 27,54 \text{ m}^3/\text{h}$$

Figura 4.1.2 Balanço de massa no volume de controle 1.

Balanço de energia:

$$e_s = e_e$$

As temperaturas consideradas são as médias das temperaturas lidas no pré-chiller (t_1), chiller intermediário (t_2) e chiller final (t_3), (Tabela 4.1.2).

$$m_4 t_4 = m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3$$

$$t_4 = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3}{m_4}$$

$$t_4 = 5,31^\circ\text{C}$$

4.2 Cálculo da energia disponível

Considerando o volume de controle 2 (Figura 4.2.1), temos:

$t_4 = 5,31^\circ\text{C}$ (temperatura da água do chiller na entrada do trocador);

$m_5 = 35\text{m}^3/\text{h}$ (vazão da água potável na entrada do trocador água/água);

$t_6 = 24^\circ\text{C}$ (temperatura de água potável na entrada do trocador);

$m_4 = 27,57\text{m}^3/\text{h}$ (vazão de água do chiller na entrada do trocador água/água);

$t_5 = 18^\circ\text{C}$ (temperatura da água do chiller saída do trocador água/água);

$t_7 = ?$ (temperatura da água potável na saída do trocador água/água);

$c = 1\text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$ (calor específico da água);

$t_8 = 1^\circ\text{C}$ (temperatura da água potável na saída do trocador água/amônia);

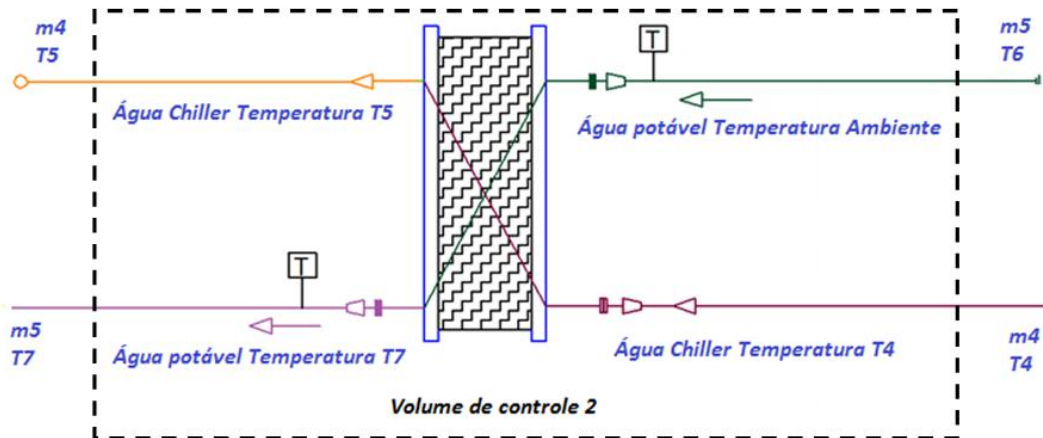


Figura 4.2.1 Volume de controle 2.

Calor retirado da água potável no trocador água/água :

$$Q_1 = m_4 \cdot c \cdot (t_5 - t_4) \rightarrow Q_1 = 349760 \text{ kcal/h}$$

Carga térmica total da água potável:

$$Q_2 = m_5 \cdot c \cdot (t_6 - t_8) \rightarrow Q_2 = 805000 \text{ kcal/h}$$

Carga restante para o trocador de calor água/amônia:

$$Q_3 = Q_2 - Q_1 \rightarrow Q_3 = 455240 \text{ kcal/h}$$

Temperatura de saída da água potável do trocador de calor água/água:

$$Q_1 = m_5 \cdot c \cdot (t_6 - t_7)$$

$$t_7 = t_6 - \frac{Q_1}{m_5 \cdot c} \rightarrow t_7 = 14,02^\circ\text{C}$$

4.2.1 Cálculo de Potência

A performance dos refrigeradores e bombas de calor é expressa pelo coeficiente de performance (COP) definido por (Çengel;Boles, 2013):

$$COP = \frac{\text{Saída desejada}}{\text{Entrada desejada}} = \frac{\text{Efeito de resfriamento}}{\text{Entrada de trabalho}} = \frac{Q_{Liq}}{W_{liq,ent}}$$

Com o auxílio do software EES (Engineering Equation Solver), interface Cool Pack, foi obtido o COP que é uma grandeza adimensional comumente utilizada para avaliar a relação entre a capacidade de refrigeração e o trabalho. O COP obtido para o regime $-3^\circ\text{C}/+35^\circ\text{C}$ (trocador de calor água/amônia) foi de 4,082 (Figura 4.2.2).

CYCLE SPECIFICATION								
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER		REFRIGERANT		
T _E [°C]:	-3,0	ΔT _{SH} [K]:	5	ΔP _{SL} [K]:	0,5	No SGHX	0,30	R717
T _C [°C]:	35,0	ΔT _{SC} [K]:	2	ΔP _{DL} [K]:	0,5			
CYCLE CAPACITY								
Cooling capacity \dot{Q}_c [kW]	10	\dot{Q}_E : 10 [kW]	\dot{Q}_C : 12,24 [kW]	\dot{m} : 0,008973 [kg/s]	\dot{V}_S : 10,91 [m ³ /h]			
COMPRESSOR PERFORMANCE								
Isentropic efficiency η_s [-]	0,7	η_s : 0,700 [-]	\dot{W} : 2,45 [kW]					
COMPRESSOR HEAT LOSS								
Heat loss factor f_G [%]	10	f_G : 10,0 [%]	T ₂ : 119,0 [°C]	\dot{Q}_{LOSS} : 0,245 [kW]				
SUCTION LINE								
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1,0	\dot{Q}_{SL} : 28 [W]	T ₈ : 3,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$: 1,0 [K]				

Calculate	Print	Help	Home	Auxiliary	State Points	COP : 4,082	COP* : 4,093
-----------	-------	------	------	-----------	--------------	-------------	--------------

Figura 4.2.2 Tela do software Coll Pack

Com o valor do COP e da carga térmica retirada da água no trocador de calor água/água (Q_1) pode-se calcular a potência de compressão será economizada.

$$COP = Q_1 / W_{cp}$$

$Q_1 = 349760 \text{ kcal/h}$ (carga térmica a ser retirada do sistema)

COP = 4,082

$$W_{cp} = 99,63 \text{ kW}$$

4.2 Cálculo do diâmetro da tubulação

Com a vazão total de saída do acumulador é possível calcular o diâmetro da tubulação.

$$v = \frac{V}{A} = \frac{4 \cdot V}{\pi d^2}$$

Em tubulações com fluidos em duas fases, ou para líquidos com sólidos em suspensão, recomenda-se uma velocidade mínima de 3m/s para evitar a separação de fases ou o depósito de sólidos (SILVA TELLES, 2006).

$$v = 3\text{m/s (arbitrado)} \quad V = 27,54\text{m}^3/\text{h}$$

$$d = 56,98\text{mm}$$

Diâmetro comercial adotado 2" \approx 50,8 mm

$$v_{calc} = 3,78\text{m/s}$$

4.3 Economia gerada

A redução de energia com o trocador água/água pode ser visualizada na Tabela 4.3.1 tendo como base uma jornada de trabalho de 16,9 horas por dia (tempo de retorno da água), 26 dias produtivos por mês, e 12 meses por ano.

Tabela 4.3.1 Redução de energia com o trocador de calor água / água.

Economia Diária	$W_{cp} \cdot 16,9$	1.683,75 kWh/dia
Economia Mensal	$W_{cp} \cdot 16,9 \cdot 26$	43.777,42 kWh/mês
Economia Anual	$W_{cp} \cdot 16,9 \cdot 26 \cdot 12$	525.329,06 kWh/ano

A instalação de uma bomba de recalque para a água gelada, e também o motorreductor de acionamento da peneira rotativa representam um acréscimo de energia no sistema, conforme descrito na Tabela 4.3.2.

Tabela 4.3.2 Acréscimo de energia no sistema.

Potência	7,5	CV (bomba)
	0,5	CV (reductor)
	5,97 kWh	
Consumo	100,89 kWh/dia	
	2.623,22 kWh/mês	
	31.478,62 kWh/ano	

O Balanço energético do sistema foi obtido subtraindo a potência instalada no sistema (Tabela 4.3.2) da economia gerada devido à instalação do trocador de calor (Tabela 4.3.1). O balanço energético está descrito na tabela 4.3.3.

Tabela 4.3.3 Balanço energético do sistema.

Economia Diária	$1.683,75 - 100,89 =$	1.582,86 kWh/dia
Economia Mensal	$43.777,42 - 2.623,22 =$	41.154,20 kWh/mês
Economia Anual	$525.329,06 - 31.478,62 =$	493.850,44 kWh/ano

4.4 Resultado financeiro

O preço da energia na planta industrial analisada é de R\$0,28/kWh, que multiplicado pelo valor da economia em kWh/mês (Tabela 4.3.3) tem-se um resultado financeiro de **R\$ 11.523,18** por mês e **R\$ 138.278,16** por ano.

4.5 Análise financeira

4.5.1 Orçamento

Como este projeto foi instalado em uma unidade industrial em pleno funcionamento, a análise de custos foi feita conforme as diretrizes corporativas da empresa, a fim de se obter a aprovação para o investimento. Na Tabela 4.5.1, tem-se os valores que foram levantados e apresentados para análise do projeto.

Tabela 4.5.1 Orçamento dos componentes do sistema de recuperação de energia.

Item	Equipamentos (inclui serviços)	UM	Quant.	Unit (\$)	Moeda	Total (R\$)
1	Skid trocador, sistema CIP, peneira rotativa e bomba	Un.	1	220.000	Real	220.000
2	Materiais elétricos	Un.	1	12.000	Real	12.000
3	Mão de obra elétrica	Un.	1	10.000	Real	10.000
4	Materiais mecânicos	Un.	1	32.000	Real	32.000
5	Mão de obra mecânica	Un.	1	12.000	Real	12.000
6	Mão de obra Civil	Un.	1	10.000	Real	10.000
Total Equipamentos						R\$ 296.000,0

Para manutenção dos equipamentos foi considerado 2% do investimento, o que equivale a R\$ 5.920,00 por ano ou R\$ 493,33 por mês.

4.5.2 Taxa interna de retorno modificada (MTIR)

A *TIR modificada* (ou MTIR) é uma forma alterada da taxa interna de retorno e procura corrigir problemas relacionados à diferença de taxas reais de financiamento dos investimentos (despesas com valores negativos) e de aplicação de caixa excedente (receitas com valores positivos) existente no cálculo da TIR.

A principal finalidade da MTIR é estabelecer o retorno de um investimento que contemple a aplicação dos fluxos excedentes por uma taxa de aplicação e os déficits de fluxos por uma taxa de captação.

Sintaxe da função MTIR = (valores; taxa financiamento; taxa reinvestimento).

Na empresa onde este trabalho foi realizado, a MTIR é considerada o principal parâmetro para análise econômica de projetos sendo o fator decisório para a liberação de recursos. Para projetos de eficiência energética o valor da MTIR deve ser de no mínimo 18%. Para cálculo da MTIR utilizou-se a Equação 4.1.

$$MTIR = \left(\frac{-VPL(taxa\ r, valores\ [positivos]) \times (1+taxa\ r)^n}{VPL(taxa\ f, valores\ [negativos]) \times (1+taxa\ f)} \right)^{1/n-1} - 1 \quad (4.1)$$

Sendo:

$$VPL = \sum_{i=1}^n \frac{valores_i}{(1+taxa)^i} \quad (\text{Valor Líquido Presente})$$

taxa f = é a taxa de juros paga sobre o dinheiro usado nos fluxos de caixa;

taxa r = é a taxa de juros recebida nos fluxos de caixa ao reinvesti-los.

Na Tabela 4.5.2 consta os valores do investimento, ganhos e gastos com a implantação do projeto.

Considerando uma taxa de financiamento de 12% e uma taxa de reinvestimento de 10%, tem-se uma MTIR calculada de 22%, logo está acima do valor mínimo de 18%, ou seja, viabiliza a aplicação da proposta.

Tabela 4.5.2 Tabela para cálculo da MTIR.

Investimento →	R\$ 296.000,00	Economia ↓	Manutenção ↑
ano 1	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 2	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 3	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 4	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 5	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 6	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 7	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 8	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 9	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
ano 10	R\$ 138.278,16	R\$ 138.771,49	-493,33
MTIR	22%		

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um estudo de análise energética com a finalidade de evidenciar a quantidade de energia utilizada em um processo industrial, sobretudo aquelas que são perdidas ou não aproveitadas durante o fluxo normal de produção.

Primeiramente tornou-se necessário evidenciar e mensurar a quantidade de água residual disponível (vazão e temperatura).

De posse destes dados, partiu-se para os equipamentos necessários para recuperar a energia perdida. Além do trocador de calor, equipamento fundamental neste projeto, foram utilizados outros componentes para complementar o sistema de recuperação de energia que foi dividido em cinco partes (peneira rotativa, sistema acumulador de água, trocador de calor a placas, sistema CIP de limpeza e IHM de controle).

Após a definição dos equipamentos, foi feito um estudo da carga térmica, cálculo da energia disponível e cálculo da potência.

Os cálculos mostraram que com a instalação do sistema de recuperação de energia, especialmente o trocador de calor água/água, tivemos uma redução de 99,63 kWh na sala de máquinas da geração de frio.

Considerando uma jornada de 16,9 horas diárias e 26 dias por mês, a economia mensal chega a 41.305,80 kWh, isto equivale a R\$ 11.523,18 por mês (R\$0,28/kWh).

Em um processo industrial, todo o custo é comparado com a produção final, ou seja, a energia deve ser medida pelo seu impacto no custo do TPA (toneladas de produto acabado).

O sistema de recuperação de energia trouxe uma economia de 2,04% no indicador de energia, ficando após a implantação do projeto em 251,84kWh/TPA.

A economia gerada, além de economizar R\$ 138.278,16 por ano na conta de energia, possibilitou o desligamento de um compressor de amônia 150 CV, aliviando a operação da sala de máquinas.

Para o futuro, sugere-se investigar a possibilidade de aplicação deste sistema em outros processos em outras indústrias a fim de buscar o melhor aproveitamento energético dos setores produtivos.

Com este trabalho espera-se, através da abordagem direta e simples, fomentar a iniciativa de buscar a eficiência energética, uma vez que apesar de ter sido abordado temas relacionados a termodinâmica e transferência de calor, buscou-se simplificar a análise realizada para que este material torne-se, além de resultado final de um trabalho realizado, um guia de apoio para posterior estudo energético em segmentos industriais semelhantes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARCIOFI, B.A.M. **Estudo do resfriamento de carcaças de frango em chiller de imersão em água**. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ÇENGEL, Y.A; BOLES, M.A; **Termodinâmica**. 7ª Edição. Porto Alegre: Editora AMGH; 2013. 1018p.

ÇENGEL, Y.A; GHAJAR, A.J; **Transferência de Calor e de Massa: Uma abordagem prática**. 4ª Edição. Porto Alegre: Editora AMGH; 2012. 904p.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA – CEFET/BA. **Apostila do Curso de Transferência de Calor**. Salvador. [20--].35p.

DEWITT, D.P.; INCROPERA, F.P.; BERGMAN, T.L.;LAVINE , A.S.; **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos, 2008. 644 p.

DOSSAT, R.J.; **Manual de Refrigeração**. São Paulo: Editora Hemus, 2004. 883p.

GHIZZE, A.; **Manual de trocadores de calor, vasos e tanques**. São Paulo: IBRASA, 1989. 233p

KLASSEN, T. **Uso de redes neurais artificiais para a modelagem da temperatura e da retenção de água no processo de resfriamento de carcaças de frango por imersão**. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)–Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N.; **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos, 2002. 681p.

SILVA TELLES,P.C.; **Tubulações Industriais – Cálculo**. 9ª Edição.Rio de Janeiro: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos, 2006. 163p.

CAVALCANTE, F. **Taxa interna de retorno modificada (MTIR)**. Disponível em www.cavalcanteassociados.com.br/article.php?id=237. Acesso em: 28 out 2014.

BRASIL. Portaria Nº.210, de 10 de novembro de 1998. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: www.agricultura.gov.br. Acesso em: 5 nov. 2014.