

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DE CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA ÊNFASE AUTOMAÇÃO

DANILO JOSÉ MENDES PEDROSO
TALES DELLANE DE ARAUJO

**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE CALOR COM O AUXÍLIO DE
COLETORES SOLARES PARA O AQUECIMENTO DE PISCINAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2016

DANILO JOSÉ MENDES PEDROSO
TALES DELLANE DE ARAUJO

**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE CALOR COM O AUXÍLIO DE
COLETORES SOLARES PARA O AQUECIMENTO DE PISCINAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Walter Denis Cruz Sanchez

CURITIBA
2016

Danilo José Mendes Pedroso
Tales Dellane de Araujo

ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE CALOR COM O AUXÍLIO DE COLETORES SOLARES PARA O AQUECIMENTO DE PISCINAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica Ênfase em Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 24 de Novembro de 2016.

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.
Coordenador de Curso
Engenharia de Controle e Automação

Prof. Amauri Amorin Assef, Dr.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia de Controle e Automação do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Walter Denis Cruz Sanchez, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Joaquim Eloir Rocha, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Roberto Cesar Betini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaríamos de agradecer a Deus, por estar sempre ao nosso lado nos dando forças para superarmos todos os obstáculos que surgiram no decorrer desta jornada para que somente assim, conseguíssemos concluir mais uma etapa de nossas vidas.

Os nossos mais sinceros agradecimentos aos nossos pais, por estarem nos apoiando e sendo nosso alicerce, não somente nesse ciclo que está sendo encerrado, mas em toda nossa vida. Sem vocês nada disso seria possível.

As nossas companheiras, Alyta Queiroz e Silvia Hervàs, pela ajuda, compreensão, carinho e paciência nos momentos que menos merecíamos. Sem o apoio de vocês, essa vitória não seria tão prazerosa.

Aos nossos amigos e familiares que de alguma forma, nos deram palavras de incentivo nos motivando a continuar a nossa jornada.

Gostaria de reverenciar o Prof. Dr. Walter Denis Cruz Sanchez pela sua dedicação e pela orientação nesse trabalho. Obrigado pelos ensinamentos e pela paciência que contribuíram de maneira tão significativa para a conclusão dessa monografia.

Gostaríamos também de agradecer ao Sr. Édio Selzler, por sua dedicação e disponibilidade para nos ajudar sempre quando necessário.

Nosso agradecimento especial a todos os professores, desde o primário até a graduação, que nos capacitaram e nos incentivaram a buscar conhecimento.

E por fim, nossos mais sinceros agradecimentos a todos que nos apoiaram de alguma forma para concluirmos mais uma etapa de nossas vidas.

“A maturidade começa a se manifestar quando passamos a nos preocupar mais com os outros do que com nós mesmos”

(EINSTEIN, Albert)

RESUMO

PEDROSO, Danilo J. M.; ARAÚJO, Tales D. de.; **Estudo Técnico E Econômico da Implantação de um Sistema de Recuperação de Calor Com o Suporte de Coletores Solares Para o Aquecimento de Piscinas**. 2016. 145 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

Com a constante preocupação econômica ocorrida nos últimos anos, a eficiência energética fica em evidência no cenário mundial. Esta eficiência energética pode ser obtida através de avanços tecnológicos, aonde são produzidos equipamentos mais eficientes, ou pode ser obtida através de projetos que visam a redução das perdas em um determinado processo/equipamento. O presente trabalho será desenvolvido para sistemas de aquecimento de piscinas cobertas, visando sempre o aumento da eficiência energética e, conseqüentemente, uma redução de custos. O estudo será ramificado em duas partes, a primeira terá como foco principal o aumento da eficiência energética através da recuperação da energia térmica desperdiçada pelo aquecedores a gás na queima e posterior utilização dessa energia a fim de aumentar a eficiência das bombas de calor. A segunda, visa melhorar a eficiência energética através da utilização de aquecedores solares. O projeto todo será desenvolvido tendo como estudo de caso a piscina da UTFPR – Campus Curitiba (Sede Central), porém a intenção é que o trabalho sirva como base (ou até mesmo inspiração) para projetos semelhantes, pois a piscina é uma das grandes responsáveis pelos gastos com energia da instituição no final do mês.

Palavras chave: Sistema de Aquecimento de Piscinas Cobertas. Aquecedor Solar. Recuperação Gases de Escape dos Aquecedores a Gás. Eficiência Energética.

ABSTRACT

PEDROSO, Danilo J. M.; ARAÚJO, Tales D. de.; **Technical and Economic Studies for Implementation of a Heat Recovery System With Solar Collectors Support For Pool Heating.** 2016. 145 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

With constant economic concern occurred in recent years, energy efficiency becomes evident in the world. This energy efficiency can be achieved through technological improvements, where more efficient equipments are produced or can be obtained through projects aimed at reducing losses in a given process / equipment. This work will be developed for the heating system of indoor pools, always aimed at increasing energy efficiency and hence an economy. The study will be branched in two ways, the first will primarily focus on increasing energy efficiency by recovering the exhaust gas of gas heaters and subsequent use of the gases recovered in the environment of heat pumps. The second aims to improve energy efficiency through the use of solar heaters. The whole project will be developed taking as a case study the pool of UTFPR - Campus Curitiba (Headquarters), but the intention is that the work will serve as a basis (or even inspiration) for similar projects, since commercial and indoor swimming pools are largely responsible for the expenses with energy of the institution at the end of the month.

Key Words: Heating System of Indoor Pools. Solar Heater. Recovery Exhaust Gases of Gas Heaters. Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Instalação de Aquecedor a Gás em Piscina.....	29
Figura 2	– Estrutura Interna do Aquecedor a Gás.....	30
Figura 3	– Estrutura Interna Bomba de Calor.....	33
Figura 4	– Instalação de um Aquecedor Solar em Piscina.....	35
Figura 5	– Placa Coletora Solar.....	36
Figura 6	– Sistema de Recirculação e Tratamento.....	39
Figura 7	– Piscina da UTFPR Campus Curitiba - Sede Central.	49
Figura 8	– Área Aproximada do Ginásio da Piscina da UTFPR - Campus Curitiba, Sede Central.	50
Figura 9	– Área Aproximada da Área do Ginásio da Piscina e da Quadra Coberta da UTFPR – Campus Curitiba.....	51
Figura 10	– Média Anual de Temperatura Durante os anos de 1961 à 2015.	53
Figura 11	– Média Mensal Das Temperaturas Durante o Terceiro Trimestre dos Anos 2005 a 2015.	54
Figura 12	– Radiação Solar Média Diária no Brasil Entre Dezembro e Fevereiro (1995-2005).....	55
Figura 13	– Radiação Solar Média Diária no Brasil Entre Junho e Agosto (1995-2005).	56
Figura 14	– Comparação entre Temperatura e Radiação em Curitiba em 2015.	57
Figura 15	– Circuito Hidráulico Simplificado da Piscina UTFPR (Campus Curitiba - Sede Central).	58
Figura 16	– Bombas de Calor Jelly Fish 120T.....	60
Figura 17	– Aquecedores a gás Orbis Eurotrend.	62
Figura 18	– Sistema Proposto de Reaproveitamento de Calor.	68
Figura 19	– Sistema Proposto de Trocador de Calor	68
Figura 20	– Sistema de Aquecimento com o apoio de coletores solares.	69
Figura 21	– Layout da instalação dos coletores solares.....	70
Figura 22	– Novus LogBox – AA.	73
Figura 23	– Analisador de Qualidade de Energia – MI2292 – METREL.....	75
Figura 24	– Anemômetros Instalados.....	79

Figura 25	– Sensores PT100 Instalados nos Aquecedores a Gás	80
Figura 26	– Ciclo de funcionamento dos aquecedores a gás.....	81
Figura 27	– Analisador de Energia Instalado no Quadro Elétrico da Piscina	84
Figura 28	– Esquema de Ligação do Analisador de Energia.....	84
Figura 29	– Correntes de fase na bomba de calor	85
Figura 30	– Comparação potência aparente, potência ativa e corrente na bomba de calor.....	86
Figura 31	– Instalação do Termopar Tipo J no Entorno da Bomba de Calor nº 2 ...	87
Figura 32	– Temperatura Externa e Potência Ativa na Bomba de Calor.....	88
Figura 33	– Potência Consumida pela Bomba de Calor em Função da Temperatura.....	88
Figura 34	– Sensores PT100 Instalados na Tubulação de Entrada e Saída da Bomba de Calor nº 2.....	90
Figura 35	– Relação do COP com a Temperatura Ambiente Para Temperatura de Entrada da Água entre 28,3°C e 29,5°C.....	91
Figura 36	– Relação do COP com a Temperatura Ambiente Para Temperatura de Entrada da Água entre 29,6°C e 30,6°C.....	91
Figura 37	– Percentual dos Status dos Aquecedores por Temperatura.....	94
Figura 38	– Contribuição Percentual Estimada do Aquecedor Solar Durante o Ano de 2015	100
Figura 39	– Energia Média Mensal para Manter a Temperatura da Piscina em 29,5°C.	101
Figura 40	– Energia Demandada Unicamente Pelas Bombas de Calor e Pelas Bombas de Calor em Conjunto Com os Aquecedores a Gás.....	102
Figura 41	– Energia Demandada Pela Bomba de Calor e Pelo Aquecedor a Gás.....	103
Figura 42	– Desempenho das Bombas de Calor.....	104
Figura 43	– Massa de GLP Consumida Mensalmente.	105
Figura 44	– Energia Consumida Pelas Bombas de Calor e Aquecedores a Gás Para Manter a Piscina Aquecida.....	106
Figura 45	– Gastos Totais com o Sistema de Aquecimento Atual.....	106

Figura 46	– Aumento Percentual do COP para o Aumento de Temperatura no Entorno da Bomba de Calor.....	108
Figura 47	– COP Estimado Após a Recuperação dos Gases de Escape.	109
Figura 48	– Energia Consumida Pelas Bombas de Calor e Aquecedores a Gás Quando o Gás de Escape Está Sendo Reaproveitado.....	110
Figura 49	– Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual com o Auxílio da Recuperação dos Gases de Escape.	110
Figura 50	– Economia Gerada Pelo Reaproveitamento dos Gases de Escape. ...	111
Figura 51	– Potência de Manutenção que Deve ser Suprida Pelos Aquecedores a Gás e Bombas de Calor.	112
Figura 52	– Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual com o Auxílio dos Aquecedores Solares.	113
Figura 53	– Gastos com as Bombas de Calor e Aquecedores a Gás Quando Estão Sendo Auxiliados Pelos Aquecedores a Gás.	113
Figura 54	– Economia Gerada Pelo uso de Aquecedores Solares.....	114
Figura 55	– Comparação do Gasto Mensal Entre o Sistema Atual e os Sistemas Propostos	116
Figura 56	– Comparação do Gasto Anual Entre o Sistema Atual e os Sistemas Propostos	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Relação entre PMEe e Classificação do INMETRO para o Rendimento de Aquecedores Solares para Piscinas.....	37
Tabela 2	– Radiação Solar Diária Mediana em kWh/m ² para cidade de Curitiba.....	57
Tabela 3	– Principais Especificações Bomba de Calor JellyFish BC 120 T.	61
Tabela 4	– Principais Especificações dos Aquecedores a Gás Orbis Eurotrend.	62
Tabela 5	– Cálculo do coeficiente de evaporação.....	64
Tabela 6	– Cálculo da pressão de vapor do ambiente.	65
Tabela 7	– Taxa de transferência de calor por evaporação.	65
Tabela 8	– Dados para o cálculo de perdas por convecção.	65
Tabela 9	– Taxa de transferência de calor por evaporação.	66
Tabela 10	– Perdas Totais	66
Tabela 11	– Coeficiente multiplicativo mensal.	72
Tabela 12	– P _{MEN} dos coletores solares usando o coeficiente multiplicativo.....	72
Tabela 13	– Principais Especificações Data Logger Novus Logboxx-AA.....	74
Tabela 14	– Principais Especificações Analisador de Energia Metrel MI2292.	75
Tabela 15	– Status dos Aquecedores a Gás e Quantidade de Amostras.	82
Tabela 16	– Relação Percentual do Aumento do COP com o Aumento da Temperatura.	96
Tabela 17	– Principais Especificações Aquecedor Solar Soria UR500.....	97
Tabela 18	– Produção Total Estimada Pelos Aquecedores Solares.....	98
Tabela 19	– Gasto Inicial para Instalação dos Aquecedores Solares.	98
Tabela 20	– Percentual de Auxílio dos Aquecedores Solares para Manter a Temperatura da Piscina em 29,5 °C	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento
AG	Aquecedor a Gás
ANAPP	Associação Nacional dos Fabricantes Construtores de Piscinas e Produtos Afins
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AS	Aquecedor Solar
BC	Bomba de Calor
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
cal	Calorias
COP	<i>Coefficient Of Performance</i> (“Coeficiente De Desempenho”)
cv	Cavalo-Vapor
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
DASOL	Departamento Nacional de Aquecimento Solar
FEM	Força Eletromotriz
FINA	Federação Internacional de Natação
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
Hp	<i>Horse-Power</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

PRODIST Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

RGE Recuperação dos Gases de Escape

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{ext}	Área Externa
A_{pisc}	Área de Piscina
$AD\%(T)$	Porcentagem do Tempo que os Aquecedores a Gás Permanecem Desligados em Função da Temperatura
c	Calor Específico
COP_{ANT}	Coefficiente de Desempenho Antes do Aumento de Temperatura No Entorno das Bombas de Calor
COP_{DEP}	Coefficiente de Desempenho Depois do Aumento de Temperatura No Entorno das Bombas de Calor
$COP_{EST/RGE}$	Coefficiente de Desempenho Estimado Após a Recuperação dos Gases de Escape
$COP_{G/RGE}$	Coefficiente de Desempenho Relativo a Todas as Bombas de Calor Após a Recuperação dos Gases de Escape
COP_{MED}	Coefficiente de Desempenho Para Temperatura Média Mensal
COP_{min}	Coefficiente de Desempenho com Base na Temperatura Média Mínima
$COP_{min/RGE}$	Coefficiente de Desempenho com Base na Temperatura Média Mínima com a Recuperação dos Gases de Escape
$COP_{\%RGE}$	Aumento Percentual do Coeficiente de Desempenho Após o Recuperação dos Gases de Escape
E_{AG}	Energia Estimada que Deve ser Fornecida Pelos Aquecedores a Gás
E_{BC}	Energia Estimada que Deve ser Fornecida Pelas Bombas de Calor
EC_{AG}	Energia Consumida Pelos Aquecedores a Gás
$EC_{AG/AS}$	Energia Consumida Pelos Aquecedores a Gás Quando com o Auxílio dos Aquecedores Solares
$EC_{AG/RGE}$	Energia Consumida Pelos Aquecedores a Gás Quando com o Auxílio dos Aquecedores Solares
EC_{BC}	Energia Consumida Pelas Bombas de Calor
$EC_{BC/AS}$	Energia Consumida Pelas Bombas de Calor com o Auxílio dos Aquecedores Solares
$EC_{BC/RGE}$	Energia Consumida Pelas Bombas de Calor com a Recuperação dos Gases de Escape
E_{JBC}	Energia Estimada que Deve ser Fornecida Pelas Bombas de Calor Quando Funcionando em Conjunto com os Aquecedores a Gás

E_{UBC}	Energia Estimada que Deve ser Fornecida Unicamente Pelas Bombas de Calor
h_{conv}	Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção
I	Corrente
M	Massa do Fluido
\dot{m}	Vazão mássica
M_{AG}	Massa de CLP Consumida Pelos Aquecedores a Gás
$M_{AG/AS}$	Massa de CLP Consumida Pelos Aquecedores a Gás Quando o Aquecedor Solar Está Instalado
$M_{AG/RGE}$	Massa de CLP Consumida Pelos Aquecedores a Gás
P	Potência Ativa
$P_{BC/AG}$	Potência que deve ser Fornecida Pelos Aquecedores a Gás e Bombas de Calor Quando o Aquecedor Solar Está Instalado
P_{est}	Produção Unitária de Energia Estimada Pela Placa Coletora Solar
$PMEe$	Produção Mensal Específica de Energia
$PMEe_{est}$	Produção Mensal Específica de Energia Estimado
P_{man}	Potência de Manutenção Da Temperatura da Piscina
P_{men}	Produção Mensal de Energia
$P_{sat}(T)$	Pressão de Saturação
PT_{est}	Produção Total de Energia Estimada Pelos Coletores Solares
$P_{V_{amb}}(T_{amb})$	Pressão de Vapor do Ambiente
$P_{V_{pisc}}(T_{pisc})$	Pressão de Vapor na Superfície da Piscina
\dot{Q}_{conv}	Taxa de Transferência de Calor por Convecção
\dot{Q}_{Escape}	Taxa de Transferência de Calor dos Gases de Escape
\dot{Q}_{evap}	Taxa de Transferência de Calor Por Evaporação

Q_F	Quantidade de Calor da Fonte Fria
\dot{Q}_{Perdas}	Taxa de Transferência de Calor Perdida
Q_Q	Quantidade Calor da Fonte Quente
$\dot{Q}_{rad,conv}$	Taxa de Transferência de Calor da Radiação e Convecção
$\dot{Q}_{Útil}$	Taxa de Transferência de Calor Útil
S	Potência Aparente
t	Tempo em Segundos
T_A	Temperatura no Entorno da Bomba de Calor
T_{amb}	Temperatura Ambiente
T_{ANT}	Temperatura no Entorno das Bombas de Calor Antes do Aumento Ocasionado Pela Recuperação Dos Gases de Escape
T_{DEP}	Temperatura no Entorno das Bombas de Calor Depois do Aumento Ocasionado Pela Recuperação Dos Gases de Escape
T_E	Temperatura de Entrada da Água na Bomba de Calor
T_{entra}	Temperatura de Entrada do Fluido
T_{min}	Temperatura Média Mínima Para os Valores de Temperatura Mínima Abaixo de 15 °C Para os Meses de 2015
$T_{min/RGE}$	Temperatura Média Mínima com a Recuperação dos Gases de Escape
T_{pisc}	Temperatura da Água da Piscina
T_{sai}	Temperatura de Saída do Fluido
A_{evap}	Coefficiente Modificado de Evaporação
$\Delta\theta$	Varição de Temperatura
ϕ_{AMB}	Umidade Relativa do Ambiente
η	Rendimento do Aquecedor a Gás
ρ	Massa Específica do Fluido

$\$_{AG}$	Preço Pago pelo Consumo de Gás nos Aquecedores a Gás
$\$_{AG/AS}$	Preço Pago pelo Consumo de Gás nos Aquecedores a Gás Quando o Aquecedor a Gás Está Instalado
$\$_{AG/RGE}$	Preço Pago pelo Consumo de Gás nos Aquecedores a Gás Depois da Recuperação dos Gases de Escape
$\$_{ATUAL}$	Preço Pago Para o Sistema de Aquecimento Atual
$\$_{ATUAL/AS}$	Preço Pago Para o Sistema de Aquecimento Atual com o Auxílio dos Aquecedores Solares
$\$_{ATUAL/RGE}$	Preço Pago Para o Sistema de Aquecimento Atual com o Auxílio da Recuperação dos Gases de Escape
$\$_{BC}$	Preço Pago pela Energia Consumida das Bombas de Calor
$\$_{BC/AS}$	Preço Pago pela Energia Consumida das Bombas de Calor com Auxílio dos Aquecedores Solares
$\$_{BC/RGE}$	Preço Pago Pela Energia Consumida das Bombas de Calor com Auxílio da Recuperação dos Gases de Escape
% AS	Porcentagem de Auxílio dos Aquecedores Solares na Manutenção da Temperatura da Piscina
% BC/AG	Porcentagem de Aquecimento que Deve ser Fornecida Pelas Bombas de Calor e Aquecedores a Gás Quando o Aquecedor Solar Está Instalado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	TEMA.....	21
1.1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	22
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	24
1.3	OBJETIVOS.....	25
1.3.1	OBJETIVO GERAL.....	25
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
1.4	JUSTIFICATIVA.....	25
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	26
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1	AQUECEDORES A GÁS.....	28
2.1.1	INSTALAÇÃO.....	29
2.1.2	FUNCIONAMENTO.....	29
2.1.3	RENDIMENTO.....	30
2.2	BOMBAS DE CALOR	31
2.2.1	FUNCIONAMENTO.....	32
2.2.2	RENDIMENTO.....	33
2.3	AQUECEDORES SOLARES.....	34
2.3.1	INSTALAÇÃO.....	34
2.3.2	FUNCIONAMENTO	35
2.3.3	RENDIMENTO.....	36
2.4	ECONOMIA DE ENERGIA EM PISCINAS	37
2.5	SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO E TRATAMENTO.....	38

2.6	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	39
2.6.1	MÉTODO CALORÍMETRICO	40
2.7	PERDAS NA PISCINA.....	43
2.7.1	PERDAS POR EVAPORAÇÃO	43
2.7.2	PERDAS POR CONVECÇÃO	45
2.8	MONITORAMENTO ELETRÔNICO DE DADOS.....	45
2.9	SENSORES DE GRANDEZAS FÍSICAS.....	46
2.10	MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS.....	47
3	PRÉ DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DA PISCINA	49
3.1	ESTUDO PISCINA UTFPR – CAMPUS CURITIBA (SEDE CENTRO)	49
3.1.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	50
3.1.2	LOCALIZAÇÃO.....	52
3.1.3	TEMPERATURA EXTERNA.....	52
3.1.4	RADIAÇÃO SOLAR.....	54
3.1.5	CIRCUITO HIDRÁULICO	57
3.1.6	SISTEMA DE AQUECIMENTO	59
3.1.7	PERDAS DE ENERGIA.....	63
3.1.8	GASTOS COM O SISTEMA DE AQUECIMENTO DA PISCINA	66
3.2	SISTEMA PROPOSTO DE REAPROVEITAMENTO DE CALOR	67
3.3	SISTEMA PROPOSTO DE AQUECEDOR SOLAR.....	69
3.3.1	PREMISSAS PARA INSTALAÇÃO DOS COLETORES SOLARES.....	69
3.3.2	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO MENSAL DE ENERGIA DOS COLETORES SOLARES.....	71
3.4	EQUIPAMENTOS PARA A COLETA DE DADOS.....	72
3.4.1	NOVUS LOGBOX-AA.....	73
3.4.2	METREL MI2292	75

3.5	FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE DADOS	76
4	DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DA PISCINA.....	78
4.1	AQUECEDORES A GÁS.....	78
4.2	BOMBAS DE CALOR	83
5	SOLUÇÕES PROPOSTAS.....	93
5.1	REAPROVEITAMENTO DOS GASES DE ESCAPE.....	93
5.1.1	RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA NO ENTORNO DAS BOMBAS DE CALOR E O STATUS DOS AQUECEDORES A GÁS	93
5.1.2	GANHO DE TEMPERATURA NO ENTORNO DA BOMBA DE CALOR	94
5.1.3	EFEITO DO AUMENTO DE TEMPERATURA NA BOMBA DE CALOR	95
5.2	SISTEMA ATUAL COM O AUXILIO DE AQUECEDORES SOLARES.....	96
5.2.1	DEFINIÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO DO AQUECEDOR SOLAR	97
5.2.2	CONTRIBUIÇÃO DE ENERGIA DOS AQUECEDORES SOLARES	99
5.3	ANÁLISE FINANCEIRA.....	100
5.3.1	GASTOS ATUAIS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO	100
5.3.2	ECONOMIA NO REAPROVEITAMENTO DOS GASES DE ESCAPE	106
5.3.3	ECONOMIA NO USO DE COLETORES SOLARES	112
5.3.4	COMPARAÇÃO GASTOS ANUAIS.....	115
6	CONCLUSÃO	118
7	REFERÊNCIAS.....	120
APÊNDICE A	– Relação Entre a Temperatura e a Potência Média Aparente	130
APÊNDICE B	– Temperatura Ambiente e Status dos Aquecedores a Gás	131
APÊNDICE C	– Energia Mensal de Manutenção para Manter a Temperatura da Piscina em 29,5°C.....	132

APÊNDICE D	– Energia Demandada Unicamente Pelas Bombas de Calor e Pelas Bombas de Calor em Conjunto Com os Aquecedores a Gás	133
APÊNDICE E	– Energia Demandada Pela Bomba de Calor e Pelo Aquecedor a Gás	134
APÊNDICE F	– Energia Consumida Pelas Bombas de Calor	135
APÊNDICE G	– Massa de GLP Consumida Mensalmente	136
APÊNDICE H	– Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual	137
APÊNDICE I	– Aumento Percentual do COP para o Aumento de Temperatura no Entorno da Bomba de Calor	138
APÊNDICE J	– COP Estimado Após a Recuperação dos Gases de Escape	139
APÊNDICE K	– Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual com o Auxílio da Recuperação dos Gases de Escape	140
APÊNDICE L	– Economia Gerada Pelo Reaproveitamento dos Gases de Escape	141
APÊNDICE M	– Potência de Manutenção que Deve ser Suprida Pelos Aquecedores a Gás e Bombas de Calor Quando os Aquecedores Solares Estão Instalados	142
APÊNDICE N	– Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual com o Auxílio dos Aquecedores Solares	143
APÊNDICE O	– Economia Gerada Pelo uso de Aquecedores Solares	144
APÊNDICE P	– Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual e dos Sistemas de Aquecimento Propostos	145

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

De acordo com Lamartine DaCosta (DACOSTA, 2005), o número de praticantes ocasionais de natação no Brasil em 2004 era de 11 milhões e esse número vem crescendo desde então. Uma prova disso é que um ano antes do maior evento esportivo mundial, as Olimpíadas 2016, que foram realizadas no Brasil, o aumento nas vendas de artigos esportivos de modalidades olímpicas foi significativo.

Segundo Marcelo Chammas, diretor comercial da Netshoes, uma das maiores empresas no ramo esportivo do Brasil, a venda de artigos para natação registrou um crescimento de 75% no primeiro semestre de 2015, se comparado com o mesmo período de 2014 (LORDELLO, 2015).

Segundo a ANAPP – Associação Nacional dos Fabricantes Construtores de Piscinas e Produtos Afins (ANAP, 2015) – que coloca o Brasil como o segundo colocado mundial em número de piscinas construídas, perdendo apenas para os Estados Unidos – o Brasil possui 2 milhões de unidades instaladas em seu território, movimentando anualmente aproximadamente R\$ 4,5 bilhões em construção, instalação e principalmente manutenção de piscinas, SPAs, entre outros produtos e serviços desse segmento.

Até 1952, em regiões mais frias do Brasil, como por exemplo a sul e sudeste, o uso de piscinas era limitado à temporada de banho devido a temperatura da água. Para contornar esse problema foram desenvolvidos sistemas de aquecimento de piscinas. Segundo Lamartine DaCosta (DACOSTA, 2005), a primeira piscina aquecida no Brasil foi inaugurada em 1952 na cidade de Água Branca-SP, com 25m de comprimento. Essa piscina é utilizada para competições oficiais até hoje.

Segundo a FINA – Federação Internacional de Natação (FINA, 2015), a temperatura da água em piscinas de natação deve estar entre 25°C e 28°C para os atletas profissionais.

Com o avanço tecnológico, o aquecimento de piscinas vem se tornando mais eficiente e econômico. Atualmente são três os tipos de aquecimento mais utilizados em piscinas, sendo estes o aquecimento a gás, aquecimento através do uso de bombas de

troca de calor e aquecimento através de coletores solares. O princípio de funcionamento hidráulico e controle de temperatura desses sistemas possui características semelhantes, pois todos se baseiam em uma bomba que leva água até o componente aquecedor e em seguida retorna aquecida. Já o controle é realizado através de sensores que acionam ou desligam o sistema, conservando a temperatura desejada. Para Ronaldo Yano Toraiwa, engenheiro da DASOL – ABRAVA (Departamento Nacional de Aquecimento Solar da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento), a maior diferença entre os sistemas está na fonte de energia que cada sistema necessita (CORSINI, 2011).

Cada sistema de aquecimento tem sua característica própria, apresentando prós e contras. Desta forma é sempre importante realizar um estudo que leve em conta todos os aspectos dos sistemas de aquecimento, e geralmente, achar a solução que seja economicamente mais atraente.

Um sistema que possui uma maior eficiência energética, é muitas vezes mais econômico e, desta forma, os estudos realizados devem considerar a eficiência energética como um dos principais fatores. Visto isso, o presente trabalho visa a maximização da eficiência energética de um sistema de aquecimento para piscinas através da recuperação do calor dos gases de escapamento de aquecedores a gás. O aproveitamento da energia térmica presente nos gases de escape dos aquecedores a gás é realizado pelas bombas de troca de calor. Por fim, é proposto um sistema híbrido de aquecimento, formado por bombas de calor, aquecedores a gás e coletores solares.

1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho tem por finalidade propor melhorias energéticas nas piscinas cobertas e aquecidas que possuam pelo menos dois tipos diferentes de aquecimento, o aquecimento pode ser através de bombas de calor ou aquecedores a gás. Desta forma, é objetivado uma maior eficiência energética do sistema, aproveitando-se do calor desperdiçado pelos gases de escapamento dos aquecedores a gás, a fim de reutilizá-lo nas bombas de calor e também através do auxílio de coletores solares. Como base para o estudo, foi utilizada a piscina da Universidade Tecnológica do Paraná – Campus Curitiba, sede central. Atualmente, o sistema de aquecimento da piscina em questão conta com quatro bombas de calor e dois aquecedores a gás.

Visto que o sistema de aquecimento da piscina da universidade possui dois tipos diferentes de aquecimento e o estudo da aplicação de coletores solares para o aquecimento é abordado, este projeto discute três métodos de aquecimento, sendo estes, aquecimento a gás, bombas de troca de calor e coletores solares.

Independente de condições climáticas, o aquecimento a gás pode ser usado em piscinas durante o ano todo, porém a queima de gás gera a emissão de poluentes e possui um alto custo de manutenção. As bombas de calor, em geral, são uma excelente opção para o aquecimento de piscinas. Além de possuírem uma instalação mais simples que os demais sistemas, geram menor dano ao ambiente, pois seu funcionamento se baseia na troca de calor com o ambiente, retirando ar quente e devolvendo ar frio. Outro ponto positivo desse sistema é a economia que se pode conseguir se comparado com aquecimento a gás, sendo esta, algumas vezes, acima de 50%. Porém, esse sistema é ineficaz em temperaturas baixas, geralmente menores que 10°C, devido ao seu modo de operação. Por fim, o uso de energia solar em sistemas de aquecimento em piscinas vem crescendo gradativamente, pois o Sol é uma fonte de energia limpa, gratuita e em abundância. Sistemas baseados em energia solar são os mais econômicos e ecologicamente corretos se comparados com aquecimento a gás e bombas de troca de calor. Contudo o seu uso é limitado, pois o sistema é pouco aproveitável em dias nublados ou chuvosos (VIDAESOL.COM.BR, 2015).

Para implantar um sistema de aquecimento devemos analisar vários fatores como localização geográfica, clima predominante, volume da piscina, área da superfície da piscina, percentagem diária e anual de uso do sistema, custo de implantação e manutenção de sistemas auxiliares, infraestrutura do prédio onde a piscina está localizada, fatores ambientais, entre outros. Não se pode dizer que existe um modelo ideal para um sistema de aquecimento de piscinas, pois somente após uma análise minuciosa de tais fatores é possível definir qual sistema se adequa melhor e trará mais vantagens ao ser implantado.

Novamente focando na eficiência energética do sistema, o presente trabalho tem dois focos distintos, o aproveitamento da energia térmica dissipada na atmosfera pelos gases de escapamento dos aquecedores a gás, e a utilização de coletores solares para auxiliar no aquecimento da piscina. O primeiro consiste basicamente de uma tubulação

que direciona os gases de escapamento dos aquecedores a gás até um trocador de calor presente no ambiente onde se encontram as bombas de calor.

Finalmente, para que o estudo seja completo, foram levantados dados do sistema atual, e por fim foi realizada uma análise técnica e econômica das modificações necessárias para implantação dos dois sistemas propostos.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O aquecimento a gás é usado no processo de aquecimento de água em piscinas devido ao seu modo de operação que independe de condições climáticas, sendo principalmente utilizadas em regiões onde a temperatura durante o inverno é relativamente baixa, pois nessas regiões o uso de bombas de troca de calor e coletores solares durante esse período se torna inviável. Desta maneira o uso de aquecedores a gás é intensificado, fazendo com que haja um aumento dos gases liberados pela combustão, sendo estes gases uma das maiores fontes de emissão de poluentes (CARVALHO; LACAVA, 2003).

Porém, o principal problema referente ao sistema de aquecimento a gás está relacionado com sua eficiência, pois apresentam um baixo rendimento devido as perdas térmicas (STARKE, 2013). As perdas térmicas do aquecimento a gás podem ser de vários tipos, tais como, perdas por combustão química incompleta, perdas ao meio ambiente, entre outras. Porém a principal energia desperdiçada no aquecimento a gás está nos gases de escape (LORA, 2000).

De forma a otimizar o sistema, a energia térmica liberada pelos aquecedores a gás através dos gases de escapamento pode ser aproveitada pelas bombas de calor, assim o presente trabalho estudou um sistema de recuperação de calor visando melhorar a eficiência energética do sistema de aquecimento de água.

Um sistema de aquecimento que aproveita a energia térmica desperdiçada nos gases de escape poderia trazer benefícios ambientais e econômicos. Além disso, a implantação de coletores solares também seria uma alternativa interessante devido a fonte de energia ser limpa, gratuita e inesgotável (DASOL – ABRVA, 2015).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Estudar um sistema de aquecimento híbrido para piscinas cobertas utilizando-se de bombas de calor, aquecedores a gás e coletores solares, visando a maximização da eficiência energética do sistema. O presente trabalho foi baseado na utilização em conjunto de aquecedores a gás e bombas de calor, de forma que haja um aproveitamento da energia térmica desperdiçada nos gases de escapamento dos aquecedores a gás, sendo este aproveitamento através das bombas de calor e também foi proposto a implantação de coletores solares, visando uma maior eficiência energética do sistema.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

No que concerne aos objetivos específicos, alguns tópicos listados a seguir foram desenvolvidos no decorrer do presente trabalho, são eles:

- Levantar dados sobre a situação atual do sistema de aquecimento da piscina piloto, sendo esta localizada na UTFPR – Campus Curitiba;
- Discutir os métodos de aquecimento utilizados em piscinas;
- Estudar um sistema de aquecimento visando o aproveitamento da energia térmica desperdiçada nos gases de escape dos aquecedores a gás;
- Propor um sistema de redirecionamento de gases de escapamento dos aquecedores a gás para o ambiente onde se encontram as bombas de calor, sendo esta localizada na UTFPR – Campus Curitiba;
- Estudar a viabilidade técnica e econômica dos coletores solares para auxiliar no sistema de aquecimento;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica dos sistemas propostos;
- Comparar o sistema existente e os sistemas propostos;
- Emitir documento do trabalho;

1.4 JUSTIFICATIVA

Nas regiões Sul e Sudeste, a temporada de calor é reduzida ao período de Dezembro à Março, devido à isso, o uso de sistemas de aquecimento de piscinas é necessário se quisermos aumentar a temporada de banho (STARKE, 2013).

Devido as condições climáticas existentes em Curitiba, onde a média de temperatura durante o inverno é de 13°C (CURITIBA.PR.GOV.BR, 2016), o uso de aquecedores a gás em piscinas é essencial, pois seu funcionamento não depende das condições climáticas existentes. Durante esse período, o uso dos aquecedores a gás é intensificado (pois as bombas de calor são pouco eficientes em baixas temperaturas), conseqüentemente gerando mais poluentes e aumentando o custo com gás e manutenção.

Como citado anteriormente, Starke (STARKE, 2013) acredita que o principal problema do sistema de aquecimento a gás está relacionado com sua eficiência, pois apresenta um baixo rendimento devido as perdas térmicas.

Enfatizando as perdas térmicas geradas pelo aquecimento a gás, a implantação de um sistema de aquecimento onde as bombas de troca de calor aproveitem a energia térmica desperdiçada através dos gases no escape poderia ocasionar uma redução nos custos com energia e com manutenção, além de diminuir a emissão de gases poluentes e aumentar a eficiência energética do sistema. A implantação de coletores solares auxiliando no sistema de aquecimento pode ser uma alternativa altamente eficaz, pois em dias ensolarados, o uso desse tipo de sistema traria muitos benefícios devido a fonte de energia ser ilimitada, sustentável e gratuita.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A primeira fase destinou-se ao aprimoramento dos conhecimentos dos presentes acadêmicos, através da revisão bibliográfica, dos inúmeros conteúdos que fazem parte do desenvolvimento da proposta, tais como fundamentos de transporte e transferência de calor, físicas em geral, gestão financeira, painéis solares, queimadores de combustível, entre outros.

Na segunda fase foi realizado um estudo aprimorado da instalação que está sendo utilizada atualmente para que a piscina piloto (UTFPR – Campus Curitiba – Sede Centro) seja aquecida. Nesta segunda fase primeiramente realizou-se pesquisas sobre os equipamentos que estão instalados, a fim de verificar os quão eficientes eles são e observar sua frequência de utilização. Em seguida fez-se necessário verificar os gastos que estão envolvidos com os equipamentos que estão sendo utilizados atualmente.

A terceira fase consistiu em realizar estudos relacionados ao projeto de aproveitamento de calor dos gases gerados pelo escape dos aquecedores a gás. Foi proposto um sistema de redirecionamento de gases de escapamento dos aquecedores a gás para o ambiente onde se encontram as bombas de calor. O estudo teve por finalidade avaliar a viabilidade técnica e econômica da aplicação do projeto, assim como, o quão impactante o projeto seria no melhoramento da eficiência energética do sistema de aquecimento.

A quarta fase teve como objetivo o estudo dos coletores solares como uma fonte auxiliar para realizar o aquecimento da piscina. Nesta fase fez-se necessário considerar a relação entre o preço para implantar a tecnologia e a economia mensal gerada pela mesma, de forma a verificar em quanto tempo haveria o retorno do investimento.

Por fim a quinta, e última, fase consistiu em emitir um parecer baseado nas fases anteriores e, por fim, verificar a viabilidade técnica e econômica do projeto de aproveitamento de calor das perdas térmicas dos aquecedores a gás nas bombas de calor, assim como, a viabilidade da implantação da tecnologia de coletores solares para o aquecimento das piscinas.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento seguinte trabalho será feito através de cinco capítulos, que podem ser visualizados a seguir:

- Capítulo 1 – Introdução – Apresentação do Tema, Premissas, Objetivos Principais;
- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica;
- Capítulo 3 – Pré Diagnóstico Energético da Piscina;
- Capítulo 4 – Diagnóstico Energético dos Sistemas de Aquecimento da Piscina;
- Capítulo 5 – Soluções Propostas;
- Capítulo 6 – Conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O aquecimento de piscinas cobertas é essencial para a prática de esportes, de forma que há um Decreto Regulamentar nº 5/97 de 31 de março, que especifica, nos artigos 31º a 33º, os limites de temperatura para piscinas aquecidas entre 24°C a 30°C. Este aquecimento demanda uma quantidade enorme de energia, conseqüentemente possui um grande custo, e deve ser feito da maneira mais eficiente possível. Como já citado anteriormente, o aquecimento das piscinas se dá basicamente por três tipos distintos: Bombas de Calor, Aquecedores a Gás e Painéis Solares. Desta forma, os tópicos sucessores retratam de forma detalhada cada um dos três tipos de aquecimento citados. Após a avaliação dos tipos principais de aquecimento, é abordada a questão do circuito hidráulico na piscina e finalmente é discutido os métodos para a avaliação dos resultados deste trabalho.

2.1 AQUECEDORES A GÁS

Atualmente o aquecedor a gás é o sistema mais utilizado para o aquecimento de piscinas (ENERGY.GOV [a], 2016) e com o avanço da tecnologia pode-se notar que os novos modelos de aquecedores a gás estão cada vez mais eficientes, alguns deles chegando a 95% de eficiência (MICHIGAN.GOV, 2016), entretanto, dependendo do uso e do clima, eles podem não ser tão eficientes quanto as bombas de calor e os aquecedores solares. O método de aquecimento a gás para piscinas pode ser feito a partir do gás natural ou do propano.

Os aquecedores a gás podem ser escolhidos, dentre outras características, de acordo com suas capacidades de aquecimento, pela sua eficiência e/ou por seus custos. A capacidade de aquecimento é normalmente fornecida em Btu (British thermal unit) para equipamentos norte americanos e britânicos, e fornecida em cal (calorias) para equipamentos de demais regiões, onde 1 Btu é equivalente a 252,2 cal. Para a escolha do aquecedor a gás ideal é necessário avaliar todos esses principais fatores, além de verificar a qualidade do fabricante/modelo do mesmo.

Por fim, deve-se atentar que com o passar dos anos o trocador de calor interno do aquecedor a gás vai perdendo a eficiência, mas com a manutenção correta essa perda pode ser minimizada. A manutenção preventiva, em geral, deve ocorrer anualmente (ENERGY.GOV [a], 2016).

2.1.1 INSTALAÇÃO

Observando a Figura 1 é possível analisar o aquecimento genérico de uma piscina realizado por um aquecedor a gás. A água morna sai da piscina pelas tubulações 7, 8 e 9, em seguida passa por uma bomba de circulação hidráulica (6), logo após passa por um filtro afim de retirar as impurezas (5), depois a água segue para o aquecedor a gás (1) e, por fim, a água quente é retornada para a piscina através de uma tubulação (10).

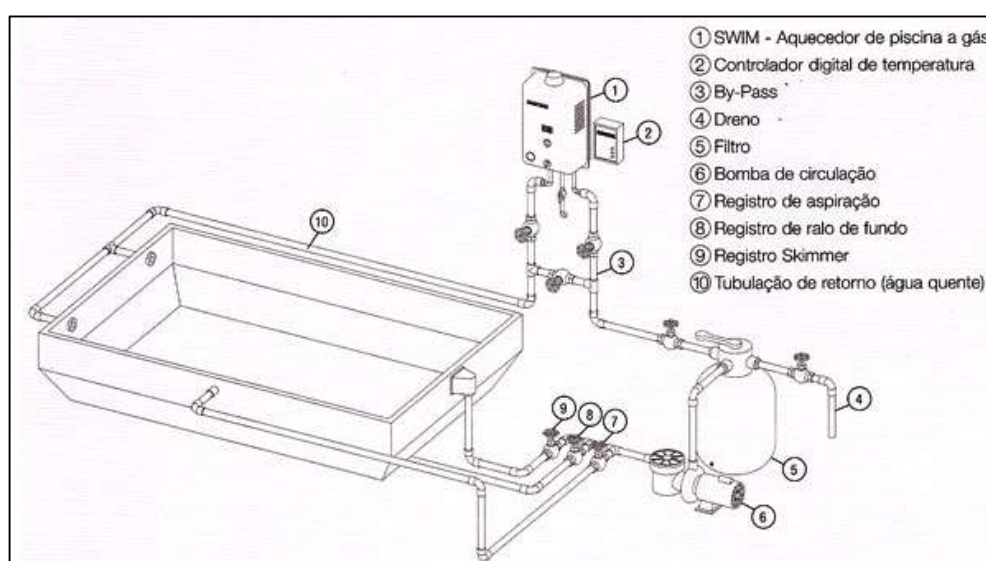


Figura 1 – Instalação de Aquecedor a Gás em Piscina.

Fonte: Oceânicas Piscinas & Saunas (OCEANICAS.COM.BR, 2016).

2.1.2 FUNCIONAMENTO

Internamente o aquecedor a gás funciona como um trocador de calor, como pode ser observado na Figura 2. Há ainda um microprocessador que verifica a temperatura da água quente na saída do aquecedor e regula a válvula de entrada do gás, de forma a manter a temperatura da água no limite desejado. Por fim, é possível observar a entrada de ar frio na parte inferior do aquecedor e a saída de ar quente (e gás) na parte superior do mesmo, o ar é necessário para combustão e o mesmo deve ser eliminado na parte superior para que não haja sobreaquecimento do aquecedor. A energia térmica presente no gás de escape foi estudado na proposta deste projeto.

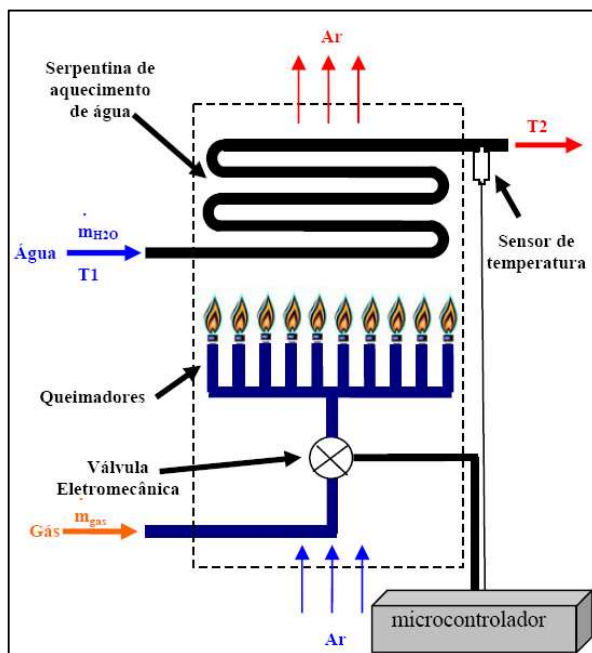


Figura 2 – Estrutura Interna do Aquecedor a Gás.

Fonte: Laboratório de Mecânica e Controle (LAMECC, 2016).

2.1.3 RENDIMENTO

Os modelos de aquecedores a gás atuais chegam a apresentar um rendimento de 89% a 95%. Isso significa que há uma eficiência muito maior do que os modelos antigos, desta forma, as vezes uma simples troca de aquecedores a gás pode resultar em uma grande economia.

Segundo o Ministério de Minas e Energia, portaria interministerial nº298 de 16 de setembro de 2008, o cálculo do rendimento dos aquecedores a gás (η) é determinado pela razão entre a quantidade de energia térmica absorvida por uma massa de água de forma a provocar uma variação positiva na temperatura da mesma, e pela quantidade de energia térmica disponível a partir da combustão completa do gás. Esse rendimento pode ser visualizado na forma matemática na Equação 1.

$$\eta = \frac{Q_{Util}}{Q_{Disp.}} \quad (1)$$

Onde Q_{Util} é a quantidade de calor útil e $Q_{Disp.}$ é a quantidade de calor disponível para a realização do aquecimento. A quantidade de calor disponível pode ser abordada como sendo a soma da quantidade de calor útil e a quantidade de calor perdida, conforme é visto na Equação 2.

$$Q_{Disp.} = Q_{Util} + Q_{Perdas} [J] \quad (2)$$

Deste modo a Equação 1 pode ser reescrita substituindo o valor da quantidade de calor disponível pela Equação 2. O resultado pode ser visto na Equação 3.

$$\eta = \frac{Q_{Util}}{(Q_{Util} + Q_{Perdas})} \quad (3)$$

2.2 BOMBAS DE CALOR

Essencialmente há dois tipos de bombas de calor, as primeiras funcionam a partir do ar como fonte de calor (mais comum) e as segundas funcionam a partir da água (SOLARDIRECT.COM, 2016). No presente trabalho as bombas de calor abordadas têm seu funcionamento a partir do ar como fonte de calor.

A instalação da bomba de calor é exatamente conforme a Figura 1 (Página 29), obviamente com a devida troca do aquecedor a gás por uma bomba de calor. Da mesma maneira que ocorre com os aquecedores a gás, as bombas de calor também são vendidas de acordo com a sua capacidade de aquecimento, sendo a sua unidade o Btu quando nos referenciamos a modelos norte americanos e britânicos, porém quando nos referenciamos a modelos de outros lugares, usamos cal como unidade. Além disso, elas também são classificadas de acordo com a sua potência elétrica, sendo a unidade o hp (horse-power) nos modelos norte americano e britânico e em cv (cavalo-vapor) nos demais modelos, onde 1 hp é igual a 1,01387 cv. Para a escolha ideal da bomba de calor é necessário avaliar vários fatores, mas os principais são a área da piscina em questão e a diferença entre a temperatura do ar e da piscina (ENERGY.GOV [b], 2016).

Finalmente, por se tratar de um equipamento com partes mecânicas em movimento, além de partes elétricas, é necessário que haja uma manutenção periódica. Contudo, com uma boa manutenção e instalação, as bombas de calor têm vida útil de mais de 10 anos (ENERGY.GOV [b], 2016).

2.2.1 FUNCIONAMENTO

O seu funcionamento é baseado no aproveitamento do calor do ar do ambiente e pode ser representado por quatro estágios de acordo com a Figura 3: [1] Um ventilador atua como agente de sucção de ar no ambiente e o direciona para a bobina de evaporação, na parte inferior da bobina evaporadora temos o chamado líquido refrigerante, já na parte superior da mesma, após a troca de calor com o ar absorvido da atmosfera, o líquido refrigerante se torna gás; [2] Este gás é direcionado até o compressor, onde ocorre um processo de aumento da pressão e conseqüentemente um aumento de temperatura do gás; [3] O gás quente é levado até o condensador, e é neste momento que a água da piscina é aquecida e retornada para a mesma, pois há o processo de transferência de calor do gás aquecido para a água da piscina morna; [4] Por fim, no final do processo de condensação, o gás quente se transforma novamente em gás morno e passa por uma válvula de expansão, onde este gás morno muda para o estado líquido e o processo recomeça.

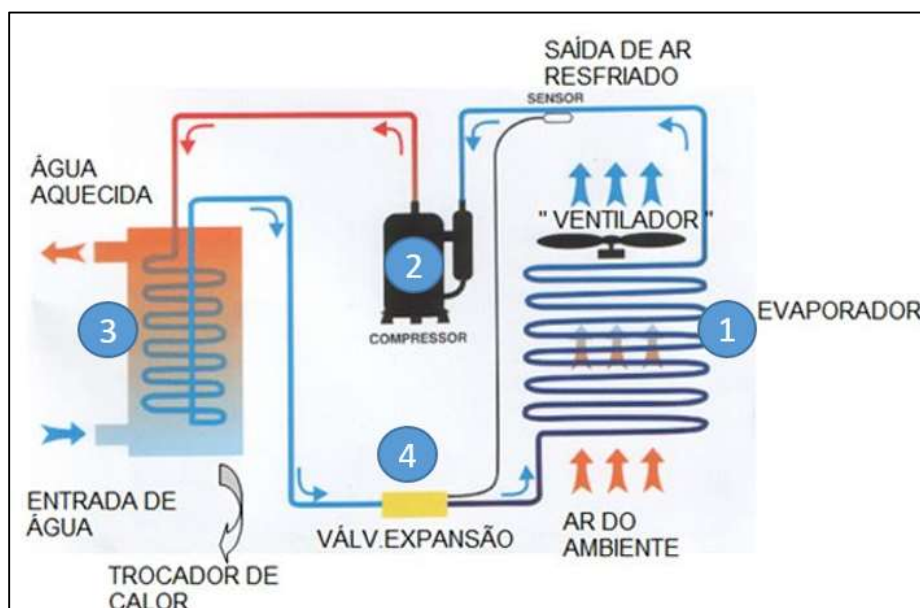


Figura 3 – Estrutura Interna Bomba de Calor.

Fonte: Bernardes, 2016.

2.2.2 RENDIMENTO

As bombas de calor possuem uma eficiência muito alta, geralmente entre 300% a 700%, significando que a geração de calor na saída da bomba de calor é muito maior do que o consumo de energia elétrica, que é a entrada do sistema. A eficiência da mesma é medida em COP (Coefficient Of Performance), e quanto maior for o COP, mais eficiente é a bomba de calor em questão. Entretanto, o rendimento das bombas de calor decai a medida que temperaturas mais baixas são atingidas e, dependendo do modelo, elas deixam de funcionar para temperaturas menores que 8°C (ENERGY.GOV [b], 2016).

As bombas de calor recebem uma transferência líquida de energia em forma de trabalho, realizando assim um processo contrário ao natural. No caso das bombas de calor, a quantidade de calor da fonte fria e o trabalho entram na bomba de calor, e o mesmo fornece uma quantidade de calor a uma temperatura superior a temperatura de entrada (CALEFFI, 2009). O cálculo do COP pode ser visto na Equação 4.

$$COP = \frac{Q_{\text{útil}}}{W} \left[\frac{J}{s.Watts} \right] \quad (4)$$

Onde o $Q_{\text{útil}} [\frac{J}{s}]$ é a quantidade de calor fornecido para a água e o $W [Watts]$ é o trabalho consumido pela bomba de calor.

2.3 AQUECEDORES SOLARES

Os aquecedores solares muitas vezes, dependendo do clima, aparecem como uma excelente alternativa para redução de custos, contudo eles só realizam a sua função quando há a presença de radiação solar. Logo, por questões práticas, o mesmo não deve ser a única fonte de aquecimento da piscina, mas sem dúvida em regiões aonde há alta incidência de radiação solar, ele é uma alternativa interessante para gerar uma boa economia no final do mês.

Um dos principais fatores a serem analisados antes da implementação de um aquecedor solar, é o clima da região onde a piscina está localizada. Também é importante estar atento a orientação e inclinação dos coletores solares em relação ao sol (ENERGY.GOV [c], 2016). É dependendo desse estudo que é estimada a área que os coletores solares devem abranger. Segundo Corsini (CORSINI, 2011), no Brasil essa área deve ser entre 50% a 120% (dependendo da região) em relação a área da piscina.

Finalmente, se tratando de um equipamento relativamente simples, com a adequada manutenção, o sistema perfeitamente realizará sua função de maneira satisfatória entre 10 a 20 anos. Desta forma, caso haja uma checagem regular do sistema de filtragem e do balanço de químicos presente na água, raramente a manutenção será necessária. (ENERGY.GOV [c], 2016).

2.3.1 INSTALAÇÃO

Como, em geral, o aquecedor solar necessita de outro sistema de aquecimento para o funcionamento diário, um sistema de instalação generalista pode ser observado na Figura 4. Neste sistema em questão o aquecedor solar e o aquecedor auxiliar estão ligados em paralelo, mas o mesmo também pode ser ligado em série. Desta forma quanto mais quente for a saída da água dos coletores solares, menos energia será gasta pelo aquecimento auxiliar (Geralmente uma bomba de calor ou um aquecedor a gás).

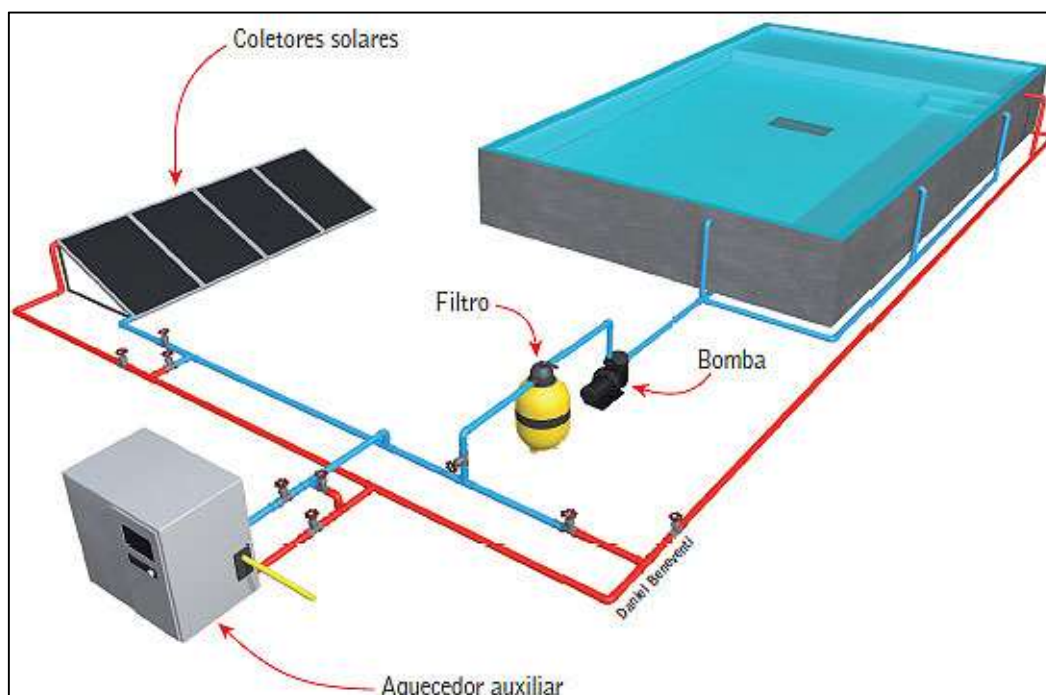


Figura 4 – Instalação de um Aquecedor Solar em Piscina.

Fonte: Corsini, 2011.

2.3.2 FUNCIONAMENTO

O funcionamento do aquecimento solar é simples, aonde os coletores solares são compostos por duas tubulações principais, sendo estas de diâmetros maiores (1) e várias tubulações que interligam as tubulações principais (2), como pode ser visto na Figura 5 . Neste processo a água entra morna por uma das tubulações principais, é aquecida através da troca de calor realizada nas tubulações menores e pôr fim a água sai aquecida na outra tubulação principal, oposta a primeira. De acordo com Corsini (2011), no processo de troca de calor é importante que a superfície do coletor seja a mais escura possível ou que seja construída com tubos de vidro especiais, afim de absorver melhor a radiação solar. É importante observar que o aquecedor solar absorve tanto as radiações solares diretas, quanto as difusas (radiações que alcançam a superfície da Terra a partir de todas as direções).



Figura 5 – Placa Coletora Solar.

Fonte: Sparta Piscinas e Spas (SPARTA, 2016).

2.3.3 RENDIMENTO

Todos os cálculos envolvendo aquecedores solares brasileiros devem ser baseados na norma da ABNT NBR 15747-2 de 11 de setembro de 2009 (ABNT, 2009). Visando avaliar a eficiência dos coletores solares, é essencial o cálculo da Produção Mensal Específica de Energia (PMEe), dada em $kWh/mês.m^2$, sendo esta a razão entre a Produção Mensal de Energia (P_{men}) e a Área Externa (A_{ext}) dos coletores. A Equação 5 descreve o cálculo a ser realizado.

$$PMEe = \frac{P_{men}}{A_{ext}} \left[\frac{kWh}{mês.m^2} \right] \quad (5)$$

A Produção Mensal de Energia é baseada nos valores da quantidade de calor útil diário, que por sua vez é calculada a partir de diversos fatores, tais como o Fator de Rendimento Médio, o Fator de Correção para o Ângulo de Incidência, a Radiação Solar Global Incidente e a Área de Abertura do coletor.

Além disso, a INMETRO classifica o rendimento dos aquecedores solares para aquecimento de piscinas segundo a PMEe. A Tabela 1 mostra a relação da PMEe e a classificação da INMETRO.

Tabela 1 – Relação entre PMEe e Classificação do INMETRO para o Rendimento de Aquecedores Solares para Piscinas.

Faixas de classificação de Coletor Solar - Aplicação Piscina	
Classe	Produção Específica Mensal (kWh/mês.m ²)
98,0 < PMEe	A
90,0 < PMEe ≤ 98,0	B
80,0 < PMEe ≤ 90,0	C
70,0 < PMEe ≤ 80,0	D
65,0 < PMEe ≤ 70,0	E

Fonte: INMETRO, 2016.

2.4 ECONOMIA DE ENERGIA EM PISCINAS

Conforme já abordado no início do tópico principal do capítulo, o aquecimento de uma piscina demanda uma grande quantidade de energia, visto que a massa de água é significativa, e, desta maneira há um gasto financeiro muito elevado para a realização do referido aquecimento. O sistema de ventilação e o aquecimento da piscina chegam a ser responsáveis por até 65% do consumo total de energia em centros de lazer e esporte que contenham piscina (ABB.COM, 2016). Logo, escolher o tipo ideal de aquecimento é de fundamental importância para uma economia no final do mês.

No presente trabalho são consideradas piscinas comerciais e cobertas, especificamente a piscina localizada na UTFPR – Campus Curitiba – Centro, de forma que o aquecedor a gás é de grande importância, pois, dentre os três sistemas de aquecimento abordados neste estudo, este é o único que independe de condições climáticas externas para realizar o aquecimento. Contudo, as bombas de calor e

aquecedores solares podem ser usadas como forma de aquecimento complementares de forma a minimizar os gastos.

Obviamente todos os sistemas possuem vantagens e desvantagens, como já fora detalhado separadamente nos tópicos anteriores relativos a cada tipo específico de aquecimento de piscinas. Para determinar qual ou quais sistemas de aquecimento devem ser usados, é necessário que seja feito um estudo da piscina a ser aquecida, para isso, devem ser considerados fatores tais como a frequência de uso, clima local, temperatura desejada, tamanho da piscina, entre outros. Esse estudo deve ser feito com muita seriedade, visto que o mesmo pode significar mudanças significativas nas contas de energia do final do mês.

Relativo a este trabalho, o sistema de aquecimento é misto, possuindo bombas de calor e aquecedores a gás. Deste modo, é realizado uma análise para avaliar a economia gerada pelo aproveitamento dos gases de escape dos aquecedores a gás nas bombas de calor. Além disso, também é realizado um estudo sobre os benefícios econômicos obtidos por uma possível utilização de aquecedores solares.

2.5 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO E TRATAMENTO

O sistema de recirculação e tratamento (Figura 6) é composto por toda a tubulação e equipamentos que são responsáveis pela filtragem, aquecimento e desinfecção da água (RENATOMASSANO.COM.BR, 2016). Todas as questões que envolvem o sistema de recirculação e tratamento devem obedecer aos critérios especificados nas normas da ABNT, NBR 10339 de junho de 1988 (ABNT, 1988).

A entrada da água da piscina neste sistema de recirculação deve ocorrer através dos ralos de fundo, coadeiras e, dispositivos de aspiração [1]. Logo após, a água fria passa por um pré-filtro, aonde são retiradas as sujeiras maiores [2], e em seguida uma motobomba aumenta a velocidade da água que está nas tubulações [3]. Após passar pela motobomba, a água passa pelo filtro, de forma a retirar as impurezas que não foram retiradas pelo pré-filtro [4]. A seguir a água fria é conduzida até o sistema de aquecimento, aonde a água fria se torna quente [5]. Neste ponto, se houver necessidade, a água quente é misturada com produtos químicos [6] e, por fim a água quente retorna à piscina através dos bocais de retorno, ou dispositivo de retorno [7], conforme mostra a Figura 6.

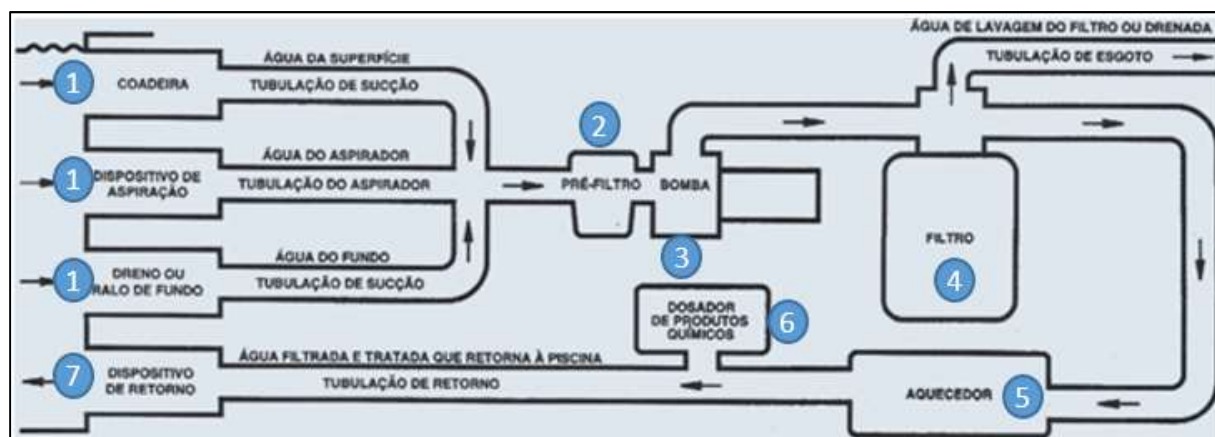


Figura 6 – Sistema de Recirculação e Tratamento.

Fonte: Renato Massano – Soluções em Hidráulica (RENATO, 2016).

2.6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Analisando a eficiência energética dos sistemas de aquecimento de piscinas que possuam pelo menos uma bomba de calor e um aquecedor a gás para realizar o aquecimento da mesma, uma maneira de otimizar esse sistema é através da recuperação de energia térmica desperdiçada pelos gases de escape liberados nos aquecedores a gás. Para calcular o quanto de energia é recuperável, primeiro é necessário calcular o quanto de energia está sendo desperdiçada, isto é, a taxa de transferência de calor que está sendo desperdiçada pelos gases de escape dos aquecedores a gás.

Quando é realizado um trabalho envolvendo transferência de calor, os conceitos de temperatura e calor devem estar muito bem definidos. Referente à temperatura, a primeira ideia que surge é a ideia do “quente” e do “frio”. Segundo Young e Freedman (YOUNG e FREEDMAN, 2008), a temperatura está relacionada com o estado físico do material, que através de uma descrição quantitativa, indica se o material está quente ou frio.

Quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados juntos ocorrerá uma transferência de calor do corpo mais quente para o corpo mais frio, até que haja o equilíbrio térmico. Sempre que há diferença de temperatura entre um meio, ou entre meios, haverá necessariamente transferência de calor. Também chamada de “fluxo de calor” ou simplesmente “calor”, a transferência de calor pode ser definida como a energia

térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço (INCROPERA, 2008). Por isso, não existe “quantidade de calor em um corpo”, o que existe é uma energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura (YOUNG e FREEDMAN, 2008).

Na área térmica existem duas maneiras de mensurar o calor, sendo uma delas através do método termodinâmico e a outra através do método calorimétrico (transferência de calor). Por mais que as interações envolvendo o calor sejam fundamentais na primeira e segunda lei da termodinâmica, ela não considera os métodos que permitem a transferência de calor e nem os métodos para calcular essa taxa de transferência, isto é, a termodinâmica é focada em calcular a energia necessária para que haja mudança no estado de equilíbrio de um sistema, necessariamente eliminando gradientes de temperatura, pois um gradiente de temperatura é um processo de não equilíbrio termodinâmico. Devido a isso, o método calorimétrico, ao contrário do método termodinâmico, é capaz de quantificar a taxa de transferência de calor que ocorre em grau em um sistema desequilibrado em termos termodinâmicos (INCROPERA, 2008).

Sendo assim, o trabalho proposto irá considerar apenas o método calorimétrico, pois na transferência de calor do aquecedor a gás para água há um gradiente térmico.

2.6.1 MÉTODO CALORÍMETRICO

Como citado anteriormente, para calcular a quantidade de energia térmica que pode ser recuperada em um sistema de aquecimento a gás, deve-se primeiramente saber o quanto de energia que está sendo desperdiçada. Para isso deve-se utilizar o método de transferência de calor (calorimetria).

Segundo Young & Freedman (YOUNG e FREEDMAN, 2008), transferência ou fluxo de calor ocorre quando há uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios, fazendo com que haja uma transferência de energia produzida do meio mais quente para o meio mais frio, e essa energia é denominada calor. Para fins matemáticos a unidade utilizada para quantificar calor é a caloria. Também chamada cal, a caloria pode ser definida como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma grama de água de 14,5°C para 15,5°C.

Sendo a caloria uma energia em trânsito, podemos relacioná-la com unidades mecânicas conhecidas, como o Joule (J). Como a caloria não é uma unidade do Sistema

Internacional de medidas, o Comitê Internacional de Pesos e Medidas recomenda o uso de Joules como unidade de medida para qualquer tipo de energia. Sendo assim, deve-se saber que 1 caloria (cal) equivale a 4,186 Joules (J) (YOUNG e FREEDMAN, 2008).

Uma maneira para calcular o quanto de energia está sendo desperdiçado por um aquecedor a gás é conhecendo o seu rendimento. O cálculo deste rendimento pode ser realizado a partir da Equação 3. Para calcular a $Q_{\acute{u}til}$, deve-se levar em consideração que todo líquido é um fluido incompressível (ANDRADE, 2016), isto é, um fluido que apresenta resistência à redução de volume próprio. E levando em consideração que um líquido incompressível possui variação de energia mecânica e trabalho, incluindo trabalho de escoamento, desprezíveis, pode-se calcular a taxa de transferência de calor útil através da equação simplificada (Equação 6) da energia térmica para sistemas com escoamento em regime estacionário (INCROPERA, 2008).

$$\dot{Q}_{\acute{u}til} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta\theta \text{ [J]} \quad (6)$$

Onde \dot{m} é a vazão mássica do fluido dada em kg/s, c é o calor específico do fluido dado em J/(kg.K), e $\Delta\theta$ é a diferença entre a temperatura de saída e a temperatura de entrada do fluido ($T_{\text{sai}} - T_{\text{entra}}$) dada em Kelvin.

A vazão mássica, \dot{m} , pode ser definida como a massa de um determinado fluido escoando em um determinado tempo (RODRIGUEZ, 2016). Desta forma, a vazão mássica pode ser calculada a partir da Equação 7.

$$\dot{m} = \frac{M}{t} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (7)$$

Onde M é a massa do fluido, dada em Quilos (Kg), e t é o tempo dado em segundos (s).

A vazão mássica também pode ser calculada a partir do produto do vetor velocidade \vec{V} com a área orientada \vec{A} , conforme mostra a Equação 8.

$$\dot{m} = \rho \cdot \vec{V} \cdot \vec{A} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (8)$$

Onde ρ é a massa específica do fluído, ou também chamada de densidade do fluído dada em kg/m^3 , \vec{A} é a área orientada da secção transversal do canal através do qual o fluído escoada dada em m^2 , e \vec{V} é o vetor velocidade de escoamento do fluído dado em m/s (INCROPERA, 2008).

De acordo com a Segunda Lei da termodinâmica, é impossível qualquer sistema passar por um processo de transferência de calor sem que haja perdas (YOUNG e FREEDMAN, 2008). Dessa maneira, nunca o rendimento de um aquecedor a gás será de 100%. Como citado anteriormente o rendimento de um aquecedor a gás é definido pela Equação 3.

E o presente trabalho tem foco na Q_{perdas} , que é a energia térmica desperdiçada pelo aquecedor. Segundo Strobel (STROBEL, 2016), o que reduz de maneira drástica o rendimento de um queimador são as perdas que ocorrem através dos gases de escape, porém não são apenas por meio dos gases de escape que ocorrem todas as perdas de energia de um sistema térmico. As perdas também podem ocorrer por combustão química incompleta, contudo, em teoria essas perdas podem ser desconsideradas pois, normalmente em aquecedores a gás, é fornecida uma quantidade segura de ar para que ocorra a combustão química completa. Outra maneira de ocorrer perdas térmicas se faz através da convecção e radiação, isto é, o calor perdido devido ao arrefecimento externo do aquecedor. Isso se explica porque seu corpo externo possui uma temperatura acima da temperatura ambiente.

De acordo com a Portaria n.º 119, de 30 de março de 2007 do INMETRO (INMETRO, 2007), se o aquecedor a gás opera com potência nominal, a temperatura máxima da capa do aquecedor deve ser no máximo 60°C . Levando em consideração essa norma do INMETRO, as perdas por radiação e convecção devem ser relativamente baixas, e para efeito de cálculo, essas perdas, no presente estudo, são consideradas em 5% que seria o caso mais pessimista, visto que, em um queimador rudimentar com envoltório de tijolo refratário e alvenaria comum, as perdas por radiação e convecção podem chegar a 6% (STROBEL, 2016). Desta forma, a taxa de transferência de calor

perdida pode ser considerada como a soma da taxa de transferência de calor perdida pelos gases de escapamento com a taxa de transferência de calor perdida por radiação e convecção, vista na Equação 9.

$$\dot{Q}_{Perdas} = \dot{Q}_{Escape} + \dot{Q}_{rad,conv} [J] \quad (9)$$

Finalmente, com todos os conceitos acima bem definidos, e feitas as considerações relevantes sobre o sistema de aquecimento em estudo, pode-se calcular a quantidade de energia que está sendo desperdiçada através dos gases de escape.

2.7 PERDAS NA PISCINA

As piscinas cobertas e aquecidas estão sujeitas a uma série de fatores que promovem a perda de calor da piscina para o ambiente ao redor. Dessas perdas, as mais importantes (as mais expressivas) são as perdas por convecção e as perdas por evaporação. Contudo, ainda há perdas por condução para o solo, perdas por radiação e perdas pela água de reposição, que não são consideradas neste trabalho (BIGLADDERSOFTWARE.COM, 2016). Dentre os fatores que interferem neste processo de perda de calor, estão a temperatura da piscina, a temperatura ambiente, a velocidade do vento, entre muitos outros.

Como as perdas são oriundas das taxas de transferência de calor (\dot{Q}), ou seja, a quantidade de calor durante um determinado tempo, é possível estimar a quantidade média de potência necessária para que a temperatura da piscina seja mantida na temperatura desejada. A seguir os cálculos de perda de calor por evaporação e por convecção são apresentados detalhadamente.

2.7.1 PERDAS POR EVAPORAÇÃO

A taxa de transferência de calor por evaporação em uma piscina está associada com o fluxo mássico da água que evapora. Para o cálculo do mesmo é necessário saber a diferença de pressão de vapor na superfície da água e no ar ambiente, a área da superfície da piscina (A_{pisc}) e o coeficiente modificado de evaporação (α_{evap}) (STARKE, 2013). Esta relação pode ser vista na Equação 10 a seguir, onde $Pv_{pisc}(T_{pisc})$ é a pressão

de vapor na superfície da piscina a qual se encontra à temperatura da piscina e $Pv_{amb}(T_{amb})$ é a pressão de vapor do ambiente à temperatura ambiente.

$$\dot{Q}_{evap} = A_{pisc} \cdot \alpha_{evap} \cdot [Pv_{pisc}(T_{pisc}) - Pv_{amb}(T_{amb})] \left[\frac{J}{s} \text{ ou } W \right] \quad (10)$$

Avaliando todas as variáveis independentemente, temos que a A_{pisc} pode ser calculada simplesmente pela multiplicação do comprimento e da largura da piscina. Já o coeficiente de evaporação pode ser calculado de diversas maneiras, sendo que vários autores definem o coeficiente de evaporação empiricamente de maneiras diferentes, o modelo aqui utilizado será o modelo de ASHARE (2003) que depende exclusivamente da velocidade do vento, ω , em m/s medida a uma altura de 0,3 metros da piscina e pode ser calculado pela Equação 11 abaixo (STARKE, 2013).

$$\alpha_{evap} = 89,00 + 78,20 \cdot \omega \left[\frac{W}{^{\circ}C \cdot Pa \cdot m^2} \right] \quad (11)$$

Referente a pressão de vapor, ela é definida como sendo o produto de dois fatores, a pressão de saturação da água e a umidade relativa. A umidade relativa pode ser medida no ambiente, já a pressão de saturação é definida na Equação 12 dependendo exclusivamente da temperatura (STARKE, 2013).

$$P_{sat}(T) = 100 \cdot (4,802 \cdot 10^{-3} + 7,104 \cdot 10^{-4} \cdot T - 3,52 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 7,22 \cdot 10^{-7} \cdot T^3) [^{\circ}C \cdot Pa] \quad (12)$$

Considerando que a umidade relativa na superfície da piscina é 100%, temos que a $Pv_{pisc}(T_{pisc})$ é igual a pressão de saturação da água na temperatura da piscina, ou seja, $P_{sat}(T_{pisc})$. Enquanto que a $Pv_{amb}(T_{amb})$ é o produto entre a umidade relativa do ar ambiente, ϕ_{amb} , com a pressão de saturação da água na temperatura ambiente, $P_{sat}(T_{amb})$. Com isso é possível estimar a taxa de transferência de calor que está sendo perdida em forma de evaporação.

2.7.2 PERDAS POR CONVECÇÃO

As perdas por convecção ocorrem devido a diferença entre temperaturas da superfície da piscina e a temperatura ambiente, pois a temperatura mais quente se torna menos densa. Portanto a taxa de transferência de calor por convecção pode ser determinada pelo produto da área de superfície da piscina (A_{pisc}), do coeficiente de transferência de calor por convecção (h_{conv}) e pela diferença de temperatura entre a piscina e o ambiente, conforme vista na Equação 13 (STARKE, 2013).

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} \cdot A_{pisc} \cdot (T_{pisc} - T_{amb}) \left[\frac{J}{s} \text{ ou } W \right] \quad (13)$$

Sabendo o comprimento e largura da piscina, a temperatura do ambiente e da piscina, só resta o cálculo do coeficiente de convecção para a taxa de transferência de calor por convecção ser determinada. Deste modo, a partir da definição empírica feita por Czarnecki, temos que o coeficiente de transferência de calor é dado pela Equação 14 (STARKE, 2013), que é dependente exclusivamente da velocidade do vento (ω).

$$h_{conv} = 3,1 + 4,1 \cdot \omega \left[W / (m^2 \cdot ^\circ C) \right] \quad (14)$$

2.8 MONITORAMENTO ELETRÔNICO DE DADOS

Com o avanço tecnológico, os processos começaram a ser monitorados de maneira eletrônica, este fato se tornou muito importante, pois a partir da monitoração eletrônica de dados, os processos se tornaram cada vez mais seguros e eficientes. A parte de segurança pode ser explicada pelo fato que o aparelho eletrônico pode identificar alguma anomalia na grandeza monitorada e emitir algum alarme, ou até mesmo atuar de maneira a acabar com a anomalia. No que concerne a eficiência do processo, alguns equipamentos eletrônicos são capazes de armazenar, analisar, ou controlar alguma grandeza física.

Atualmente há uma variedade enorme de fabricantes que atuam no segmento dos equipamentos eletrônicos que realizam a monitoração do processo, e também há uma variedade enorme de funções que esses equipamentos podem realizar. Inclusive

muitos desses equipamentos podem realizar a monitoração de múltiplas variáveis ao mesmo tempo.

Um equipamento muito conhecido é o “Data Logger”, que é utilizado exclusivamente para a medição e registro de parâmetros físicos durante um determinado intervalo de tempo. Eles podem ser utilizados nas mais diversas áreas, tais como a monitoração de maquinários, monitoração do clima, monitoração da velocidade de algum veículo, entre outras áreas. Os parâmetros físicos que são mais comuns de serem monitorados são a pressão, a temperatura, tensão, corrente, aceleração, deformação e força (NI.COM, 2016).

Outro equipamento muito importante é o analisador de energia elétrica, pois para o funcionamento correto e eficiente dos equipamentos é necessário que a qualidade da energia que os alimente esteja de acordo com as normas regulamentadoras do setor elétrico. Logo, os analisadores de energia verificam se a qualidade da energia está de acordo com os padrões e permite a identificação de falhas na rede elétrica. Esses padrões são determinados pelo PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), que por sua vez são normas que regulam a relação entre os distribuidores de energia elétrica e os consumidores da mesma. O PRODIST faz parte da ANEEL e o módulo 8 destas normas é referente a qualidade da energia elétrica. Segundo este módulo, são oito fatores que interferem na qualidade de energia, tanto em regime permanente, quanto em regime transitório. São eles: tensão em regime permanente; fator de potência; harmônicos; desequilíbrio de tensão; flutuação de tensão; variações de tensão de curta duração; e variação de frequência (ANEEL.GOV.BR, 2016).

2.9 SENSORES DE GRANDEZAS FÍSICAS

Muitos são os parâmetros físicos que podem ser monitorados e, dependendo do processo, a monitoração destes é de extrema importância, seja pela segurança ou pela otimização de determinado processo. Para que seja feita essa monitoração, descrita no tópico anterior, é necessário que haja sensores que colem as informações das grandezas físicas. Apesar de alguns sensores monitorarem uma mesma grandeza física, eles podem se diferenciar pelo princípio de funcionamento.

Referente a temperatura, são considerados, nesse estudo, dois sensores com princípios de funcionamento diferentes, o PT-100 e o termopar. O PT-100 é um sensor de temperatura conhecido como termoresistência (ou bulbo de resistência), e ele é baseado no princípio de variação de resistência ôhmica em função da temperatura. Já os termopares são sensores de temperatura mais simples, robustos e de baixo custo, eles consistem de dois metais distintos unidos pela extremidade, de forma a gerar uma Força Eletromotriz (FEM) que irá variar de acordo com a temperatura. Quando comparada aos termopares, as termoresistências são sensores de temperatura muito mais estáveis, mais resistentes a contaminação, menor tempo de resposta, maior precisão de leitura e uma menor influência de ruídos (PT100SENSORES.COM.BR, 2016).

2.10 MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS

Quando se faz necessário uma análise de eficiência energética de certos equipamentos de maneira empírica, devemos coletar os dados do equipamento operando em condições pré-estabelecidas, a fim de encontrar uma equação matemática que explique a relação entre o desempenho do equipamento e certas variáveis que influenciem diretamente nesse desempenho, através de uma análise quantitativa de dados.

Para Han & Kamber, (HAN e KAMBER, 2006), antes de qualquer análise quantitativa de dados, deve-se haver um pré-processamento dos dados a serem analisados. No pré processamento deve haver a eliminação de caracteres espúrios, redução de inconsistências, imputação de dados faltantes, suavização (remoção de ruídos), agrupamento de valores em faixas, normalização de variáveis, criação de novos atributos, redução de dimensionalidade, etc.

De acordo com Santos (SANTOS, 2016), a análise de dados é realizada através de modelos matemáticos criados através de métodos estatísticos. Esse modelamento matemático pode ser feito de várias formas, sendo uma das principais, a regressão.

Para Peternelli (PETERNELLI, 2016), o método de regressão consiste em uma análise estatística objetivando relacionar uma variável dependente com uma variável independente (Regressão simples) ou mais variáveis independentes (Regressão Múltipla). Além disso, a regressão pode ser linear ou não linear. Resumindo, o método

de regressão consiste em criar um modelo matemático que explique a variabilidade de uma variável dependente pela variação de uma ou mais variáveis independentes.

Sendo a bomba de calor um equipamento que possui seu desempenho relacionando diretamente com temperatura do ambiente e a temperatura de entrada da água no sistema, após a coleta de dados, foi utilizado o método de regressão linear multivariável para encontrarmos um modelo matemático que pudesse explicar o comportamento do coeficiente de desempenho em função da temperatura ambiente e da temperatura de entrada da água.

3 PRÉ DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DA PISCINA

Este capítulo tem como objetivo fazer um pré diagnóstico energético do sistema de aquecimento atual da piscina localizada na UTFPR – Campus Curitiba – Sede Centro, apresentando as características do sistema atual da piscina, as diferentes perdas de energia que ocorrem na instalação, os gastos em insumos energéticos, além de uma proposta preliminar de melhoras energéticas, e finalmente o levantamento de dados de carga dos equipamentos que compõe o sistema de aquecimento da piscina.

3.1 ESTUDO PISCINA UTFPR – CAMPUS CURITIBA (SEDE CENTRO)

Com o intuito de desenvolver uma pesquisa que vá além dos limites teóricos, a piscina da UTFPR – Campus Curitiba, sede central, (Figura 7) foi utilizada como parâmetro para obtenção de dados. Com isso, foi possível chegar a conclusões mais próximas da realidade, pois as simulações e cálculos foram baseadas em medições reais. A piscina em questão é uma piscina comercial e coberta, utilizada nos dias de semana das 6h30 até as 21h, aos sábados das 7h até 12h, e fechada aos domingos.



Figura 7 – Piscina da UTFPR Campus Curitiba - Sede Central.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

A piscina utilizada como base para estudo possui dimensões de 14 metros de largura, 25 metros de comprimento e 1,50 metros de profundidade média (1,60 pé alto e 1,40 pé baixo), isto é, um volume de 525 m³. A piscina está localizada internamente em uma estrutura que engloba, além da piscina, a casa de máquinas, o vestiário e uma academia de musculação, contando com uma área de aproximadamente 1030 m², conforme a Figura 8. Se for considerado o grande vão existente entre os ginásios da piscina e da quadra poliesportiva coberta, pode-se considerar as duas estruturas como sendo a mesma, de forma que a área total da estrutura irá aumentar ainda mais, estando com aproximadamente 1600 m², conforme visto na Figura 9. Ambas as aproximações da área são realizadas utilizando o site do Google Maps.



Figura 8 – Área Aproximada do Ginásio da Piscina da UTFPR - Campus Curitiba, Sede Central.

Fonte: Google Maps, 2016.



Figura 9 – Área Aproximada da Área do Ginásio da Piscina e da Quadra Coberta da UTFPR – Campus Curitiba.

Fonte: Google Maps, 2016.

Considerando que há uma altura aproximada de 8 metros, é possível calcular o volume aproximado da estrutura, no primeiro caso o volume da estrutura seria de 8240 m³, já no segundo caso, considerando que a estrutura possui um grande vão com o ginásio poliesportivo, podemos considerar o volume da estrutura como sendo 12800 m³.

Neste ponto é importante ressaltar que quanto maior for a área da estrutura que contém a piscina, maior serão as perdas por transferência de calor para o ambiente. Além do mais, deve ser garantida uma vedação no interior da estrutura, de forma que não haja trocas de calor indesejadas com a temperatura ambiente. Desta forma, por possuir o vão entre os dois ginásios e não possuir uma vedação adequada nas paredes laterais e janelas, a piscina utilizada como parâmetro para esses estudos, nos dias mais frios, apresenta muita perda de energia por troca de calor.

3.1.2 LOCALIZAÇÃO

Conforme já observado, a piscina usada como parâmetro de estudos se localiza na cidade de Curitiba, a capital do Paraná. De acordo com o Portal da Prefeitura de Curitiba (CURITIBA.PR.GOV.BR, 2016), a cidade apresenta uma altitude média de 945 metros, uma longitude oeste de 49°16'15"e uma latitude sul de 25°25'48", localizando-se na região sul do Brasil. De acordo com classificação climática de Köppen-Geiger (KOTTEK, GRIESER, BECK, RUDOLF e RUBEL, 2006), Curitiba se encontra em uma região em que predomina o clima temperado subtropical, que tem características principais como: estações de inverno e verão bem definidas, climas mesotérmicos e húmidos, ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e inexistência de estação seca definida.

De acordo com a Secretaria do Esporte e Turismo do Paraná (TURISMO.PR.GOV.BR, 2016), possuindo estações bem definidas, a média da temperatura em Curitiba é de 13°C no inverno e de 21°C no verão. Visto que o estudo realizado depende diretamente da temperatura ambiente, o tópico a seguir trata exclusivamente da manipulação dos dados de temperatura de forma a proporcionar um enriquecimento do estudo. Logo após, será abordada a questão da radiação solar, pois este trabalho também aborda um estudo técnico e econômico dos aquecedores solares.

3.1.3 TEMPERATURA EXTERNA

Através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi possível a obtenção diária das temperaturas máximas e mínimas para a cidade de Curitiba, desde o primeiro dia do ano de 1961 até o primeiro dia de maio de 2016. Essa diferença de datas no calendário nos fornece 20209 dias, enquanto que o banco de dados do INMET nos fornece 19365 dias, sugerindo uma defasagem de 844 dias, ou seja, 4.18% de defasagem. Se tratando de aproximações e médias, essa defasagem se torna praticamente irrelevante para a manipulação dos dados de temperatura (INMET, 2016).

Será visto nos tópicos sucessores que a temperatura crítica de funcionamento do sistema de aquecimento por bombas de calor da piscina da universidade é de 7°C, ou seja, em temperaturas abaixo ou igual a 7°C as bombas de calor deixam de funcionar, pois a evaporação do gás refrigerante não ocorre nessas temperaturas.

Analisando os dados históricos de temperatura em Curitiba durante os últimos 55 anos, se constatou que não há dias registrados com temperaturas máximas diárias abaixo ou igual a 7°C, enquanto que há o registro de 1638 temperaturas mínimas que se encontram abaixo ou igual a 7°C, ou seja, 8,46% dos dias tem temperatura mínima que se equivale ou é inferior à temperatura de ponto crítico das bombas de calor.

A Figura 10 mostra a temperatura máxima média durante os anos de medição e também a temperatura mínima média. Uma equação polinomial de segundo grau (linha pontilhada) foi adicionada em cada uma das linhas de temperatura, de forma a observar que a temperatura média está crescendo no decorrer dos anos.

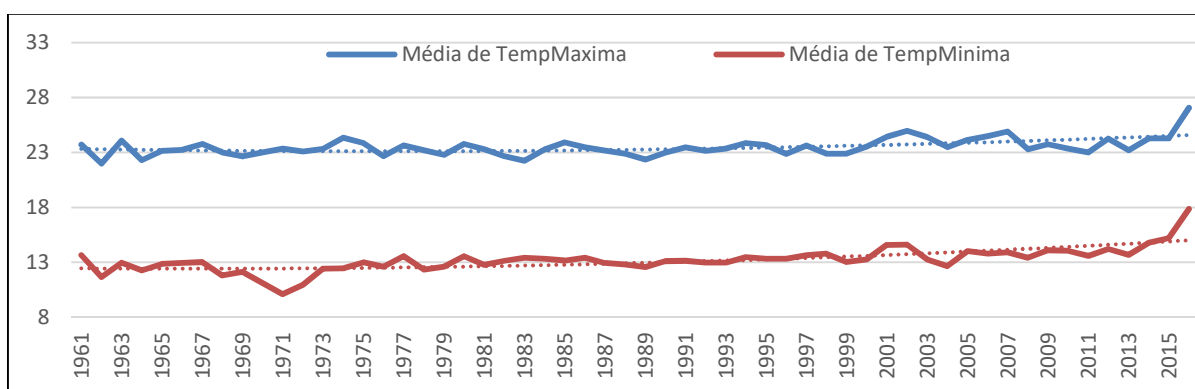


Figura 10 – Média Anual de Temperatura Durante os anos de 1961 à 2015.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Visto que a temperatura está aumentando gradativamente, uma outra análise das temperaturas mínimas menores que 7°C foi feita entre o início de 2005 e o final de 2015, e a análise retornou um valor de 185 dias de um total de 4016 dias, ou seja, somente 4,61% dos dias tem temperatura menor que 7°C. Analisando a Figura 11 é possível ver o comportamento da média mensal das temperaturas máximas e mínimas, durante o terceiro trimestre (período que compreende praticamente todo o inverno) de cada um dos anos entre 2005 e 2015. Com isso observa-se que a temperatura mínima mensal média, durante os meses de inverno, oscila entre valores um pouco menores que 10°C até valores próximos a 15°C.

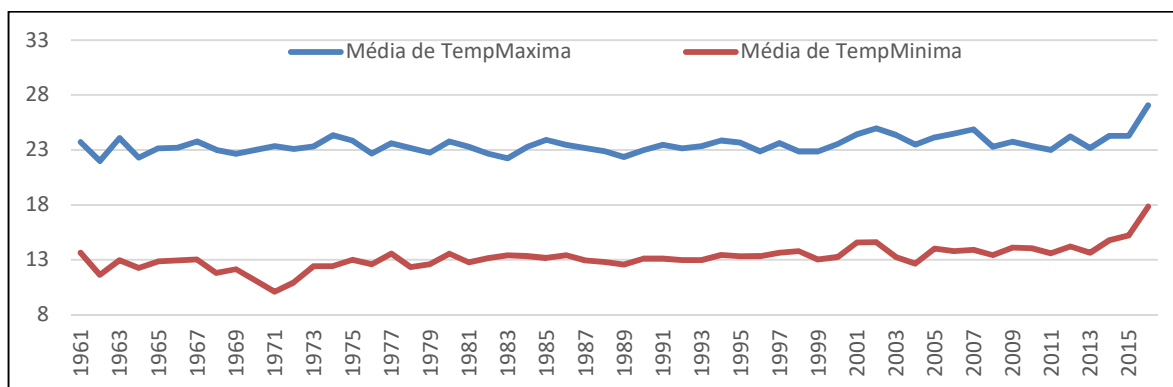


Figura 11 – Média Mensal Das Temperaturas Durante o Terceiro Trimestre dos Anos 2005 a 2015.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Já foi dito que as bombas de calor têm seu rendimento cada vez menor a medida que temperaturas mais baixas são atingidas. Sendo que em temperaturas próximas a 15°C, as mesmas necessitam do auxílio do aquecedor a gás para manter a temperatura da piscina no nível desejado. Desta forma, a partir do banco de dados obtidos do INMET, foi possível verificar que dentre os 4016 dias, entre 2005 a 2015, foram registrados 2244 dias com temperatura mínima abaixo ou igual a 15°C, ou seja, 55,88% dos dias possuem a temperatura mínima abaixo de 15°C. Observando novamente a Figura 11, claramente a temperatura mínima média mensal no inverno não ultrapassa os 15°C, deste modo, é possível concluir que os aquecedores a gás permanecem ligados durante a maior parte do tempo no inverno.

3.1.4 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é de fundamental importância para os aquecedores solares, pois o desempenho destes está intimamente relacionado com esse tipo radiação. Desta forma, é essencial a avaliação da radiação solar, em determinada região (neste caso Curitiba), antes da instalação dos aquecedores solares.

Para a medição da radiação solar no Brasil (modelo BRASIL-SR) são utilizadas as informações de nebulosidade, que são extraídas de imagens de satélite geostacionário e de dados climatológicos. O Brasil tem o privilégio de estar localizado em uma região onde o índice de radiação solar é superior ao índice da maioria dos países da União Européia, inclusive superior à Alemanha, Espanha e França, sendo que esses países tem uma ampla disseminação de equipamentos de aproveitamento de recursos

solares, contando inclusive com forte incentivo governamental (PEREIRA, MARTINS, ABREU e RUTHER, 2006).

As duas figuras a seguir apresentam uma média sazonal diária de radiação solar no Brasil, durante um período de 10 anos, compreendido entre junho de 1995 e dezembro de 2005. A Figura 12 compreende os meses de dezembro até fevereiro, ou seja, o verão. A Figura 13 compreende os meses de julho a agosto, ou seja, o inverno.

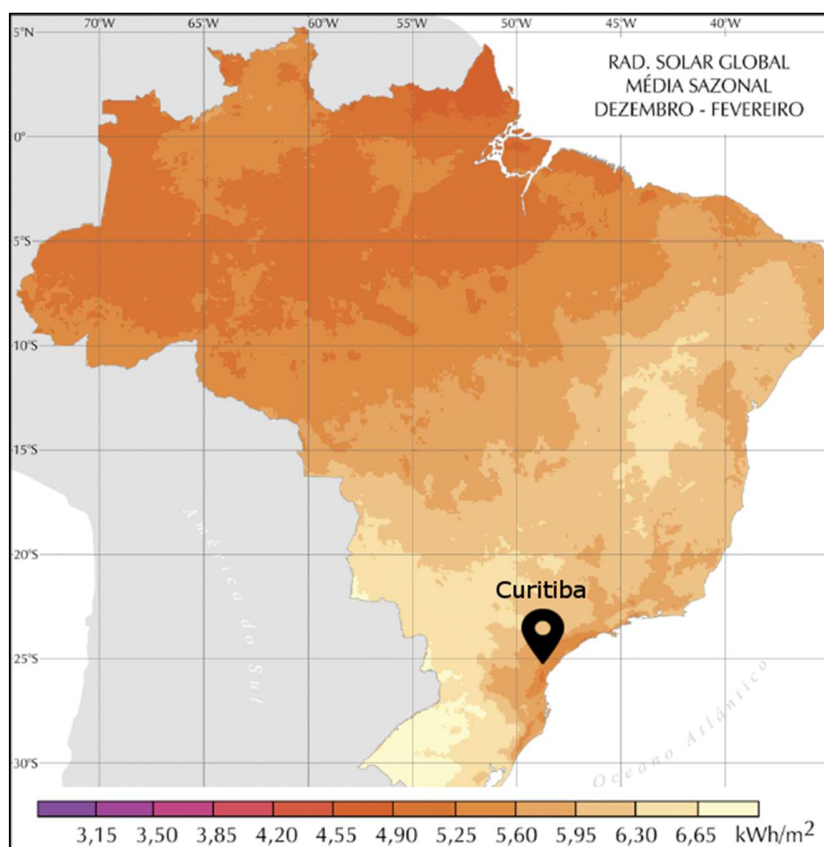


Figura 12 – Radiação Solar Média Diária no Brasil Entre Dezembro e Fevereiro (1995-2005).

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.

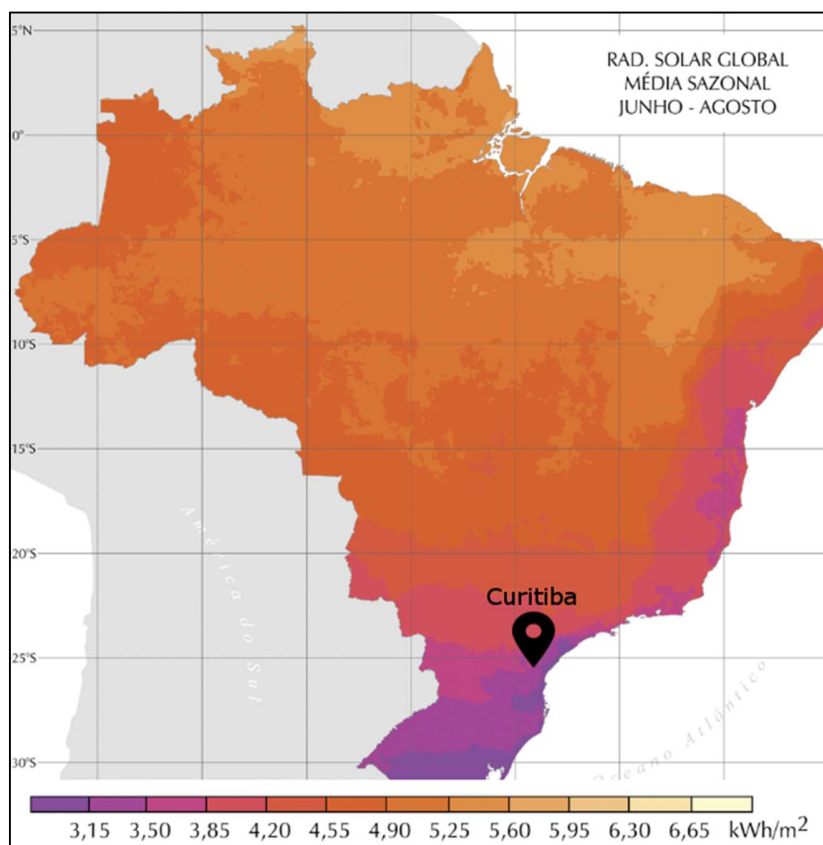


Figura 13 – Radiação Solar Média Diária no Brasil Entre Junho e Agosto (1995-2005).

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.

Nas figuras logo acima é possível observar que há a representação da localização de Curitiba, pois conforme já citado, a piscina utilizada para os estudos se encontra na capital paranaense. Observando a Figura 12, é possível perceber que a radiação média na região Sul é superior a região Norte, já na Figura 13 ocorre o inverso, a região Sul recebe uma radiação inferior à da região Norte. Desta forma, é possível afirmar que a utilização da energia solar na região sul do país, é bastante atrativa durante o verão.

Observando a Tabela 2, sendo esta especificamente em Curitiba, é possível notar que no verão há uma radiação solar diária média de 4,67 a 5,06 kWh/m² e no inverno há uma radiação solar diária média de 2,47 a 3,67 kWh/m². A tabela foi gerada utilizando os dados armazenados no banco de dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB, 2016).

Tabela 2 – Radiação Solar Diária Média em kWh/m² para cidade de Curitiba.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
4,67	4,11	3,47	3,06	2,53	2,47	3,11	3,31	3,67	4,22	4,94	5,06	3,72

Fonte: CRESESB, 2016.

Observando os dados da Tabela 2, é visível que a menor radiação solar diária média ocorre no mês de junho e a maior no mês de dezembro. Deste modo é razoável afirmar que a temperatura e a radiação solar apresentam padrões parecidos para a cidade de Curitiba. Visando esta confirmação, os dados da temperatura média de cada mês para o período de 2015 (banco de dados do INMET) foram comparados de forma gráfica com os valores da radiação solar obtidos na Tabela 2. O gráfico da comparação pode ser observado na Figura 14.

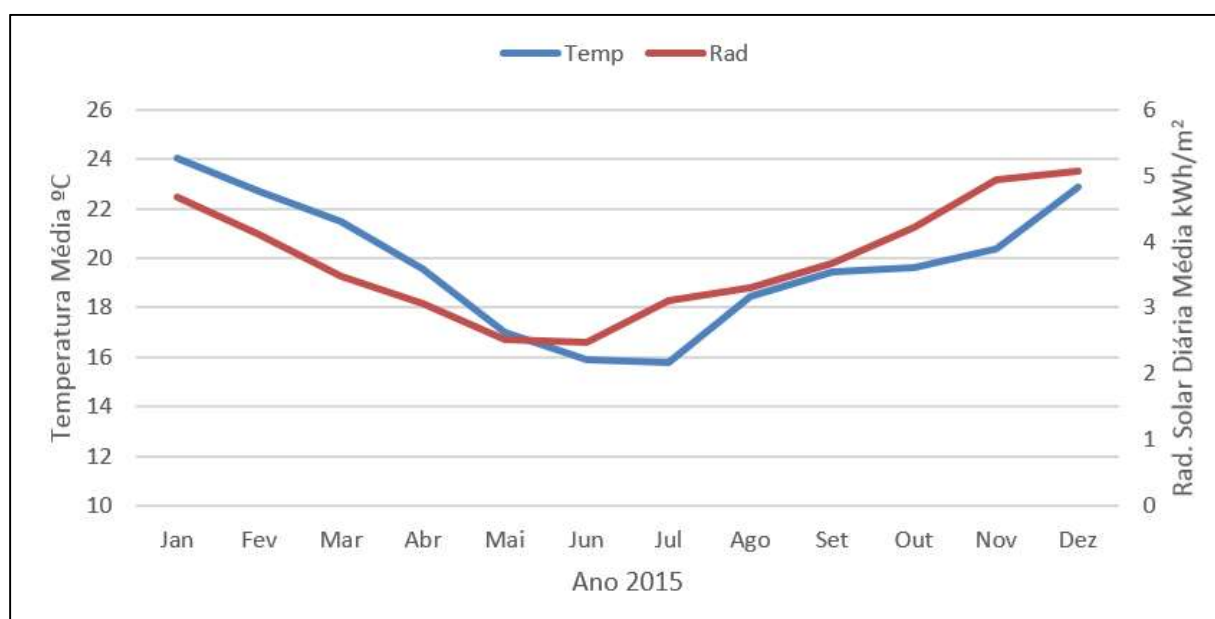


Figura 14 – Comparação entre Temperatura e Radiação em Curitiba em 2015.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

3.1.5 CIRCUITO HIDRÁULICO

O circuito hidráulico da piscina da UTFPR – Campus Curitiba, sede central, pode ser visto de forma simplificada na Figura 15. Desta maneira, a entrada da água no sistema de recirculação e tratamento ocorre através de um ralo de fundo e de uma coadeira, entrando no sistema com uma temperatura de aproximadamente 29,5°C [1].

Logo após, essa água passa através de um pré-filtro [2] e em seguida através de duas motobombas da marca WEG, com potência de 3 kW cada uma, que são responsáveis por impulsionar a água das tubulações [3]. Posteriormente as impurezas são retiradas da água através de 4 filtros da marca EPEX e modelo AV 8 [4]. Depois da água passar pela retirada de impurezas, ela é impulsionada para o sistema de aquecimento através de outra motobomba [5], que possui as mesmas características das primeiras. Não cabe a este tópico o aprofundamento nos sistemas de aquecimento [6], pois o mesmo está explicado detalhadamente no tópico sucessor. Após a passagem pelo sistema de aquecimento, a água retorna para piscina através de 12 bocais de retorno [7], sendo que a metade deles está localizada no lado direito e a outra metade no lado esquerdo da piscina, de forma a distribuir homogêneamente a água aquecida na piscina. Ainda cabe salientar que, de acordo com o responsável pela manutenção do sistema de aquecimento, a água de retorno para a piscina, em geral, deveria estar a uma temperatura 2°C acima da temperatura de entrada do sistema de recirculação e tratamento, isto é, aproximadamente 31,5°C.

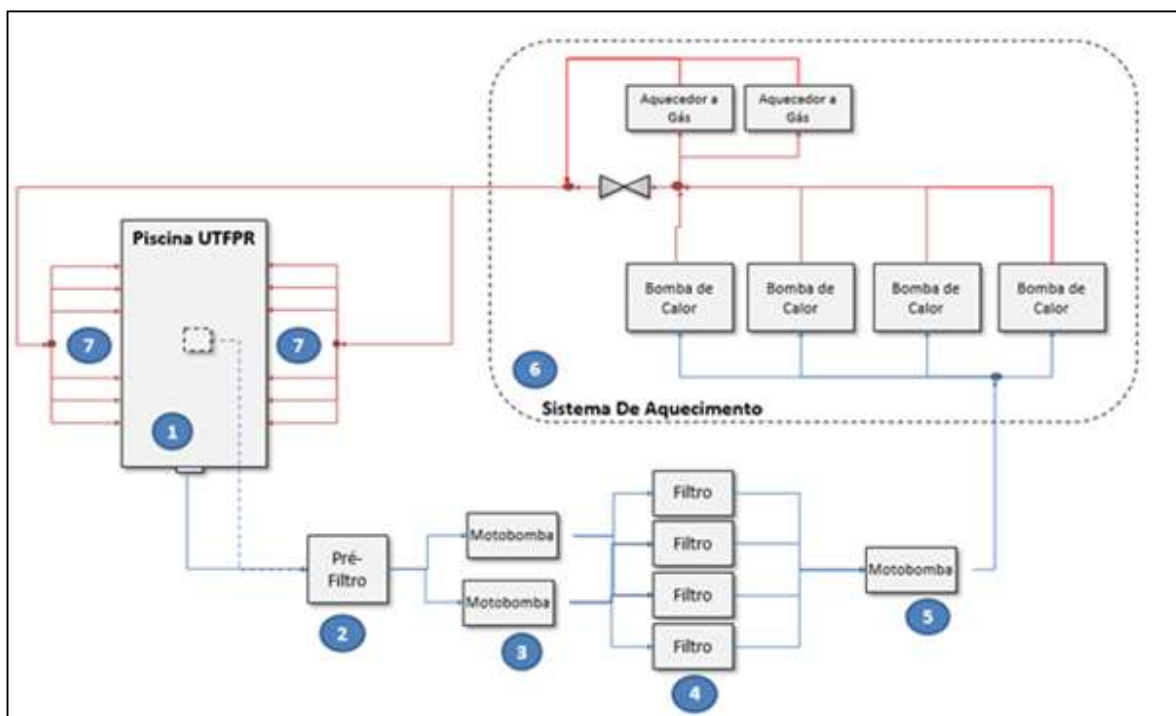


Figura 15 – Circuito Hidráulico Simplificado da Piscina UTFPR (Campus Curitiba - Sede Central).

Fonte: Autoria Própria, 2016.

3.1.6 SISTEMA DE AQUECIMENTO

Visando o conforto dos usuários e favorecendo a prática de esportes aquáticos, já fora citado no tópico anterior que a temperatura da piscina é mantida em torno de 29,5°C. Para manter essa temperatura, a piscina em questão possui um sistema de aquecimento contendo 4 bombas de calor e 2 aquecedores a gás, conforme pode ser visto na Figura 15. Por motivos econômicos, preferencialmente o aquecimento é realizado pelas bombas de calor, entretanto quando temperaturas mais frias são atingidas, o rendimento das bombas de calor cai drasticamente, até atingir 7°C, deixando de funcionar (JELLYFISH.COM.BR, 2016). Logo, quando a temperatura está mais fria, os aquecedores a gás devem ser utilizados de forma a complementar o aquecimento realizado pelas bombas de calor, ou em casos que a temperatura seja inferior a 7°C os aquecedores a gás devem fornecer o aquecimento integral da piscina.

O sistema de aquecimento pode ser operado de dois modos, o modo automático e o modo manual. No modo automático, ele funciona apenas com as bombas de calor, de modo que quando a temperatura programada nas bombas de calor é atingida, há o desligamento da motobomba que é responsável por transportar a água até o sistema de aquecimento. No modo manual a motobomba não é desligada automaticamente e este modo é utilizado quando há a necessidade do auxílio dos aquecedores a gás para realizar o aquecimento da piscina, ou seja, em dias mais frios. Desta maneira, quando a motobomba está operando no modo manual, o controle da temperatura depende exclusivamente da experiência dos funcionários responsáveis pela manutenção da piscina. Em geral, quando os mesmos observam que as bombas de calor não estão conseguindo manter a temperatura de aproximadamente 29,5°C, é realizado o acionamento dos aquecedores a gás. Inicialmente apenas um aquecedor a gás é acionado, geralmente quando a temperatura ambiente está abaixo de 15°C. Caso haja a verificação que mesmo com o acionamento do primeiro aquecedor a gás a temperatura da piscina não está se mantendo no padrão desejado, o segundo aquecedor a gás é acionado.

As bombas de calor estão sempre ligadas, para que a água se mantenha na temperatura ideal desde o início do dia, até o final do mesmo. Em dias que a previsão do tempo indica que a madrugada será fria, é feito o acionamento dos aquecedores a gás para operarem durante a madrugada e, desta forma, manter a temperatura no valor ideal

para o início das atividades as 6h30. Vale ressaltar que, durante a madrugada, a piscina é coberta com uma capa térmica, evitando assim uma evaporação muito grande e aumentando a eficácia dos sistemas de aquecimento. Também vale ressaltar que se a piscina diminui a temperatura na ordem maior que 1°C, são necessárias horas para recuperar a temperatura perdida, pois há uma grande quantidade de massa volumétrica de água.

Todas as bombas de calor utilizadas na piscina da UTFPR são da marca Jelly Fish, linha BC AG e modelo 120 T. Já os aquecedores a gás são da marca Orbis, modelo Eurotrend. A seguir, algumas informações mais relevantes de cada um dos aquecedores serão detalhadas.

3.1.6.1 JELLY FISH BC 120 T AG

De acordo com o catálogo de aquecedores da Jelly Fish, a bomba de calor da linha AG conta com um compressor do tipo SCROLL (caracol excêntrico) e um controlador de temperatura digital. Já o modelo 120 T é relacionado com a capacidade nominal da bomba de calor em BTU/h, e a letra 'T' após o 120 faz referência ao tipo de alimentação, neste caso, trifásico. As quatro bombas de calor, da instalação da piscina da UTFPR, podem ser visualizadas na Figura 16.



Figura 16 – Bombas de Calor Jelly Fish 120T.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

O catálogo ainda define que as medições foram obtidas a partir de uma temperatura ambiente de 27°C e a água da piscina a 26,7°C. Com isso, a capacidade nominal das bombas de calor desse modelo é de 121.640 BTU/h, ou seja, 30.653 kcal/h. Em relação a eficiência do mesmo, temos um coeficiente de performance (COP) de 6,9, ou seja, para cada unidade de energia para o funcionamento do compressor há 6,9 unidades de calor saindo da bomba de calor. Evidentemente este valor de COP é obtido nas condições citadas no início do presente parágrafo, desta forma, quando a temperatura ambiente for menor, o COP também será menor. Finalmente, o catálogo ainda nos fornece que o volume da piscina não deve ser maior que 130 m³ e a área de mesma não deve ser maior que 100 m². De forma simplificada, as informações mais relevantes da bomba de calor em questão podem ser encontradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais Especificações Bomba de Calor JellyFish BC 120 T.

Capacidade Nominal	121640 BTU/h (30653 kcal/h)
Corrente Nominal Total	22,4 A
COP	6,9
Comprimento	965 mm
Largura	855 mm
Altura	970 mm
Peso	129 kg
Volume da Piscina	130 m ³
Área da Piscina	100 m ²

Fonte: JELLYFISH.COM, 2016.

Para o presente trabalho, devido à falta de equipamentos, apenas uma das quatro bombas de calor pode ser monitorada, sendo esta a bomba de calor número 2 (Figura 16), pois é a única que permanece ligada em tempo integral.

3.1.6.2 ORBIS EUROTREND

Para auxiliar as bombas de troca de calor no aquecimento da piscina em dias mais frios, os aquecedores a gás da marca Orbis e modelo Eurotrend são utilizados. Os aquecedores em questão (Figura 17) são alimentados com GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e podem operar de 4 modos de potência diferentes, sendo eles o modo mínimo, o morno, o quente e o máximo. No modo de potência máxima, o aquecedor em estudo

fornece uma potência nominal de 27,9 kW. Além do mais, ainda considerando potência máxima, este modelo é responsável por um consumo de gás de 2,02 kg/h e possui um rendimento de 83,2%, ou seja, 16,8% do combustível é desperdiçado (ORBISDOBRASIL.COM.BR, 2016). Um resumo das especificações do aquecedor a gás em questão, pode ser visto na Tabela 4.



Figura 17 – Aquecedores a gás Orbis Eurotrend.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Tabela 4 – Principais Especificações dos Aquecedores a Gás Orbis Eurotrend.

Potência Nominal nas Condições Padrões	23974 kcal/h (27,9 kW)
Rendimento	83,2 %
Consumo de Gás	2,02 kg/h
Peso Bruto	18 kg
Capacidade de Vazão ($\Delta T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	16,5 L/min

Fonte: ORBISDOBRASIL.COM, 2016.

Vale ressaltar que a área de engenharia da companhia Orbis foi contatada e a informação obtida foi que a linha Eurotrend foi descontinuada. Desta maneira, o manual utilizado para a obtenção de valores, foi o do aquecedor da Orbis, modelo 318BDB (ORBISDOBRASIL.COM.BR, 2016). O manual foi cedido pela própria empresa em questão, e foi garantido que o modelo possui características similares aos aquecedores da linha Eurotrend. Além disso, o setor de engenharia da Orbis informou que o aquecedor a gás utilizado na piscina estudada não é indicado para este propósito, e sim, indicado para o uso residencial em aquecimento de água para banho.

Visto que o modelo em questão não é indicado para o aquecimento de piscinas, o manual deste não fornece informações importantes e necessárias referentes à piscina. Ademais, em dias extremamente frios, as bombas de calor não irão funcionar, por motivos já citados, e os dois aquecedores a gás não dão conta de manter a temperatura nos ideais 29,5°C.

3.1.7 PERDAS DE ENERGIA

As perdas de energia consideradas nessa seção na piscina em questão ocorrem através da taxa de transferência de calor por convecção e evaporação. Para ter uma ideia melhor das perdas, o estudo avalia as perdas durante o período de um ano, neste caso o ano base é o de 2015.

3.1.7.1 PERDAS POR EVAPORAÇÃO

A perda mais significativa de energia na piscina em questão é a perda por evaporação. Primeiramente, para estimar esta perda de energia é necessário o cálculo do coeficiente de evaporação, que por sua vez, conforme a Equação 11 (Página 44), depende especificamente da velocidade do vento a uma altura de 0,3 m da superfície da piscina. Desta forma os dados da velocidade do vento para a cidade de Curitiba foram obtidos, através dos dados do INMET, para todos os dias do ano de 2015 e depois agrupados em uma média mensal, além disso, como a velocidade do vento no interior da construção que compreende a piscina é bem menor que a velocidade externa, idealmente a velocidade seria próxima a zero caso houvesse uma boa vedação, contudo, um dos lados da piscina estudada está parcialmente exposto ao ambiente externo, logo foi considerado a velocidade interna do vento como sendo 10% da velocidade externa. Finalmente, os dados da média mensal da velocidade do vento no ambiente externo (ω_0),

a estimativa da velocidade do vento no ambiente interno (ω) e o coeficiente de evaporação (α_{EVAP}) podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 – Cálculo do coeficiente de evaporação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
ω_0 [m/s]	2,46	2,06	1,85	1,86	1,89	2,02	1,91	2,22	2,38	2,34	2,39	2,29	2,14
ω [m/s]	0,25	0,21	0,19	0,19	0,19	0,2	0,19	0,22	0,24	0,23	0,24	0,23	0,21
α_{EVAP} [W/(°C.Pa.m ²)]	108,2	105,1	103,5	103,5	103,8	104,8	103,9	106,4	107,6	107,3	107,7	106,9	105,7

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Após o cálculo do coeficiente de evaporação para cada um dos meses do ano de 2015, é necessário o cálculo da pressão de vapor na superfície da piscina e da pressão de vapor do ambiente que envolve a piscina. Referente ao primeiro, conforme já dito, a umidade relativa na superfície da piscina é 100%, sendo assim a pressão de vapor da superfície da piscina pode ser considerada como a pressão de saturação da água, logo o cálculo da pressão de vapor da superfície da piscina é realizado utilizando a Equação 12 (Página 44), sendo utilizado a temperatura da piscina como sendo 29,5°C. Após a substituição da temperatura da piscina na referida equação, é obtido o resultado de 4,12 Pa.°C, que será utilizado para o cálculo da perda por evaporação.

Já o cálculo da pressão de vapor do ambiente foi determinado de acordo com a média da umidade relativa para cada um dos meses do ano de 2015, além de utilizar a média mensal das temperaturas externas obtidas pelo banco de dados do INMET. Aqui vale ressaltar que apesar da construção que envolve a piscina possuir muita pouca vedação, a temperatura interna não é exatamente igual a temperatura externa, contudo para efeitos de aproximação, a temperatura interna é considerada igual a temperatura externa. Na Tabela 6 podem ser observados mensalmente para o ano de 2015 o valor da média da umidade relativa (ϕ_{AMB}), o valor médio da temperatura ambiente (T_{AMB}), assim como o resultado dos cálculos da pressão de vapor do ambiente $P_{V_{AMB}}(T_{AMB})$ (utilizando a temperatura ambiente média na equação 12 e multiplicando pela umidade média do período).

Tabela 6 – Cálculo da pressão de vapor do ambiente.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Media
T_{AMB} (°C)	24,02	22,7	21,49	19,55	16,99	15,88	15,8	18,45	19,46	19,6	20,38	22,87	19,76
ϕ_{AMB} (%)	0,76	0,81	0,83	0,82	0,86	0,83	0,84	0,74	0,79	0,86	0,87	0,81	0,82
$P_{v_{AMB}}(T_{AMB})$ (Pa.°C)	2,27	2,24	2,12	1,86	1,66	1,5	1,51	1,57	1,8	1,95	2,07	2,26	1,88

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Finalmente, sabendo que a área de superfície da piscina da UTFPR – Campus Curitiba é de 350 m², utilizando a Equação 10 (Página 44) é possível calcular a taxa de transferência de calor por evaporação durante todos os meses de 2015, conforme segue a Tabela 7.

Tabela 7 – Taxa de transferência de calor por evaporação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
\dot{Q}_{evap} (kJ/s ou kW)	70,15	69,28	72,43	81,92	89,3	96,31	95,2	95,19	87,66	81,48	77,33	69,58	82,86

Fonte: Autoria Própria, 2016.

3.1.7.2 PERDAS POR CONVECÇÃO

As perdas por convecção apesar de não serem tão expressivas como as perdas por evaporação, não podem ser desconsideradas. Primeiramente, para estimar essas perdas é necessário o cálculo do coeficiente da taxa de transferência de calor por convecção (h_{conv}), que segundo a Equação 14 (Página 45), depende diretamente da velocidade do vento no ambiente. Desta forma, conforme foi feito no tópico anterior, foi encontrada uma média mensal para o ano de 2015 para a velocidade do vento (dados do INMET) e foi considerado que a velocidade do vento no ambiente interno das piscinas é 10% da velocidade do vento externa. Logo, a velocidade do vento externa (ω_0), a velocidade estimada interna (ω) e o coeficiente de convecção (h_{conv}) podem ser vistos mensalmente na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados para o cálculo de perdas por convecção.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
ω_0 (m/s)	2,46	2,06	1,85	1,86	1,89	2,02	1,91	2,22	2,38	2,34	2,39	2,29	2,14
ω (m/s)	0,25	0,21	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,22	0,24	0,23	0,24	0,23	0,21
h_{conv} [W/(m ² ,°C)]	4,11	3,95	3,86	3,86	3,87	3,93	3,88	4,01	4,07	4,06	4,08	4,04	3,98

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Do mesmo modo que nas perdas por evaporação, a temperatura ambiente é considerada a média das temperaturas de cada um dos meses de 2015, a temperatura da piscina é considerada constante e em 29,5 °C, e a área da piscina é de 350 m². Tendo todas as informações é possível usar a Equação 13 (Página 45) para calcular a taxa de transferência de calor por convecção na piscina estudada, ou seja, as perdas por convecção. Desta forma, as perdas por convecção estimadas para os meses de 2015 podem ser visualizadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Taxa de transferência de calor por evaporação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Media
Q_{conv} (kJ/s ou kW)	7,88	9,39	10,83	13,45	16,96	18,73	18,62	15,52	14,32	14,07	13,02	9,38	13,55

Fonte: Aatoria Própria, 2016.

3.1.7.3 PERDAS TOTAIS

Conforme já citado, as perdas totais neste projeto limitam-se a soma das perdas por convecção e evaporação. Contudo, vale lembrar que é uma estimativa e uma análise completa mais precisa deveria considerar as outras perdas (radiação, água de reposição e condução), assim como se basear em dados empíricos das grandezas envolvidas nos cálculos prévios.

Finalmente, as perdas totais (potência de manutenção da piscina em 29,5°C) estimadas podem ser visualizadas na Tabela 10, juntamente com as perdas por convecção e evaporação no período analisado.

Tabela 10 – Perdas Totais

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Med
Q_{evap} (J/s ou kW)	70.15	69.28	72.43	81.92	89.3	96.31	95.2	95.19	87.66	81.48	77.33	69.58	82.86
Q_{conv} (J/s ou kW)	7.88	9.39	10.83	13.45	16.96	18.73	18.62	15.52	14.32	14.07	13.02	9.38	13.55
Q_{total} (J/s ou kW)	78.03	78.67	83.25	95.37	106.26	115.04	113.82	110.71	101.99	95.55	90.35	78.96	96.41

Fonte: Aatoria Própria, 2016.

3.1.8 GASTOS COM O SISTEMA DE AQUECIMENTO DA PISCINA

Tendo em vista que o sistema de vedação na piscina da UTFPR não é eficiente, o gasto com o sistema de aquecimento é muito elevado. Este gasto agrava-se ainda mais no inverno, pois temperaturas menores são atingidas e a eficiência das bombas de

calor decresce consideravelmente. Logo, os aquecedores a gás ficam ligados praticamente em tempo integral durante o inverno, de forma que o consumo de gás seja elevado.

Com o acesso aos dados de gastos com o gás no ano de 2016 na piscina estudada, foi possível observar que nos meses mais frios do ano são gastos mais do que R\$8000 com a compra de GLP. Vale ressaltar que os dados são referentes tanto aos aquecedores da piscina quanto aos aquecedores da água do banho dos vestiários. Desta forma, qualquer redução no uso dos aquecedores a gás pode significar uma maior eficiência no sistema de aquecimento do sistema da universidade. Ainda trabalhando com os dados fornecidos pelo setor administrativo da UTFPR – Campus Curitiba – Centro, foi encontrado um valor pago de R\$3,76 por quilo de GLP.

Quanto ao gasto com energia elétrica das bombas de calor, os cálculos são baseados no sistema tarifário da COPEL para os poderes públicos (federal e municipal) no subgrupo A4 (2,3 a 25kV) e modalidade tarifária azul, onde o consumo em R\$/kWh em horário de ponta é 0,60770 e fora do horário de ponta é 0,42771 (COPEL.COM, 2016). Tais valores obedecem a resolução da ANEEL nº 2096 do dia 21 de junho de 2016. Como o horário de pico é estabelecido de 2ª a 6ª feira das 18h às 21h, o tempo de horário de ponta é de 15 horas semanais, desta forma as outras 153 horas semanais são de horário fora de ponta, e realizando uma média ponderada com ambas as tarifas, obtém o valor médio de 0,44378 R\$/kWh.

3.2 SISTEMA PROPOSTO DE REAPROVEITAMENTO DE CALOR

A primeira etapa do trabalho é focada no reaproveitamento do calor dos gases de escape oriundos dos aquecedores a gás, sendo que o mesmo posteriormente seja utilizado para elevar a temperatura no entorno das bombas de calor. A Figura 18 mostra o diagrama simplificado do sistema de reaproveitamento de calor proposto, onde é utilizado o layout do sistema de aquecimento da piscina tomada como base para o estudo de caso, e onde a tubulação em verde indica que há o transporte de gases de escape do aquecedor a gás para um trocador de calor ao lado de uma das bombas de calor.

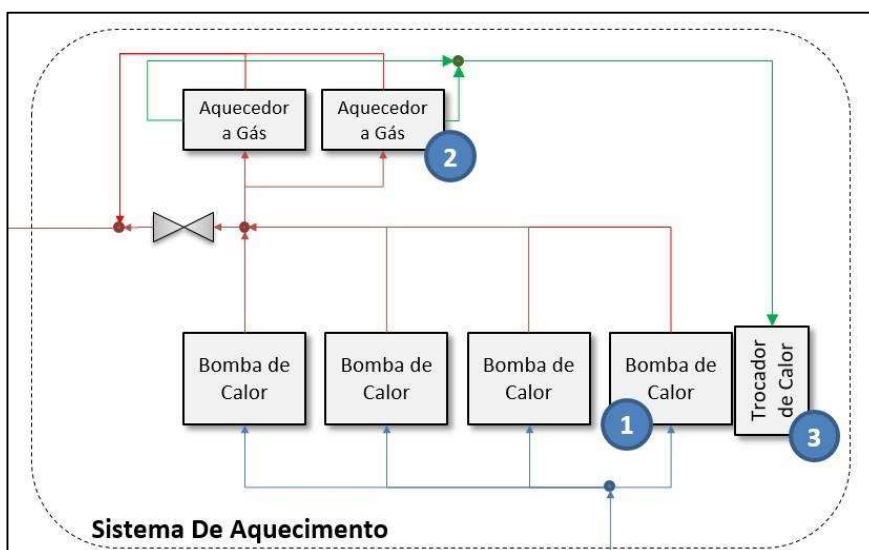


Figura 18 – Sistema Proposto de Reaproveitamento de Calor.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Neste layout, o trocador de calor [3] tem por finalidade esquentar o ar do entorno da bomba de calor [1]. E com o intuito de aproveitar melhor a quantidade de calor desperdiçada pelos gases de escape dos aquecedores a gás [2], o trocador de calor teórico consiste em uma serpentina (por onde circulam os gases de escape) ao redor de uma das faces de uma bomba de calor, conforme visto na Figura 19, e de uma superfície isolante que será posicionada atrás da serpentina, de forma a direcionar o ar aquecido para a bomba de calor.



Figura 19 – Sistema Proposto de Trocador de Calor

Fonte: Autoria Própria, 2016.

3.3 SISTEMA PROPOSTO DE AQUECEDOR SOLAR

A segunda etapa do trabalho é considerar os efeitos energéticos e econômicos ocasionados pela instalação de coletores solares para auxiliarem os sistemas de aquecimento que já estão implantados na piscina da UTFPR. Desta forma o modelo proposto seria um sistema de aquecimento híbrido no qual as bombas de calor [1] e os aquecedores a gás [2] estariam conectados em paralelo com os coletores solares [3], como pode ser visto na Figura 20.

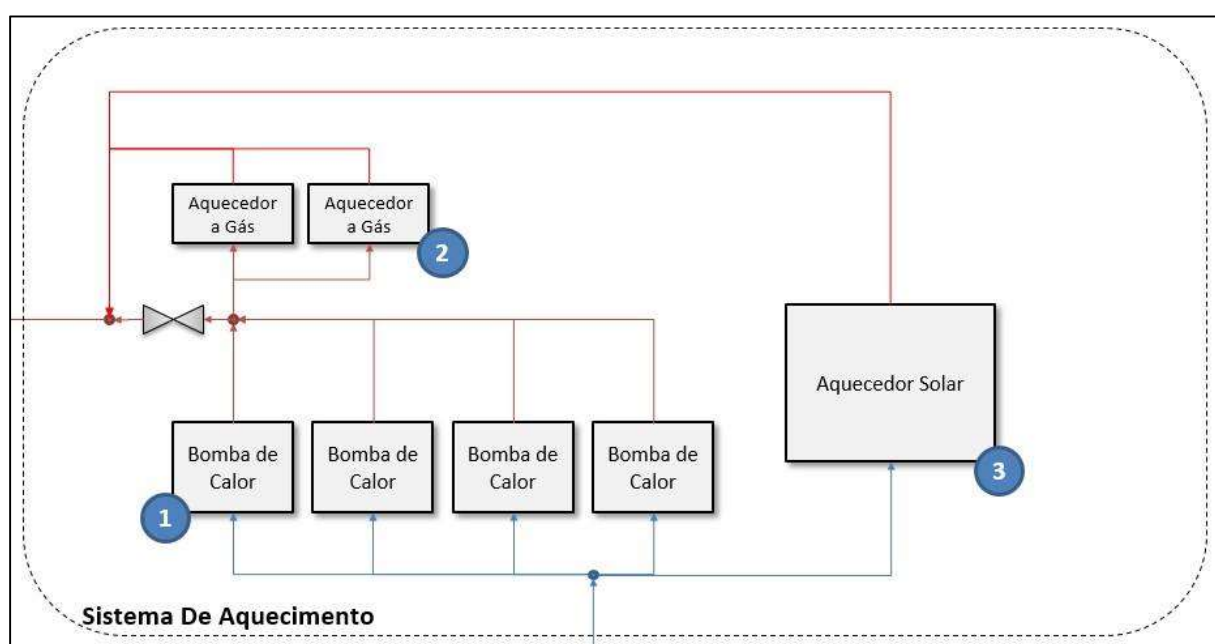


Figura 20 – Sistema de Aquecimento com o apoio de coletores solares.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Após verificar o layout do sistema de aquecimento com o auxílio dos aquecedores solares, é necessário considerar alguns detalhes técnicos referentes a instalação, de forma que haja o melhor aproveitamento do sol por parte dos coletores solares.

3.3.1 PREMISSAS PARA INSTALAÇÃO DOS COLETORES SOLARES

Conforme já visto anteriormente, a área do telhado da piscina possui uma área de aproximadamente 1000 m², ainda vale ressaltar que os coletores solares instalados aqui no Brasil devem ser orientados para o norte magnético. Desta forma, segundo a ABRAVA, para Curitiba, o norte magnético se encontra defasado em 17,3° no sentido

anti-horário do norte geográfico, ou seja, se encontra direcionada no ângulo de $342,7^\circ$ (FORUMCLIMA.PR.GOV.BR, 2016). Além do mais a piscina da UTFPR, aqui estudada, se encontra aproximadamente defasada em 25° no sentido anti-horário do norte geográfico, desta forma, se encontra defasada em $7,7^\circ$ no sentido anti-horário do norte magnético e este deve ser o ângulo da orientação dos coletores solares, conforme pode ser visualizado na Figura 21.



Figura 21 – Layout da instalação dos coletores solares.

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Além da orientação dos coletores solares, outro ponto importante a se considerar é a inclinação dos mesmos em relação ao plano do telhado, segundo a ABRAVA há três modos distintos de considerar a inclinação, um deles favorece o aquecimento no inverno, o outro no verão e o outro é um meio termo (FORUMCLIMA.PR.GOV.BR, 2016). No caso do meio termo a inclinação deve ser igual à latitude, logo, para Curitiba a inclinação dos coletores solares deveria ser de aproximadamente 25° . Como o telhado é plano, para instalação dos coletores solares deve preferencialmente optar por um suporte com ângulo de 25° .

A piscina da UTFPR – Campus Curitiba – Sede Centro possui telhas de fibrocimento, o que provavelmente inviabilizaria a instalação de coletores solares, encanamentos e suportes na região do telhado, devido ao peso agregado desses componentes. Contudo, para efeito da análise de energia, os prováveis impedimentos

físicos da instalação foram desconsiderados. Além disso, como o telhado da piscina se encontra em um local cercado por construções maiores, um coeficiente multiplicativo de 75% foi usado para considerar o sombreamento causado por essas construções e estimar um valor de produção de energia mais próximo da realidade.

Idealmente, considerando que a inclinação do coletor deve ser de aproximadamente 25°, deve optar-se por coletores que apresentem um bom PMEe e não sejam tão compridos, visto que os coletores solares da fileira de trás deveriam estar a uma distância maior para não ser prejudicado pela sombra dos coletores da fileira da frente. Desta forma, utilizando coletores não tão compridos, a distância entre as duas fileiras de coletores pode ser menor e o espaço melhor aproveitado.

Considerando todos os fatores acima citados, além de considerar algum espaçamento entre as placas coletoras solares, é razoável afirmar que 65% da área total do telhado pode ser aproveitada pelos coletores solares. Deste modo, os coletores solares ocupariam uma área de aproximadamente 650 m², valor que é utilizado como base para os cálculos futuros.

3.3.2 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO MENSAL DE ENERGIA DOS COLETORES SOLARES

Visando avaliar o impacto de economia gerado pelos aquecedores para a piscina em questão, 120 modelos de aquecedores solares foram analisados. Os citados modelos de aquecedores solares são os modelos etiquetados pela INMETRO em 2015 (INMETRO, 2015), pois a empresa de metrologia fornece dados suficientes para que as análises sejam feitas de maneira mais precisa.

De acordo com a portaria nº 477, de 15 de dezembro de 2011, da própria INMETRO (INMETRO, 2011), as empresas fabricantes de aquecedores solares devem seguir padrões de cálculos para protocolar seus equipamentos. Um desses cálculos é o da Produção Mensal de Energia (P_{MEN}), que já fora citado anteriormente, que, dentre outros fatores, depende diretamente da radiação solar global incidente no plano do coletor. Esta radiação por padrão da INMETRO (Anexo I, item B.3) assume o valor de 17,6 MJ/m², ou seja, aproximadamente 4,89 kWh/m². A partir deste valor padrão, foi possível comparar o mesmo com os valores de radiação em Curitiba durante o ano de 2015, e por fim criou-se um coeficiente multiplicativo para cada um dos meses do ano,

de forma a estimar a produção mensal de energia dos aquecedores solares para a cidade de Curitiba. A Tabela 11 mostra os referidos coeficientes multiplicativos obtidos através da razão entre a radiação de Curitiba e o valor padrão de radiação solar.

Tabela 11 – Coeficiente multiplicativo mensal.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
H (kWh/m²)	4,67	4,11	3,47	3,06	2,53	2,47	3,11	3,31	3,67	4,22	4,94	5,06	3,72
Coef. Multiplicativo	0,96	0,84	0,71	0,63	0,52	0,51	0,64	0,68	0,75	0,86	1,01	1,04	0,76

Fonte: Autoria própria, 2016.

Os coeficientes multiplicativos observados na tabela anterior podem então ser multiplicados diretamente com a produção mensal de energia dos modelos protocolados pela INMETRO e estudados no âmbito deste trabalho. Deste modo, se um coletor solar apresenta uma produção mensal de energia no valor de 250 kWh/mês, a P_{MEN} estimada para cada um dos meses do ano de 2015 na cidade de Curitiba, pode ser vista na Tabela 12.

Tabela 12 – P_{MEN} dos coletores solares usando o coeficiente multiplicativo.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
238,81	210,17	177,44	156,48	129,38	126,31	159,03	169,26	187,67	215,80	252,61	258,75	190,23

Fonte: Autoria própria, 2016.

Novamente observando as duas últimas tabelas é possível perceber a enorme diferença de produção de energia ao longo do ano para a cidade de Curitiba (mais de 100% de diferença na produção de energia entre o mês de junho e dezembro), pois conforme já dito anteriormente, a capital paranaense está localizada em uma região onde predomina o clima temperado subtropical, que por sua vez apresenta estações do ano bem definidas.

3.4 EQUIPAMENTOS PARA A COLETA DE DADOS

Nessa seção são apresentadas as especificações dos equipamentos para a coleta de dados térmicos e elétricos dos equipamentos que compõe o sistema de aquecimento da piscina

Foram utilizados um modelo de registrador eletrônicos de dados, conhecidos como “Data Logger”, e um modelo analisador de energia. O “Data Logger” utilizado para gravar as medições de temperatura foi o modelo LogBox-AA, da Novus. Referente a qualidade de energia que alimenta as bombas de calor, foi utilizado o analisador de energia modelo MI2292, da METREL, para analisar a energia na entrada das bombas de calor.

Por fim, é necessário o conhecimento da vazão mássica da água que passa através do aquecedor a gás, para cálculos da quantidade de calor útil do aquecedor a gás. Infelizmente o acesso a medidores eletrônicos para este fim é limitada, por isso, a massa da água foi calculada desconectando a entrada da água no aquecedor a gás e direcionando essa água para um recipiente de volume conhecido durante um determinado tempo. Com isso, é possível calcular aproximadamente a vazão mássica e posteriormente a quantidade de calor útil do aquecedor a gás.

3.4.1 NOVUS LOGBOX-AA

O LogBox-AA (Figura 22) é um “Data Logger” não tão robusto, possuindo apenas dois canais analógicos. Estes canais são projetados principalmente para a leitura da temperatura através de Termopares ou PT-100, mas eles também podem ler equipamentos que possuam saídas de 0-50 mV, 0-10 V, 0-20 mA ou 4-20 mA.



Figura 22 – Novus LogBox – AA.

Fonte: Novus, 2016.

O modelo possui uma capacidade de memória que armazena 32000 aquisições e, dependendo do intervalo de tempo das aquisições, o equipamento consegue monitorar determinada variável do sistema por semanas, ou até meses. A comunicação do “Data Logger” com o computador é feita através de uma interface ótica, e após a comunicação feita, os dados do LogBox-AA são lidos por um software chamado LogChart II. Este software é capaz de fornecer informações gráficas e valores em tabelas, além de permitir a exportação dos dados para posterior utilização em planilhas eletrônicas.

No âmbito deste trabalho foram utilizados sensores de temperatura do tipo PT-100 e do tipo termopar, que por sua vez foram conectados neste “Data Logger”. Vale lembrar que os medidores do tipo PT-100 são mais precisos que os termopares, entretanto, a disponibilidade deles para o projeto foi limitada, devido ao seu elevado custo, por isso também se fez necessária a utilização de termopares. Para calcular a quantidade de energia térmica utilizada pelos aquecedores a gás para aquecer a água foi necessário que a temperatura de entrada e saída da água nos aquecedores a gás fossem monitoradas. Para a análise de desempenho das bombas de calor fez-se necessário a medição da temperatura em torno das bombas de calor, além da temperatura da água de entrada e de saída das bombas de calor. Referente a este equipamento, as informações sobre este ser vistas na Tabela 13 detalhadamente.

Tabela 13 – Principais Especificações Data Logger Novus Logboxx-AA.

Resistência	> 10 MΩ	
Faixa de Operação	PT-100	-200°C a 650°C
	Termopar (Tipo J)	-50°C a 760°C
Precisão	PT-100	0,2% da faixa mínima
	Termopar (Tipo J)	0,25% da faixa mínima ± 1°C
Capacidade de Memória	32000 aquisições	
Temperatura de Trabalho	-40°C a 70°C	
Alimentação do Registrador	Bateria de Lítio de 3,6 Volts	

Fonte: Novus, 2016.

3.4.2 METREL MI2292

O modelo MI2292 do fabricante METREL (Figura 23) é um analisador de energia e no presente trabalho o mesmo é responsável por analisar o sistema elétrico de uma das bombas de calor utilizadas no aquecimento da piscina de estudo. Este modelo oferece diversas ferramentas para a análise de sistemas elétricos, operando tanto em modo online quanto em modo offline armazenando os dados para posterior análise.



Figura 23 – Analisador de Qualidade de Energia – MI2292 – METREL.

Fonte: Aatoria própria, 2016.

O modelo é dimensionado para sistemas trifásicos, com frequências entre 43Hz a 68Hz e possui três entradas para correntes e tensões. Ele é capaz de suportar correntes com amplitude de até 1000A e tensões de até 550V em corrente alternada, possuindo uma precisão de medição na ordem de 0,5% (METREL.SI, 2016). De forma compacta, as informações sobre este analisador podem ser vistas na Tabela 14.

Tabela 14 – Principais Especificações Analisador de Energia Metrel MI2292.

Tensão de Entrada (CA)	10 V _{RMS} a 550 V _{RMS}
Resolução Tensão	0,1 V
Precisão	± 0,5 %
Frequência	43 Hz a 68 Hz
Corrente de Entrada (CA)	20 A a 1000 A
Resolução Corrente	0,3 A

Fonte: METREL.SI, 2016.

A METREL fornece junto com o equipamento um software compatível com o sistema Windows que pode ser utilizado para a configuração do equipamento,

parametrização de variáveis, coleta de dados, análise offline de dados coletados ou análise online de sinais de corrente e tensão em sistemas elétricos.

3.5 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE DADOS

Esta seção apresenta as ferramentas que serão utilizadas para a análise dos dados coletados através das medições térmicas e elétricas nas bombas de calor e nos aquecedores a gás.

Os cálculos necessários para achar a quantidade de calor desperdiçada pelos aquecedores a gás são feitos utilizando o software Microsoft Excel, de forma que os dados coletados, na piscina de estudo, são utilizados como base para esses cálculos. Contudo, nem todos os dados são possíveis de serem coletados, desta forma, a simulação conta tanto com dados empíricos quanto com dados estimados.

Após a energia térmica desperdiçada pelos gases de escape dos aquecedores estar quantificada, esses dados são utilizados no cálculo da quantidade de calor que pode ser recuperada pelas bombas de calor. Após esse calor estar mensurado, é utilizado o Microsoft Excel para simular o quanto desta energia desperdiçada pelos aquecedores a gás afetaria a temperatura entorno das bombas de calor, se existisse uma tubulação ligando a saída dos aquecedores a gás até um trocador de calor localizado no ambiente onde se encontram as bombas de calor.

Para compreender melhor o efeito que o aumento da temperatura no entorno das bombas de calor poderia causar no seu desempenho, é necessário a coleta empírica de dados para ser possível definir uma relação entre temperatura externa e o COP. Após a coleta de dados, só é possível analisar o efeito da temperatura nos arredores das bombas criando um modelo matemático através de uma regressão múltipla. O software escolhido para criar um modelo matemático satisfatório é um software de análise estatística chamado R.

O software R é de domínio público, em que qualquer usuário pode modificá-lo ou implementá-lo com novos procedimentos desenvolvidos a qualquer momento, além de que o R conta com um grande número de colaboradores de diversas áreas de conhecimento. Ele pode ser definido como uma série integrada de softwares para cálculos matemáticos, manipulação de dados e exibição gráfica em que se é possível uma manipulação eficaz de dados através de uma extensa, coerente e totalmente

integrada coleção de ferramentas intermediárias para análise de dados (SILVA, DINIZ e BORTOLUZZI, 2009).

Para Souza, Peternelli & Mello, (SOUZA, PETERNELLI e MELLO, 2016), o R é uma poderosa ferramenta na análise e manipulação de dados, com modelagem linear e não linear, análise de séries temporais, simulação e estatística espacial, testes paramétricos e não paramétricos, dentre outros.

Na segunda parte é analisado a viabilidade técnica e econômica da implantação de coletores solares visando aumentar a eficiência energética do sistema. Porém, nessa segunda parte, não há levantamento de dados de maneira empírica, sendo assim, a completa análise energética de um sistema utilizando coletores solares é, também, simulada no Microsoft Excel.

4 DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DA PISCINA

Nesse capítulo é apresentado as condições atuais encontradas no sistema de aquecimento presente na piscina da UTFPR – Campus Curitiba – Sede Centro através de um diagnóstico energético e econômico dos equipamentos responsáveis por aquecer a piscina. Tal diagnóstico só pode ser realizado devido a coleta, tanto de maneira empírica quanto por intermédio de informações fornecidos por fabricantes, e processamento de dados. Após esse diagnóstico, é apresentado, através de análises energéticas e econômicas, vantagens e desvantagens dos dois sistemas de aquecimento propostos neste trabalho.

Conforme já citado em capítulos anteriores, o aquecimento da piscina de UTFPR (Campus Curitiba – Sede Central) é realizado atualmente por quatro bombas de calor e dois aquecedores a gás. Para efeito de uma análise mais real, alguns dados foram obtidos tanto para os aquecedores a gás, quanto para as bombas de calor. Além disso, também foram feitas algumas estimativas para tentar se aproximar de valores mais próximos da realidade.

4.1 AQUECEDORES A GÁS

Inicialmente, a análise energética dos aquecedores a gás seria calculada através da análise de temperatura e da velocidade dos gases de escape. Entretanto ocorreram alguns contratempos que inviabilizaram esse método, sendo o principal fator, a coleta de dados referente a velocidade dos gases de escape. Primeiramente, esses gases foram canalizados através de dois funis de alumínio e na saída desses funis foram instalados anemômetros (Figura 24), porém a velocidade dos gases de escape não fora suficiente para vencer a inércia dos anemômetros, impossibilitando a análise de velocidade.



Figura 24 – Anemômetros Instalados

Fonte: Autoria própria, 2016.

Devido ao problema referente a velocidade dos gases de escape na saída dos aquecedores a gás, foi adotado outro método para análise, sendo este através da análise da taxa de transferência de calor para água e do rendimento do aquecedor a gás informado pelo fabricante utilizando-se das Equação 3 (Página 31) e a Equação 6 (Página 41). Para calcular a taxa de transferência de calor dos aquecedores a gás para água foram realizadas medições de temperatura tanto na entrada da água nos aquecedores, quanto na saída dos mesmos. A Figura 25 mostra os sensores PT100 instalados na tubulação de entrada da água nos aquecedores a gás [1] e na tubulação da água de saída do mesmo [2].

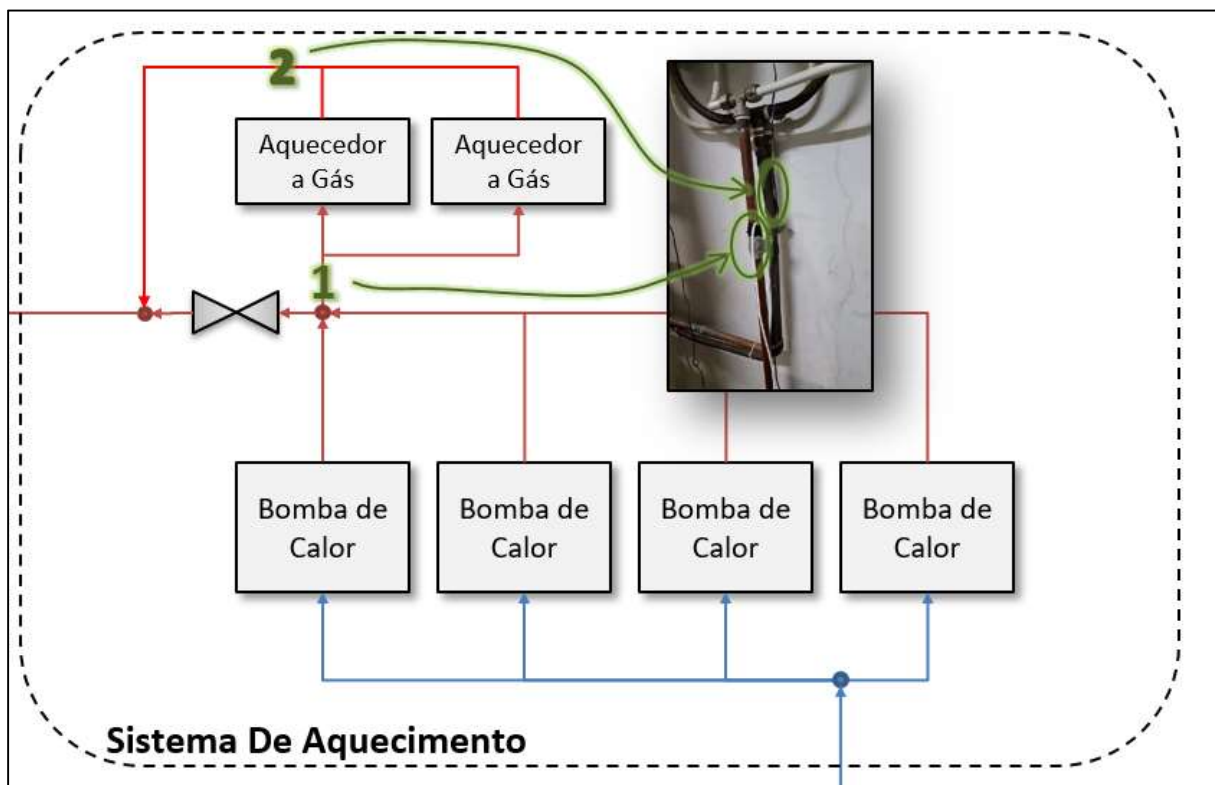


Figura 25 – Sensores PT100 Instalados nos Aquecedores a Gás

Fonte: Autoria própria, 2016.

Observando a figura acima é possível perceber que os aquecedores estão em paralelo, sendo assim, as medições foram feitas na entrada e saída de água de ambos os aquecedores. E de acordo com as temperaturas registradas pelo data logger foi possível determinar quando os aquecedores estão ligados simultaneamente, quando apenas um aquecedor está ligado ou quando os dois aquecedores estão desligados, conforme visto na Figura 26.

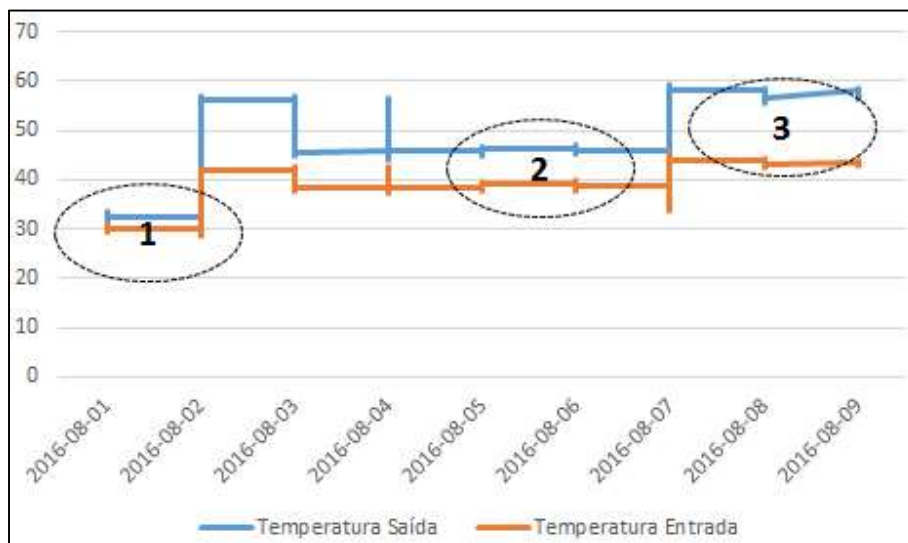


Figura 26 – Ciclo de funcionamento dos aquecedores a gás.

Fonte: Autorial própria, 2016.

Logo, a partir da análise da Figura 26, é possível ver que na elipse de número 1 ambos os aquecedores a gás estão desligados, na elipse de número 2 apenas um dos aquecedores está ligado e na elipse de número 3 ambos os aquecedores estão ligados. Ainda de acordo com a imagem, vale ressaltar aqui duas coisas: a primeira é relativa a temperatura absoluta de saída, quando os dois aquecedores estão ligados a temperatura é próxima de 60°C, o que é muito superior a temperatura desejada da piscina, contudo isto se deve ao fato da vazão dos aquecedores a gás ser menor que a vazão das bombas de calor (contribuindo menos para o aquecimento); a segunda é relativa ao aumento da temperatura de entrada quando pelo menos um dos aquecedores está ligado, e isto é oriundo ao fato de haver um trocador de calor entre a água que vem das bombas de calor e a água dos aquecedores a gás, desta forma, após a água sair aquecida dos aquecedores ela passa pelo trocador de calor e posteriormente retorna para o aquecedor e como o trocador de calor não tem 100% de eficiência, a água retorna pré-aquecida ao aquecedor a gás.

Nos tópicos anteriores foram apresentados a eficiência dos aquecedores a gás, assim como o cálculo da taxa de transferência de calor, de modo que calculando a taxa de transferência de calor dos aquecedores para aquecer a água é possível descobrir a potência útil do sistema de aquecimento a gás, e através do rendimento dos aquecedores é possível descobrir a potência que está sendo desperdiçada pelo mesmo sistema.

Durante o período de aproximadamente 4 meses, desde 06 de julho de 2016 à 25 de outubro de 2016, foram coletados 31323 dados de temperatura dos aquecedores a gás, de forma que a partir da diferença de temperatura entre a água de saída e a da entrada é possível verificar se os aquecedores estão ligados ou desligados, portanto a Tabela 15 mostra quantas medições foram realizadas com os aquecedores desligados, apenas um aquecedor ligado e os dois aquecedores ligados. Para ambos os aquecedores desligados a diferença de temperatura entre a água de saída e a da entrada foi considerada menor ou igual 2,5°C, para apenas um aquecedor ligado a diferença de temperatura deveria estar entre 3°C e 9°C, para os dois aquecedores ligados foi considerada a diferença de temperatura entre 10°C e 17°C, e as medições que não estavam nos parâmetros foram consideradas como NA.

Tabela 15 – Status dos Aquecedores a Gás e Quantidade de Amostras.

	Nº registros	Porcentagem
Ambos Desligados	10429	33,30%
1 Ligado	3582	11,44%
2 Ligados	16559	52,87%
NA	753	2,40%
TOTAL	31323	100%

Fonte: Autoria própria, 2016.

A partir da Tabela 15 é fácil observar que durante o período de medição, mais de 50% do tempo ambos os aquecedores a gás estavam ligados, sugerindo assim que na maioria do tempo no período considerado a taxa de transferência de energia de escape dos aquecedores seriam aproveitadas pelas bombas de calor. E este valor chega em 64,30% quando pelo menos um aquecedor está ligado.

Para o cálculo da taxa de transferência de calor útil dos aquecedores a gás é necessário a vazão mássica, o calor específico da água e a diferença de temperatura entre a água de saída e a de entrada nos aquecedores a gás. Para o estudo a seguir são considerados os dois aquecedores ligados e devido ao maior percentual de amostras, nessa condição, estar entre 12°C e 16°C, foi este o range definido para análise. Com o range definido, foi utilizado uma média simples para estimar um valor médio de variação de temperatura, sendo este 13,33°C.

Em relação a vazão mássica da água que circula pelos aquecedores, a mesma foi encontrada a partir do preenchimento de um recipiente durante um determinado tempo, de modo que foi preenchido 4300 mL em 5,29 segundos. Considerando o valor de 1000 kg/m^3 para a densidade da água, obtemos que o volume citado equivale a 4,3 kg. E por fim, utilizando a Equação 7 (Página 41), obtemos a vazão mássica de 0,8128 kg/s para a água que circula nos aquecedores a gás.

A partir dos dados obtidos de temperatura e vazão mássica e considerando o calor específico da água igual a $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ($4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$), é possível utilizar a Equação 6 (Página 41) para descobrir a quantidade de calor fornecida a água pelos aquecedores a gás. Desta forma, multiplicando os valores da vazão mássica, do calor específico e da diferença de temperatura, foi obtido o valor de $45368,47 \text{ J/s}$ para a taxa de transferência útil de calor para a água que circula pelos aquecedores, e conforme visto anteriormente, o rendimento dos aquecedores é de 83,2% e utilizando a Equação 1 (Página 30) é possível achar a taxa de transferência de calor disponível dos aquecedores, que é de $52990,37 \text{ J/s}$, ou seja, 52,99 kW.

Finalmente, utilizando a Equação 2 (Página 31) foi encontrada a taxa de transferência de calor desperdiçada (\dot{Q}_{perdas}) igual a $7621,90 \text{ J/s}$, e foi considerado um valor de 5% para as perdas que não ocorrem pelo gás de escape, desta forma temos $7240,81 \text{ J/s}$ (7,24 kW) de perdas nos gases de escape dos aquecedores a gás, quando os dois aquecedores estão ligados.

4.2 BOMBAS DE CALOR

Inicialmente é importante observar que devido a indisponibilidade de analisadores de energia, apenas uma das quatro bombas de calor foi monitorada, justamente a bomba que fica ligada em tempo integral, sendo esta a bomba número 2 de acordo com a Figura 16 (Página 60). O analisador pode ser observado na Figura 27, onde o mesmo foi instalado no quadro elétrico da casa de máquinas da instalação que compreende a piscina da UTFPR, e por sua vez coletou informações referentes as correntes e tensões das três fases da bomba de calor número 2, conforme mostra o esquema de ligação na Figura 28.



Figura 27 – Analisador de Energia Instalado no Quadro Elétrico da Piscina

Fonte: A autoria própria, 2016.

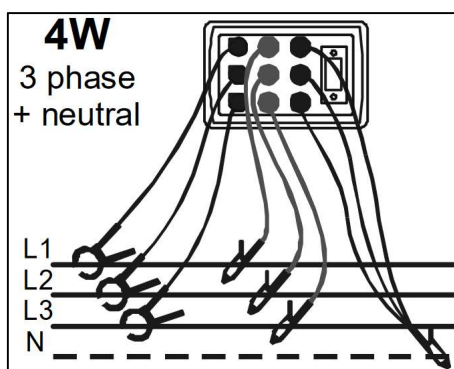


Figura 28 – Esquema de Ligação do Analisador de Energia

Fonte: METREL.SI, 2016.

Além da limitação de equipamentos, a perda de alguns dados por parte do analisador de energia e a dificuldade de identificar o circuito das bombas de calor no quadro elétrico localizado nas dependências da piscina da universidade, foram outros problemas enfrentados para garantir resultados mais satisfatórios. Portanto, as medições do circuito elétrico das bombas de calor demoraram um pouco para se iniciarem, começando no dia 12 de setembro de 2016 e finalizando no dia 31 de outubro de 2016, sendo que cada medição era feita a cada 10 minutos, totalizando assim um total de 5038 medições.

Para analisar o comportamento elétrico da bomba de calor 2 é importante analisar as correntes de cada uma das fases, conforme pode ser visto na Figura 29, de forma que é possível observar que as correntes seguem os mesmos padrões, apesar de

estarem em módulo um pouco defasadas entre si. No dia 07 de outubro é possível notar que houve um desligamento da bomba de calor, contudo a mesma foi religada logo em seguida.

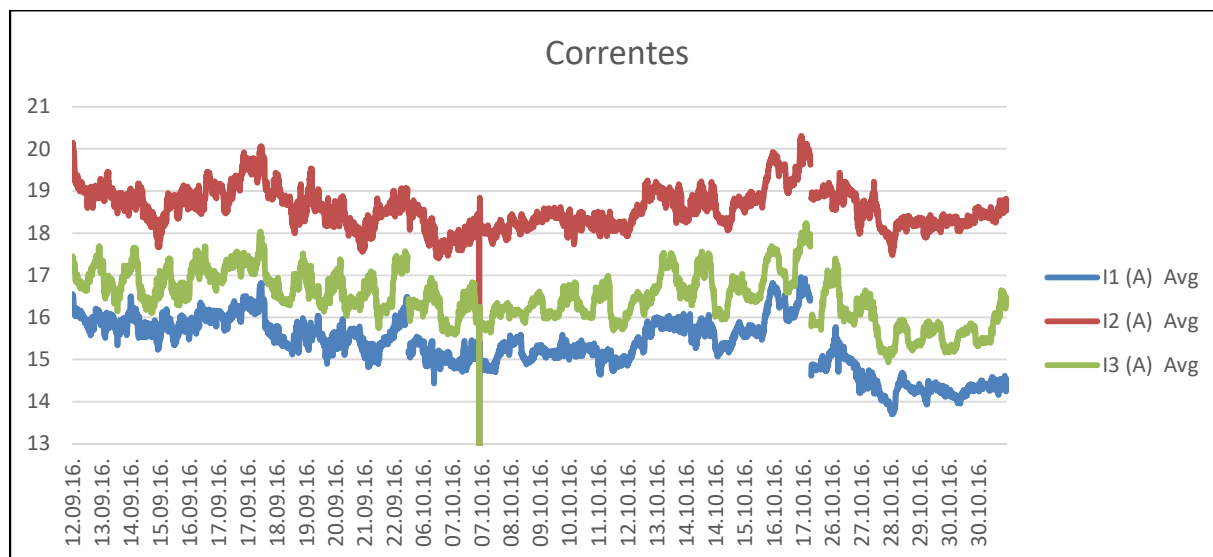


Figura 29 – Correntes de fase na bomba de calor

Fonte: Autoria própria, 2016.

Considerando que durante a operação da bomba de calor as tensões de fase são praticamente constantes no valor de 127V, a potência irá variar de acordo o padrão das correntes, conforme pode ser visto na Figura 30, onde estão relacionadas a potência aparente (S), a potência ativa (P) e a corrente da fase 2 (I2).

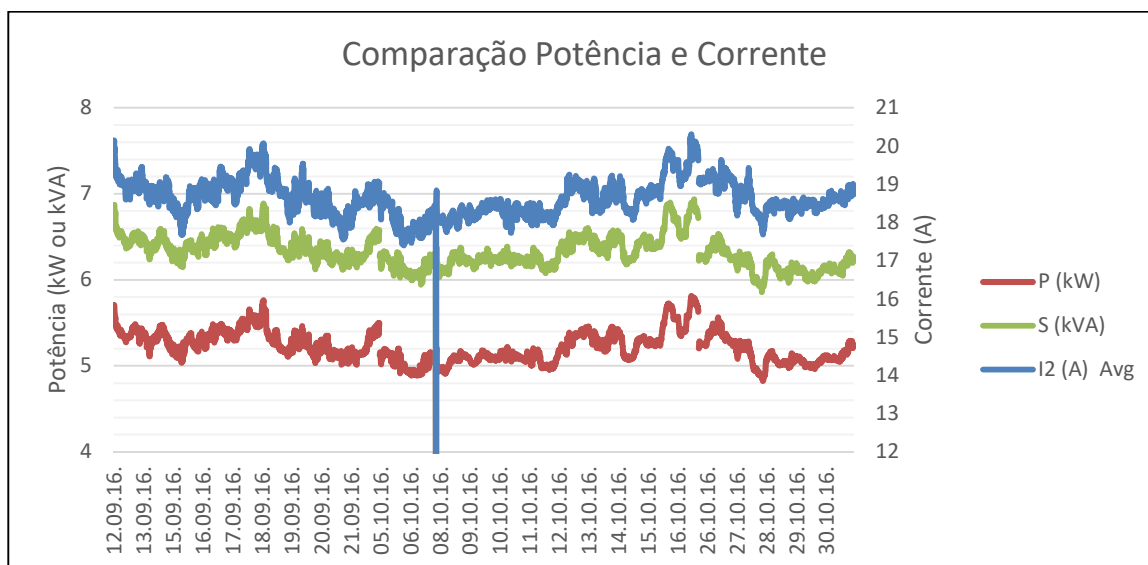


Figura 30 – Comparação potência aparente, potência ativa e corrente na bomba de calor.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Após a análise da figura acima é possível perceber que há uma diferença entre a potência aparente e a potência ativa, logo, achando a razão entre a potência ativa e a aparente é possível achar o fator de potência da bomba de calor. Portanto, após achar o fator de potência de cada uma das medições, uma média foi feita e se chegou ao valor de 0,822 para a bomba de calor utilizada neste estudo.

Além dos dados da bomba de calor coletados pelo analisador de energia, também foi instalado um medidor de temperatura no ambiente (termopar) ao redor da mesma bomba de calor, conforme pode ser visto na Figura 31.



Figura 31 – Instalação do Termopar Tipo J no Entorno da Bomba de Calor nº 2

Fonte: Autoria própria, 2016.

Com os dados da temperatura do entorno da bomba de calor e o seu respectivo comportamento elétrico, é possível confrontar os dados da temperatura externa e a potência consumida pela mesma, conforme pode ser visto na Figura 32. Deste modo, nota-se que a potência consumida pela bomba de calor segue um padrão diretamente proporcional com a sua temperatura externa, ou seja, quanto maior a temperatura externa, maior a potência consumida pela bomba de calor. Outros fatores influenciam também no trabalho realizado pela bomba de calor, tais como a umidade e a velocidade do ar e temperatura da água da piscina. Entretanto, mais uma vez, devido a indisponibilidade de equipamentos, alguns desses fatores não puderam ser monitorados.

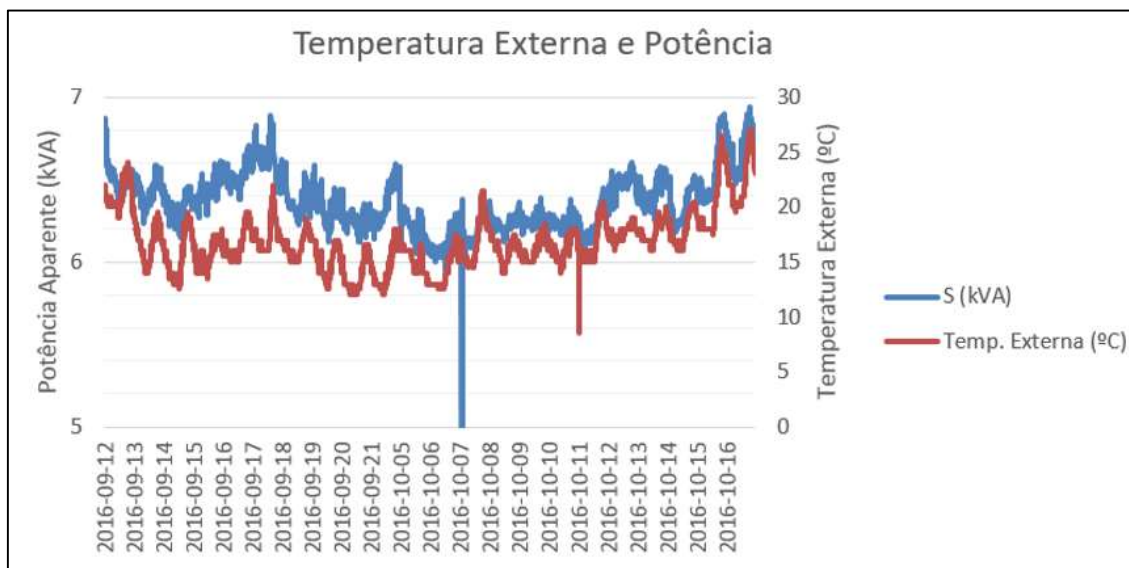


Figura 32 – Temperatura Externa e Potência Ativa na Bomba de Calor.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Para comprovar a relação direta da temperatura ambiente com a potência, visto na Figura 32, os dados foram manipulados em forma crescente de temperatura e a potência foi analisada, conforme Figura 33 (APÊNDICE A).

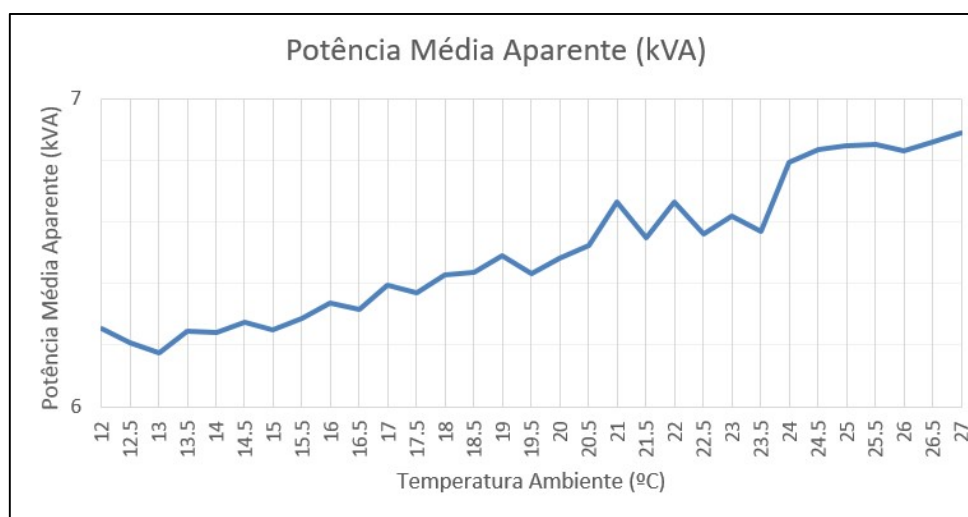


Figura 33 – Potência Consumida pela Bomba de Calor em Função da Temperatura

Fonte: Autoria própria, 2016.

Inicialmente se achou que a relação da potência consumida pela bomba de calor com a temperatura ambiente fosse inversamente proporcional, contudo como pode ser visualizado pelas medições, observa-se uma relação diretamente proporcional. Após

descartar as hipóteses de erros de medições pelos equipamentos, foi realizado um contato com um especialista em bombas de calor, e o mesmo informou que realmente a potência consumida é maior com o aumento da temperatura. Isto se deve ao fato de que com a temperatura ambiente maior o líquido refrigerante que passa pelo evaporador sairá com uma temperatura maior e conseqüentemente com uma pressão maior, e quanto maior a pressão na entrada do compressor, ele precisa realizar um trabalho maior.

Após verificar que não é possível estimar o desempenho da bomba de calor apenas analisando o trabalho realizado pela mesma, se fez necessário descobrir a quantidade de calor útil da bomba de calor, ou seja, o ganho de temperatura da água da piscina ao passar pela bomba de calor. Desta forma, primeiramente se tentou contato com a JellyFish em busca de informações da relação entre a temperatura ambiente e o COP, contudo a única informação fornecida pela empresa foi uma tabela contendo 17 amostras de dados, que infelizmente não puderam ser conclusivos. Portanto, a única saída foi coletar medições de temperatura da água de entrada e saída da bomba de calor na piscina da UTFPR. Para isso, a tubulação de entrada [1] e saída [2] da bomba de calor 2 foram furadas e os sensores PT100 (cabos brancos) que estavam monitorando os aquecedores a gás, passaram a monitorar a temperatura da água de entrada e saída das bombas de calor, conforme mostra a Figura 34.

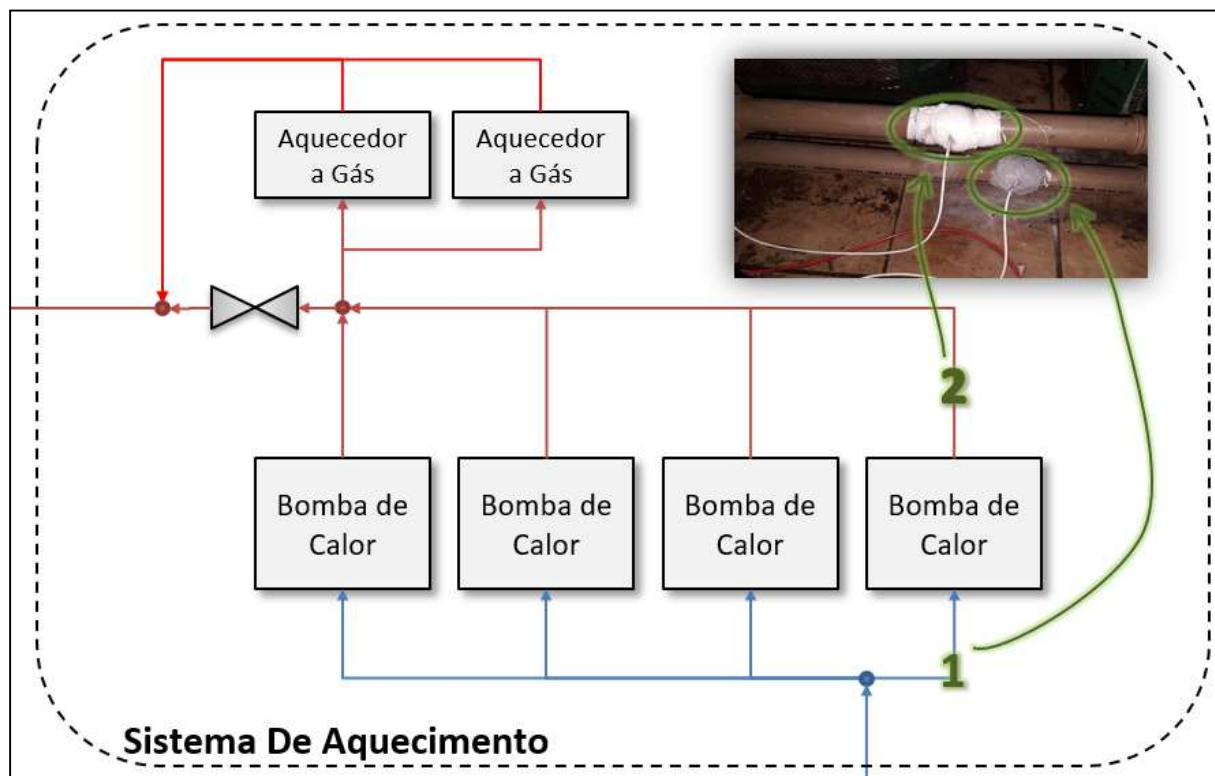


Figura 34 – Sensores PT100 Instalados na Tubulação de Entrada e Saída da Bomba de Calor nº 2

Fonte: Autoria própria, 2016.

Após a instalação, os dados dos sensores foram coletados desde 25 de outubro de 2016 à 31 de outubro de 2016 e geraram 618 medições, de forma que as mesmas puderam ser confrontadas com os dados da temperatura no ambiente das bombas de calor e também com a potência elétrica consumida pelas bombas.

Primeiramente para a análise do coeficiente de desempenho da bomba de calor, foi considerado um valor de vazão mássica constante na ordem de $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Em seguida várias análises foram feitas para tentar achar a relação do COP com a temperatura ambiente, e foi observado que quanto maior a temperatura no entorno das bombas de calor maior é o COP, contudo essa proporção direta acontece apenas quando a temperatura da água de entrada está abaixo ou igual a $29,5^\circ\text{C}$. Para valores de temperatura de entrada da água na bomba de calor acima de $29,5^\circ\text{C}$, a temperatura ambiente não tem uma influência direta com o coeficiente de desempenho. Os gráficos que relacionam a temperatura ambiente e o COP podem ser vistos a seguir na Figura 35 e Figura 36, sendo que o primeiro é para temperaturas de entrada da água na bomba de

calor (TE) entre 28,3°C e 29,5°C, já o segundo é para temperaturas entre 29,6°C e 30,6°C.

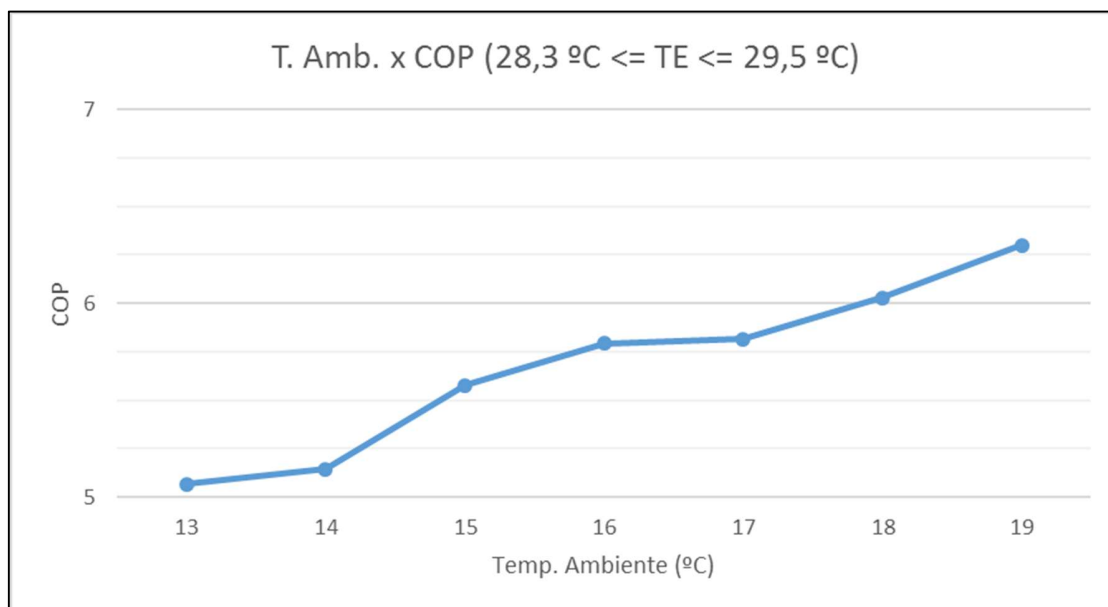


Figura 35 – Relação do COP com a Temperatura Ambiente Para Temperatura de Entrada da Água entre 28,3°C e 29,5°C

Fonte: Autoria própria, 2016.

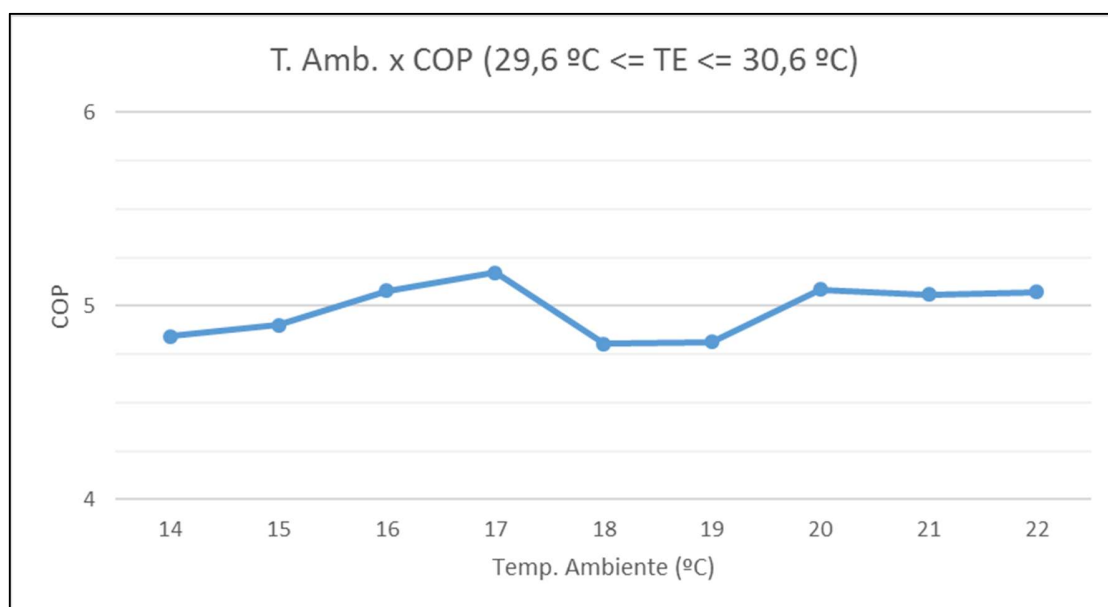


Figura 36 – Relação do COP com a Temperatura Ambiente Para Temperatura de Entrada da Água entre 29,6°C e 30,6°C

Fonte: Autoria própria, 2016.

Conforme pode ser visto na Figura 35 e Figura 36 é possível perceber o comportamento não linear da bomba de calor para temperaturas de entrada da água maiores que 29,5°C, além do COP médio neste também ter diminuído em relação ao COP médio para a temperatura da água de entrada menor ou igual 29,5°C. É interessante observar que para TE menor ou igual 29,5°C o COP aumenta de acordo com a temperatura ambiente, portanto apesar da potência consumida também aumentar (grandeza inversamente proporcional ao COP), a quantidade de calor útil transferida para água tem mais influência no coeficiente de desempenho do que a potência consumida, isto é, a taxa de crescimento da quantidade de calor útil é maior do que a taxa de crescimento da potência consumida.

Apesar do Excel ser um excelente software para análise de dados, seus resultados são baseados em médias, de forma que apesar de representarem valores concisos, não são tão precisos quanto os valores fornecidos pelo software R, que analisa os dados e gera equações matemáticas relacionando variáveis dependentes e independentes através do método da regressão linear multivariável. Desta forma, com o intuito de avaliar o COP da bomba de calor, e através dos dados coletados, foi possível encontrar uma equação em que COP seria a variável dependente e a temperatura em torno das bombas de calor (TA) e a de entrada da água (TE) seriam as variáveis independentes. A equação encontrada é apresentada na equação 15, que possui um ajuste da curva de 82%.

$$COP = 646,4552 - 0,015548.TA^2 + 0,7063.TE^2 + 0,56472.TA - 42,74202.TE \quad (15)$$

Desta maneira, utilizando a equação acima é possível estimar o comportamento do COP de acordo com a variação da temperatura em torno das bombas de calor e a temperatura de entrada da água, entretanto como é desejável que a temperatura da piscina esteja a 29,5°C, o TE é mantido fixo na temperatura desejável e o coeficiente de desempenho da bomba de calor passa a depender exclusivamente da temperatura no entorno das bombas de calor, conforme a equação 16.

$$COP = 0,223185 - 0,015548.TA^2 + 0,56472.TA \quad (16)$$

5 SOLUÇÕES PROPOSTAS

Os sistemas propostos, conforme já citados anteriormente, são divididos em duas partes, na qual a primeira é o reaproveitamento dos gases de escape dos aquecedores a gás através das bombas de calor, e o segundo é o auxílio da tecnologia solar para o sistema de aquecimento. Desta forma, este estudo foi realizado utilizando dados empíricos e teóricos, que são abordados no decorrer deste tópico.

5.1 REAPROVEITAMENTO DOS GASES DE ESCAPE

Conforme visto no item 4.1, quando ambos os aquecedores estão ligados há uma potência de 7,24 kW que atualmente é dissipada pelos aquecedores a gás através do escapamento. Considerando que toda essa potência seja transportada sem perdas para o ambiente entorno das bombas de calor é possível estimar o ganho de temperatura para este entorno. Porém, antes de estimar o ganho de temperatura é necessário encontrar a relação entre a temperatura no entorno das bombas de calor e o status dos aquecedores (desligado, apenas um ligado ou os dois ligados). E após encontrar essa relação e estimar o ganho de temperatura no ambiente onde se encontram as bombas de calor será avaliado o ganho no rendimento da bomba de calor em questão e a economia gerada por esse ganho.

5.1.1 RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA NO ENTORNO DAS BOMBAS DE CALOR E O STATUS DOS AQUECEDORES A GÁS

A análise da relação entre a temperatura no entorno das bombas de calor e o status dos aquecedores a gás é essencial para avaliar o ganho que a recuperação dos gases de escape proporcionariam no desempenho das bombas de calor, pois através dessa relação, conseguimos avaliar, para cada temperatura no entorno das bombas de calor, o quanto de energia está sendo dissipada no escape, levando em consideração o percentual do tempo que os aquecedores a gás permanecem ligados.

Para analisar essa relação foram coletados dados entre 23 de agosto de 2016 à 25 de outubro de 2016, e depois, o percentual de tempo que os aquecedores permanecem em cada estado (Desligado, Um Ligado, Dois Ligados) foram organizados graficamente na Figura 37 (APÊNDICE B), sendo que o NA significa que a medição ficou sem classificação. Desta forma, através do gráfico, é possível verificar que em até 19°C

na temperatura no entorno das bombas de calor, é possível aproveitar a energia térmica dos gases de escape dos aquecedores, pois, acima dessa temperatura o uso dos aquecedores a gás passa a ser desprezível, pois em mais de 90% do tempo eles permanecem desligados.

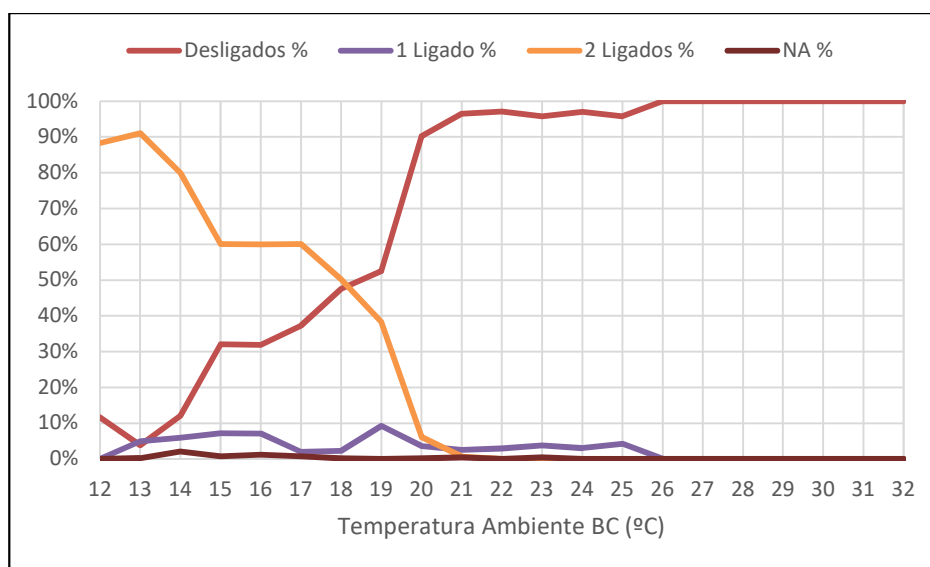


Figura 37 – Percentual dos Status dos Aquecedores por Temperatura.

Fonte: Autoria própria, 2016.

5.1.2 GANHO DE TEMPERATURA NO ENTORNO DA BOMBA DE CALOR

Feita a análise da relação entre a temperatura no entorno das bombas de calor e do status dos aquecedores, é possível prosseguir para a estimativa do ganho na temperatura no ambiente onde se encontram as bombas de calor se houvesse o transporte dos gases de escape até esse ambiente. Conforme já dito, o sistema proposto considera que apenas uma das faces de uma das bombas de calor receberá diretamente a potência oriunda dos gases de escape dos aquecedores a gás.

Primeiramente foi medida a área do evaporador em uma das faces da bomba de calor, resultando em um valor de aproximadamente $0,665 \text{ m}^2$. Em seguida a velocidade do ar entrando no evaporador da bomba de calor foi considerada como sendo 1 m/s , ou seja, multiplicando a área do evaporador pela velocidade com que o ar entra no mesmo é encontrado um valor de $0,665 \text{ m}^3/\text{s}$ para a vazão do ar entrando em uma das faces da bomba de calor. Com relação a densidade do ar, esta varia um pouco de acordo com a

temperatura, porém uma boa aproximação é $1,2 \text{ kg/m}^3$ (PORTALBRASIL10.COM, 2016), desta forma multiplicando a densidade com a vazão do ar, obtém-se um valor de $0,7978 \text{ kg/s}$ para a vazão mássica.

Para efeitos de cálculo é considerado o calor específico do ar tem um valor de $0,24 \text{ cal/(g.}^\circ\text{C)}$, ou seja, multiplicando este valor por 4186 obtém-se o valor de $1004,64 \text{ J/(kg.}^\circ\text{C)}$ (FÍSICA.NET, 2016). Por fim, vale a pena lembrar que a taxa de transferência de calor obtida pelos gases de escape dos aquecedores a gás é equivalente a $7,24 \text{ kW}$, e também será considerado que esta energia não sofrerá perdas de transporte até o ambiente das bombas de calor.

Considerando um trocador de calor com 80% de rendimento, a potência efetiva para o aquecimento do ar entrando no evaporador em uma das faces da bomba de calor seria $5,79 \text{ kW}$. Logo, utilizando a equação 6, a única incógnita resultante é a diferença de temperatura ($\Delta\theta$), de modo que dividindo $5,79 \text{ kW}$ por $1004,64 \text{ J/(kg.}^\circ\text{C)}$ e depois dividindo esse resultado por $0,7978 \text{ kg/s}$ obtém-se o valor de aproximadamente $7,23 \text{ }^\circ\text{C}$ para a variação de temperatura de uma das faces da bomba de calor. Como a bomba de calor analisada neste trabalho apresenta três faces com a área do evaporador praticamente iguais e uma face com a área do evaporador sendo a metade das outras faces, o valor de $\Delta\theta$ é dividido por $3,5$ de forma a achar o ganho de temperatura global da bomba de calor, obtendo assim um valor de $2,06 \text{ }^\circ\text{C}$ de aumento na temperatura ambiente da bomba de calor que possui o trocador de calor.

Vale ressaltar que os cálculos acima foram realizados com algumas simplificações, tais como considerar que o ar de entrada no evaporador vai ser constante para toda a área do evaporador e principalmente não considerar o gradiente de temperatura do trocador de calor.

5.1.3 EFEITO DO AUMENTO DE TEMPERATURA NA BOMBA DE CALOR

Conforme já descrito em tópicos anteriores, o efeito da temperatura no desempenho da bomba de calor irá ser estimado de acordo com a Equação 16 (Página 92), feita a partir de dados empíricos, que relaciona o COP com a temperatura ambiente, mantendo algumas grandezas constantes. Especificamente para a bomba de calor que possui o trocador de calor, fora visto que no tópico anterior que há um aumento de $2,06^\circ\text{C}$ na temperatura do evaporador da mesma quando ambos os aquecedores estão ligados,

desta forma, para as temperaturas no entorno das bombas de calor entre 8°C e 15°C (temperaturas baixas onde as bombas de calor operam com o auxílio dos aquecedores a gás), a Tabela 16 compara o COP e a temperatura antes do reaproveitamento da energia desperdiçada pelos aquecedores a gás (COP_{ANT} e T_{ANT}), com o COP e temperatura após o aproveitamento da energia dos aquecedores (COP_{DEP} e T_{DEP}), assim como fornece o ganho percentual no desempenho das bombas de calor a partir do aproveitamento desta energia desperdiçada pelos aquecedores a gás. Os valores de COP a seguir foram estimados usando a Equação 16 e também foi considerado que os dois aquecedores a gás estão ligados.

Tabela 16 – Relação Percentual do Aumento do COP com o Aumento da Temperatura.

T_{ANT} (°C)	COP_{ANT}	T_{DEP} (°C)	COP_{DEP}	Ganho
8	3,745873	10,06	4,331981	15,65%
9	4,046277	11,06	4,568176	12,90%
10	4,315585	12,06	4,773274	10,61%
11	4,553797	13,06	4,947277	8,64%
12	4,760913	14,06	5,090184	6,92%
13	4,936933	15,06	5,201995	5,37%
14	5,081857	16,06	5,282710	3,95%
15	5,195685	17,06	5,332329	2,63%

Fonte: Autoria própria, 2016.

Portanto, a partir desta análise pontual é possível verificar que quanto mais fria a temperatura no entorno das bombas de calor, mais efetivo será o aproveitamento dos gases de escape dos aquecedores. Contudo, apesar do ganho ser maior em temperaturas mais baixas, ainda assim este ganho não possui muita representatividade no contexto geral do sistema de aquecimento, visto que apenas uma bomba de calor está sendo afetada com o aumento da temperatura.

5.2 SISTEMA ATUAL COM O AUXILIO DE AQUECEDORES SOLARES

No tópico 3.3 os aquecedores solares foram abordados de forma geral. Já relacionado a este tópico, será abordado um aquecedor solar específico de forma a ser usado como base para futuros cálculos financeiros.

5.2.1 DEFINIÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO DO AQUECEDOR SOLAR

Dos 120 coletores analisados, o coletor solar utilizado neste estudo será o coletor solar modelo UR500 da fabricante Soria Solar, pois dentre todas os fabricantes, este é a que apresenta o modelo com maior PMEe (104 kWh/mês.m²), ou seja, é a que tem a maior produção de energia por metro quadrado de coletor solar. A placa solar analisada apresenta uma produção mensal de 617,70 kWh/mês, lembrando que esse valor é definido de acordo com as condições definidas pela INMETRO, citadas no tópico 3.3.2. As especificações técnicas podem ser vistas detalhadamente na Tabela 17.

Tabela 17 – Principais Especificações Aquecedor Solar Soria UR500.

Pressão de Funcionamento	600 kPa
PMEe	104 kWh/mês.m ²
Produção Mensal por Coletor	617,70 kWh/mês
Faixa de Classificação INMETRO	A
Área Externa do Coletor	5,94 m ²
Eficiência Energética Média	79,51 %

Fonte: SORIASOLAR.COM, 2016.

Além disso, a placa em questão apresenta uma área útil de 5,94 m², e em uma instalação as placas são separadas em baterias de 6 coletores cada. Desta forma, para uma área de 650 m² a ser utilizada pelos coletores, seriam necessárias 18 baterias de 6 coletores cada, totalizando 641,52 m² de área útil total coletora solar. Portanto, neste ponto é possível estimar a produção total e unitária de energia gerada pelos coletores em cada um dos meses de 2015. Na Tabela 18 está novamente o coeficiente multiplicativo da radiação (Calculado na Tabela 11), a produção unitária estimada (P_{est})(produto entre o coeficiente multiplicativo, coeficiente de compensação do sombreamento e a produção mensal calculada pelos padrões da INMETRO), a produção total estimada (PT_{est})(produto entre P_{est} e o número de coletores), o PMEe estimado ($PMEe_{est}$) e por fim a produção total estimada em kW.

Tabela 18 – Produção Total Estimada Pelos Aquecedores Solares.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
Coef. Mult.	0,96	0,84	0,71	0,63	0,52	0,51	0,64	0,68	0,75	0,86	1,01	1,04	0,76
P_{est} (kWh/mês)	442,53	389,47	328,82	289,97	239,74	234,06	294,71	313,66	347,77	399,89	468,12	479,49	352,51
PT_{est} (kWh/mês)	47793	42062	35512	31316	25892	25278	31828	33875	37559	43188	50556	51784	38071
PMEE_{est} [kWh/(mês,m²)]	74,50	65,57	55,36	48,82	40,36	39,40	49,61	52,80	58,55	67,32	78,81	80,72	59,35
PT_{est} (kW)	66,38	58,42	49,32	43,50	35,96	35,11	44,21	47,05	52,17	59,98	70,22	71,92	52,88

Fonte: Autoria própria, 2016.

Para estimar o custo da instalação dos coletores solares, a empresa Soria Solar, fabricante do coletor solar utilizado neste estudo, foi contatada para realizar um orçamento da instalação dos coletores solares na piscina da UTFPR. Entretanto, a empresa fez o orçamento de uma instalação com 72 coletores, ou seja, aproximadamente 34% a menos do que o número de coletores deste estudo, portanto o orçamento foi adaptado para um valor correspondente aos 108 coletores solares. A seguir a Tabela 19 mostra o orçamento feito para empresa Soria e o orçamento adaptado para a quantidade maior de coletores.

Tabela 19 – Gasto Inicial para Instalação dos Aquecedores Solares.

Item	Qtd. Orçada	Preço Orçado	Qtd. Nova	Preço Estimado
Coletor solar	72	R\$45.657,60	108	R\$68.486,40
Quadro de Comando	1	R\$2.875,40	1	R\$2.875,40
Kit Hidráulico (Válvulas Quebra Vácuo, Abraçadeiras, Tampões e Adaptadores)	1	R\$1.913,14	1,5	R\$2.869,71
Motobomba	1	R\$3.500,00	1	R\$3.500,00
Material Hidráulico e Elétrico (Estimativa)	1	R\$30.000,00	1,5	R\$45.000,00
Mão de Obra (Estimativa)	1	R\$24.000,00	1,5	R\$36.000,00
Projeto	1	R\$5.500,00	1	R\$5.500,00
TOTAL		R\$113.446,14		R\$164.231,51

Fonte: Autoria própria, 2016.

5.2.2 CONTRIBUIÇÃO DE ENERGIA DOS AQUECEDORES SOLARES

Conforme já fora visto no tópico 3.1.7.3 a perda total de calor pela piscina é igual a potência necessária para manter a piscina em 29,5 °C. Desta forma, na Tabela 20 a potência média estimada dos aquecedores solares ($P_{T_{est}}$) (Ver Tabela 18, Página 98) é comparada com a potência de manutenção da temperatura da piscina (P_{man}). Também é mostrada a razão entre a potência média estimada e a potência de manutenção para manter a piscina em 29,5°C, a qual nos fornece o percentual de contribuição dos coletores solares (%AS) no sistema de aquecimento.

Tabela 20 – Percentual de Auxílio dos Aquecedores Solares para Manter a Temperatura da Piscina em 29,5 °C

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
$P_{T_{est}}$ (kW)	64,24	62,59	47,73	43,50	34,80	35,11	42,78	45,53	52,17	58,05	70,22	69,60	52,15
P_{man} (kW)	78,03	78,67	83,25	95,37	106,26	115,04	113,82	110,71	101,99	95,55	90,35	78,96	96,41
% AS	82,33	79,57	57,33	45,61	32,75	30,52	37,58	41,13	51,15	60,75	77,71	88,15	54,10

Fonte: Autoria própria, 2016.

De acordo com a Tabela 20 é possível verificar a diferença enorme da contribuição dos coletores no período de verão e inverno, sendo que no verão os coletores são capazes de fornecer quase que integralmente a energia necessária para a manutenção da temperatura da piscina, enquanto que no inverno é necessário que aproximadamente 70% de ajuda dos outros sistemas de aquecimento seja utilizada. Para facilitar a visualização da contribuição dos coletores solares no aquecimento da água da piscina durante todos os meses de 2015, a Figura 38 representa a referida porcentagem em forma gráfica.

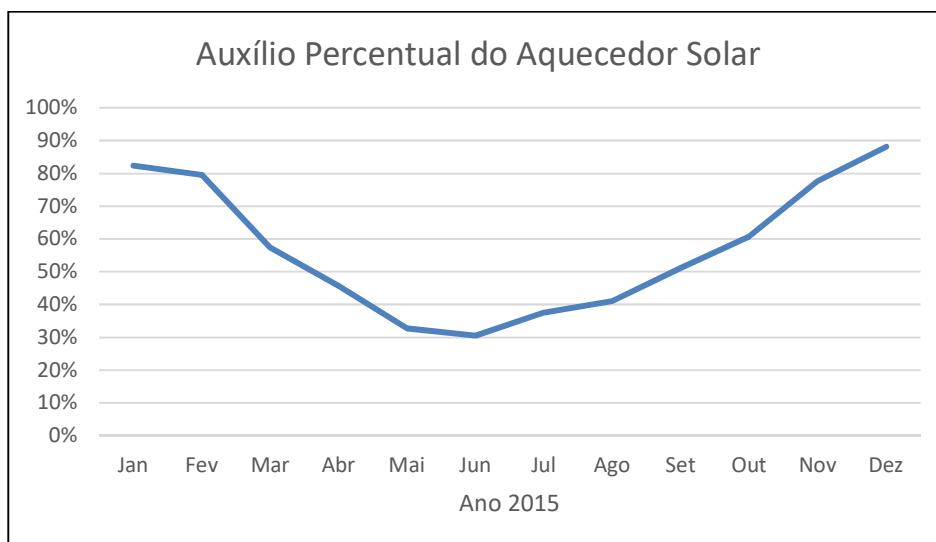


Figura 38 – Contribuição Percentual Estimada do Aquecedor Solar Durante o Ano de 2015

Fonte: Autoria própria, 2016.

Vale lembrar que os valores da produção de energia dos aquecedores solares são baseados em uma média mensal, desta forma não é possível considerar os efeitos causados pelos períodos diurnos e noturnos, e também pelos dias com forte incidência de sol e dias nublados. Portanto, o presente trabalho não retrata a realidade pontual de um dia com sol ou de uma noite chuvosa, ele apenas considera a média mensal destas.

5.3 ANÁLISE FINANCEIRA

5.3.1 GASTOS ATUAIS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO

Considerando a potência de manutenção da temperatura da água da piscina calculada no item 3.1.7.3 é possível estimar o quanto de energia mensal é necessário para manter a piscina aquecida em 29,5 °C. Desta forma, ignorando vários fatores que modificam a potência de manutenção durante um dia completo, neste trabalho será considerada que a necessidade média de potência de manutenção é a necessidade durante as 24 horas do dia durante todos os dias do mês. Portanto, realizando o produto entre a potência necessária média para manter a piscina aquecida (P_{MAN}), o número de horas diárias e o número de dias no mês, é possível obter a energia mensal (E_{MAN}) em MWh/mês, para cada um dos meses de 2015, que pode ser vista graficamente na Figura 39 (Ver APÊNDICE C).

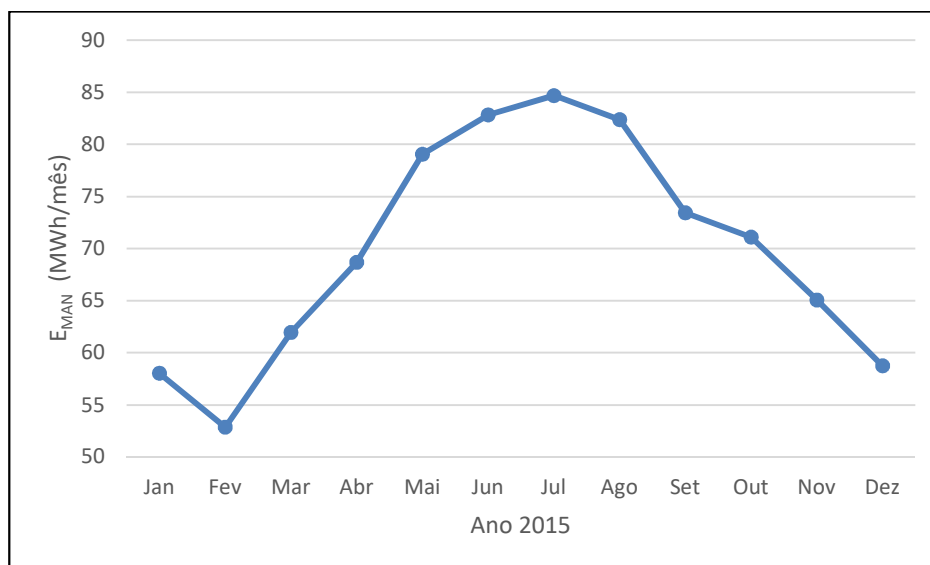


Figura 39 – Energia Média Mensal para Manter a Temperatura da Piscina em 29,5°C.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Neste ponto é necessário comparar a quantidade de tempo que os aquecedores a gás ficam ligados em relação as bombas de calor de acordo com a temperatura média mensal para o ano de 2015. A quantidade de tempo que os aquecedores ficarem ligados é comparada com a temperatura no entorno da bomba de calor no item 5.1.1 a partir de dados empíricos, enquanto a temperatura ambiente média para o ano de 2015 é calculada utilizando o banco de dados do INMET, conforme já feito anteriormente em capítulos antecessores. Vale ainda ressaltar que a temperatura ambiente fornecida pelo INMET não é exatamente igual a temperatura no entorno das bombas de calor, contudo para efeitos de simplificação elas serão consideradas iguais. Para encontrar a porcentagem que os aquecedores a gás ficam desligados em função da temperatura no entorno das bombas de calor ($AD\%(T)$), novamente foi utilizado o método de regressão linear simples e a seguinte equação 17 foi obtida com 93% de ajuste.

$$AD\%(T) = -2,224998 - 0,004004 \cdot T^2 + 0,228633 \cdot T \quad (17)$$

A partir da equação 17 é possível estimar a potência necessária que deve ser fornecida unicamente pelas bombas de calor para manter a piscina aquecida e depois, a partir da diferença entre a potência de manutenção e a potência fornecida pelas bombas de calor, é possível estimar a potência que deve ser fornecida pelos

aquecedores a gás juntamente com as bombas de calor. A Figura 40 (Ver APÊNDICE D) retrata graficamente a energia média estimada que deve ser fornecida unicamente pelas bombas de calor (E_{UBC}) e a energia média que deve ser fornecida pelos aquecedores a gás juntamente com as bombas de calor ($E_{AG/BC}$). Também é possível verificar no gráfico a proporção estimada do tempo que os aquecedores ficam desligados em função da temperatura média de cada mês (AD%).

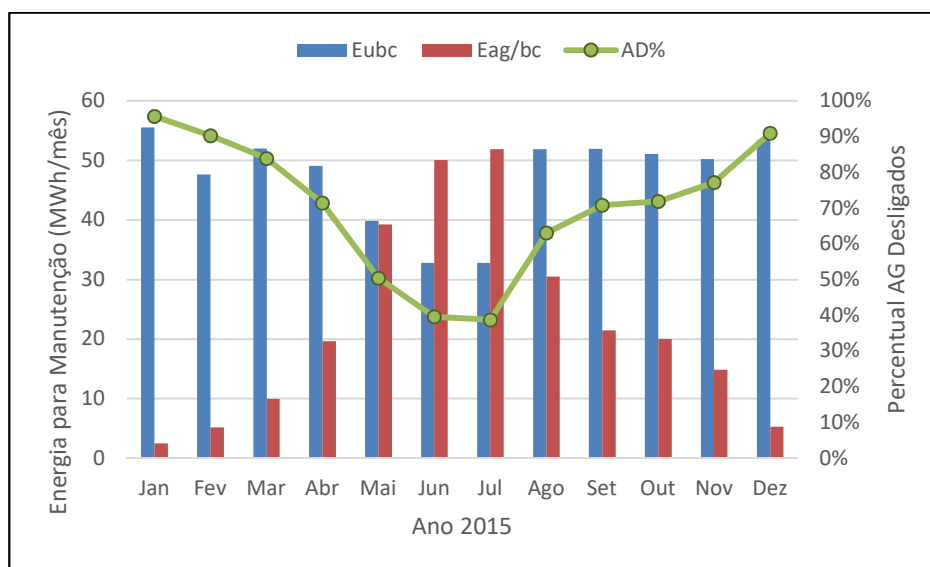


Figura 40 – Energia Demandada Unicamente Pelas Bombas de Calor e Pelas Bombas de Calor em Conjunto Com os Aquecedores a Gás.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Para o caso onde as bombas de calor funcionam em conjunto com os aquecedores a gás, primeiramente foi definida uma porcentagem da relação entre o auxílio dos aquecedores a gás e o total de energia que deve ser fornecida simultaneamente pelos aquecedores a gás e pelas bombas de calor. Logicamente, quanto maior a temperatura, menor o auxílio dos aquecedores a gás em relação as bombas de calor, por isso no mês de janeiro (mês que apresenta a média de temperatura mais alta no ano) as bombas foram consideradas como fornecedoras de 90% da energia contra 10% dos aquecedores a gás. Enquanto que no mês de julho (mês que apresenta a média de temperatura mais baixa no ano) o auxílio dos aquecedores a gás foi considerado 50% contra 50% das bombas de calor, e para os outros meses essa relação foi estimada linearmente de acordo com a temperatura média do mês. Essas relações

anteriores foram feitas a partir da tentativa e erro, de forma a fazer com que o consumo dos aquecedores a gás calculado se assemelhe com os dados de consumo fornecidos pelo sistema administrativo da UTFPR.

Portanto, multiplicando a relação de auxílio dos aquecedores a gás com a energia que deve ser fornecida simultaneamente pelos aquecedores a gás e as bombas de calor, obtém-se a energia dos aquecedores a gás (E_{AG}). Enquanto que encontrando a diferença entre a energia que deve ser fornecida por ambos os sistemas de aquecimento e a energia dos aquecedores a gás, é possível estimar a energia das bombas de calor quando ambos os sistemas de aquecimento estão ligados (E_{JBC}). Desta forma, a porcentagem de auxílio do aquecedor a gás ($AG\%BC$), a energia que deve ser fornecida pelos aquecedores a gás (E_{AG}) e a energia que deve ser fornecida pelas bombas de calor quando os aquecedores a gás estão ligados (E_{JBC}), podem ser visualizadas graficamente na Figura 41 (Ver APÊNDICE E).

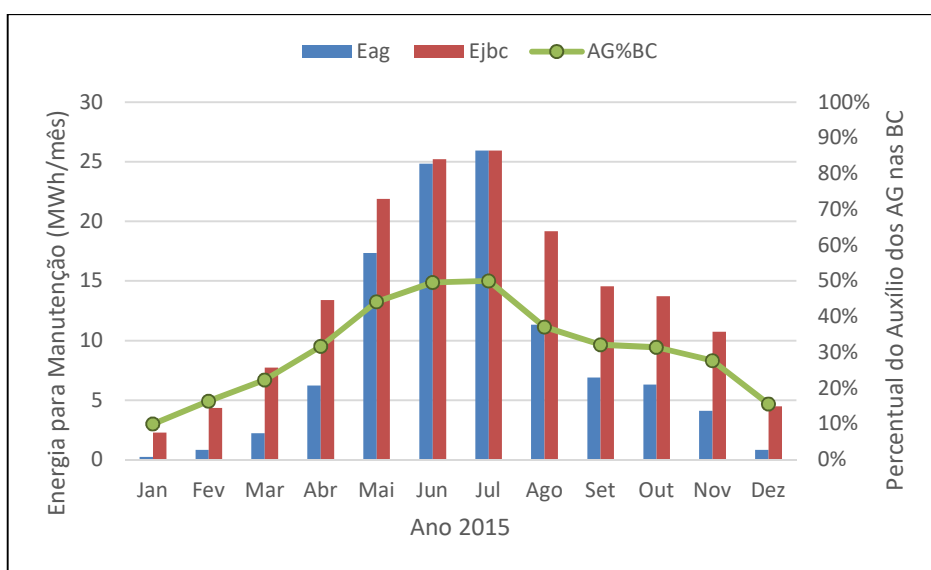


Figura 41 – Energia Demandada Pela Bomba de Calor e Pelo Aquecedor a Gás.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Para as bombas de calor, a energia total que as bombas de calor devem fornecer para piscina será a soma das energias E_{UBC} e E_{JBC} . Para estimar a energia consumida pelas mesmas é usada a Equação 16 (Página 92), onde o COP foi estimado estatisticamente em função da temperatura ambiente, a partir de dados empíricos. Deste modo, a Figura 42 (Ver APÊNDICE F) apresenta a soma dessa energia útil das bombas

de calor (E_{BC}), o COP estimado para cada mês de acordo com a temperatura média do mês referente, e por fim a energia consumida pelas bombas de calor (EC_{BC}).

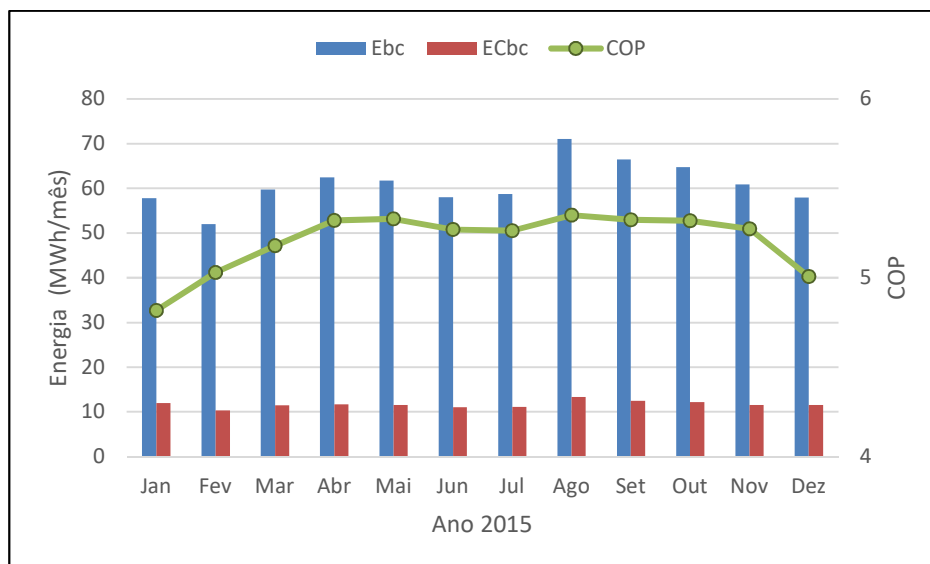


Figura 42 – Desempenho das Bombas de Calor.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Em relação a energia que deve ser fornecida pelos aquecedores a gás, a energia consumida pode ser encontrada a partir da divisão entre a energia útil e o rendimento dos aquecedores. O rendimento é considerado como sendo fixo e tendo seu valor de 83,2 %, segundo o catálogo da fabricante Orbis. Contudo, a cobrança de energia para os aquecedores a gás é em função do preço pelo quilo de GLP, por isso, através do catálogo, a potência nominal do aquecedor 27,9 kW foi multiplicada por 24 horas, depois por 30 dias e finalmente dividida por mil, resultando em uma potência de 20,088 MWh/mês. Além disso, o consumo de gás de 2,02 kg/h também foi multiplicado por 24 horas e depois por 30 dias, resultando em um consumo de 1454,4 kg/mês. Portanto se o consumo de GLP mensal for dividido pela potência nominal mensal, o coeficiente 72,40 kg/MWh é obtido e, quando este é multiplicado com a energia consumida em MWh/mês (EC_{AG}), a massa mensal de GLP necessária para manter a piscina aquecida é encontrada. Logo, a Figura 43 (Ver APÊNDICE G) mostra a energia útil dos aquecedores a gás (E_{AG}), a energia consumida pelos mesmos (EC_{AG}) e, através do multiplicador, a massa consumida pelos aquecedores (M_{AG}).

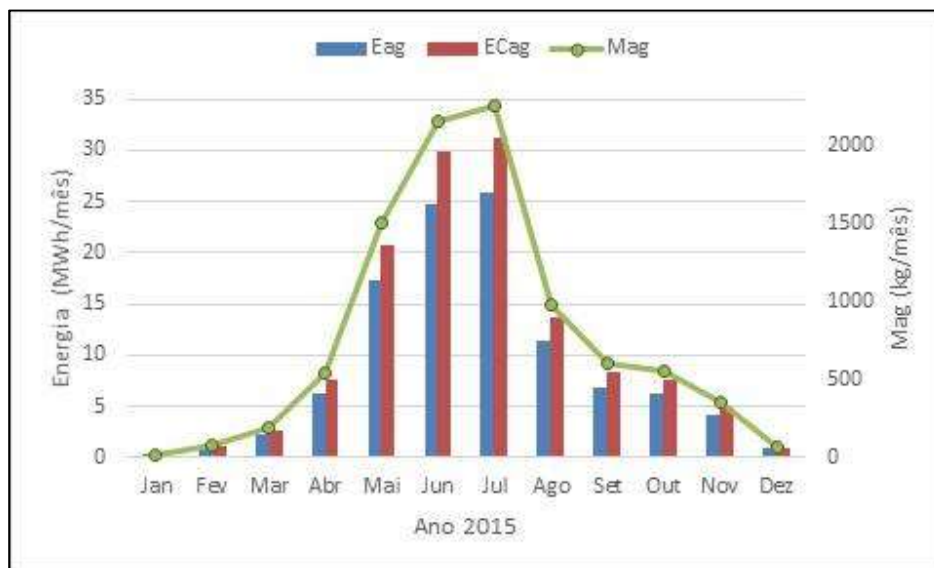


Figura 43 – Massa de GLP Consumida Mensalmente.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Finalmente, com base nos valores cobrados pela energia apresentados no item 3.1.8, é possível estimar o quanto a UTFPR gasta para manter a piscina do campus Curitiba sede central. Primeiramente, para as bombas de calor a energia consumida (EC_{BC}) é multiplicada com a média semanal da tarifa de energia fornecida pela Copel (0,44378 R\$/kWh) e em seguida multiplicada por mil para ajustar as unidades. Já para os aquecedores a gás a massa consumida de GLP (M_{AG}) é multiplicada pelo valor do quilo do gás (R\$3,76) e em seguida por mil. Desta maneira, a Figura 44 (Ver APÊNDICE H) mostra a energia consumida pelas bombas de calor (EC_{BC}), e a energia consumida pelos aquecedores a gás (EC_{AG}). Já a Figura 45 (Ver APÊNDICE H) compara o preço gasto com as bombas de calor ($\$_{BC}$) e com os aquecedores a gás ($\$_{AG}$), além de mostrar o gasto total para cada mês.

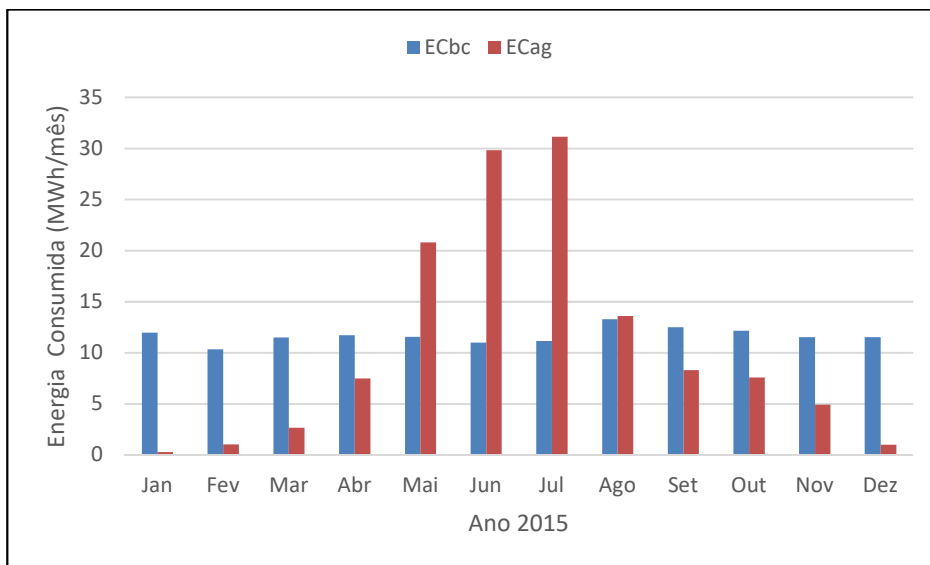


Figura 44 – Energia Consumida Pelas Bombas de Calor e Aquecedores a Gás Para Manter a Piscina Aquecida.

Fonte: Autoria própria, 2016.

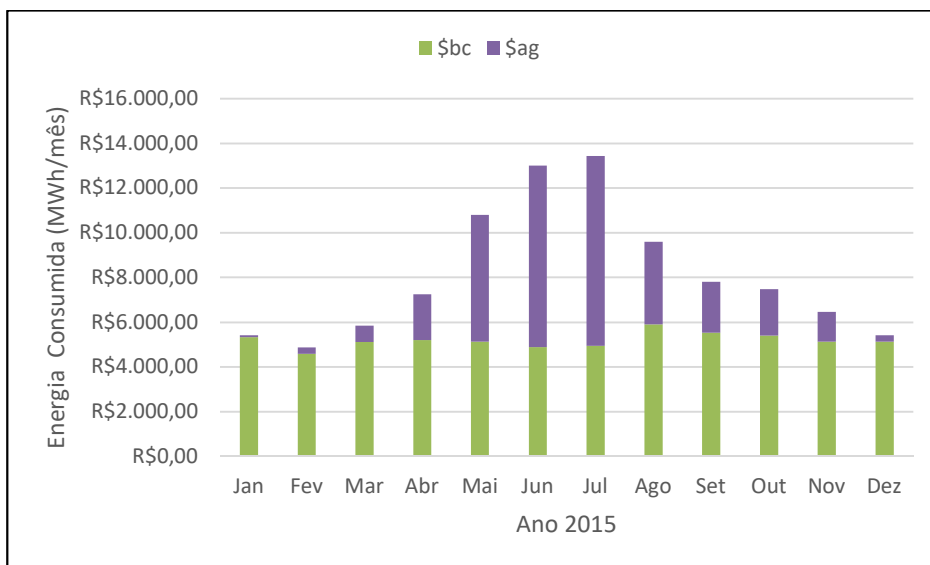


Figura 45 – Gastos Totais com o Sistema de Aquecimento Atual.

Fonte: Autoria própria, 2016.

5.3.2 ECONOMIA NO REAPROVEITAMENTO DOS GASES DE ESCAPE

Para efeito de padronização, o ano de 2015 foi utilizado como base para o cálculo da economia estimada com a utilização dos gases de escape dos aquecedores a gás no

aquecimento do ar do entorno das bombas de calor. Para verificar o efeito do aumento de temperatura entorno de uma das bombas de calor foram realizados alguns passos:

Primeiramente, através dos dados do INMET, foram verificadas todas as temperaturas mínimas registradas em cada mês, em posse de tais dados, e utilizando-se de uma média simples, foi encontrado um valor médio de temperatura mínima (T_{\min}) para cada mês. Foram consideradas apenas as temperaturas mínimas abaixo de 15°C, devido aos aquecedores somente serem ligados quando a temperatura atinge esse valor. Porém, os meses de janeiro, fevereiro e dezembro foram exceções, pois, de acordo com o INMET, não houve temperatura mínima menor que 15°C em tais meses. Para contornar esse problema e para efeito de cálculos foi considerado como temperatura mínima média 15°C para esses meses. Tais considerações foram necessárias, devido ao fato de que nesses meses, por menor que seja, há a utilização dos aquecedores a gás (Ver Figura 40, Página 102).

Em segundo foi considerado o aumento da temperatura média mínima a partir do reaproveitamento de calor dos aquecedores a gás ($T_{\min/RGE}$); em terceiro foi estimado o COP para o primeiro caso (COP_{\min}) a partir da Equação 16; em quarto foi estimado o COP para o segundo caso ($COP_{\min/RGE}$), a partir da mesma equação; em quinto foi calculado COP global depois do ganho de temperatura por uma das bombas de calor ($COP_{G/RGE}$), onde foi feita a média ponderada entre o COP_{\min} e $COP_{\min/RGE}$, no qual o primeiro recebeu peso três (pois há três bombas de calor sem o reaproveitamento dos gases de escape dos aquecedores a gás) e peso um para o segundo; Por fim, foi verificado qual o ganho percentual de desempenho das bombas de calor ($COP_{\%RGE}$) a partir da divisão do $COP_{G/RGE}$ pelo COP_{\min} e depois pela multiplicação por cem. Graficamente os valores de temperatura média mínima para cada mês (T_{\min}) e os valores do ganho percentual do COP das bombas de calor ($COP_{\%RGE}$) podem ser vistos na Figura 46, enquanto que os demais valores intermediários citados neste parágrafo podem ser verificados no APÊNDICE I.

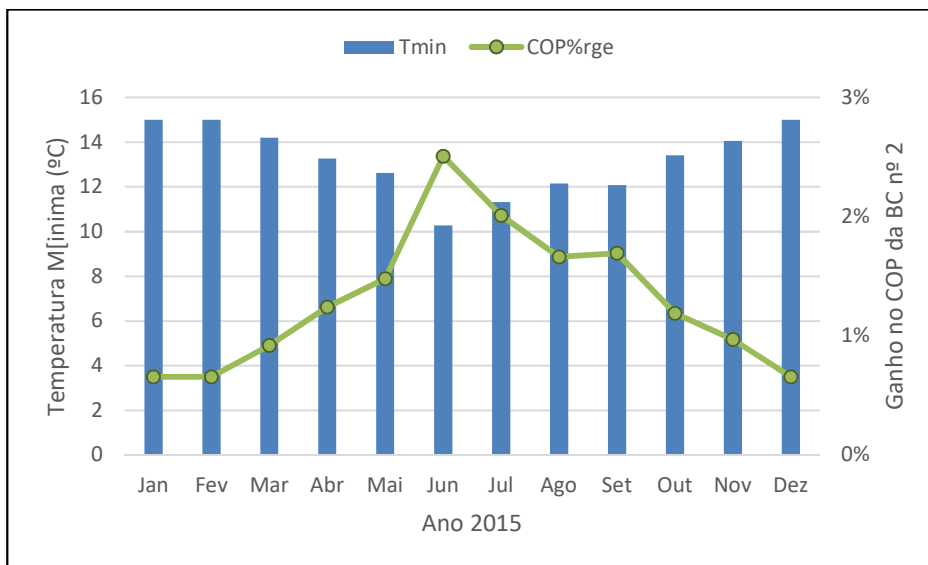


Figura 46 – Aumento Percentual do COP para o Aumento de Temperatura no Entorno da Bomba de Calor.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Depois de estimar o aumento percentual no desempenho geral das bombas de calor oriundo do reaproveitamento dos gases de escape dos aquecedores a gás, ainda falta considerar o tempo que os aquecedores permanecem ligados e desligados durante cada mês. Portanto, o percentual calculado no tópico anterior para o tempo que os aquecedores permanecem desligados (AD%) foi mantido, além disso foi considerado que o durante o período que os aquecedores permanecem ligados, ambos os aquecedores estão ligados. Para estimar a influência do período que os aquecedores permanecem ligados ou desligados, o COP para a temperatura média mensal (COP_{MED}) também foi mantido e o desempenho estimado efetivo ($COP_{EST/RGE}$) com a influência do reaproveitamento dos gases de escape foi calculado como sendo o produto entre o COP_{MED} e o tempo que os aquecedores permanecem desligados, e depois somado com o produto entre o mesmo COP_{MED} , o tempo que os aquecedores permanecem ligados e o percentual após o aumento do COP. Deste modo, foi possível estimar a influência do aumento da temperatura no entorno de uma bomba de calor e verificar o aumento no desempenho do sistema das bombas de calor. A Figura 47 (Ver APÊNDICE J) compara graficamente os valores do COP_{MED} , $COP_{EST/RGE}$ e AD%.

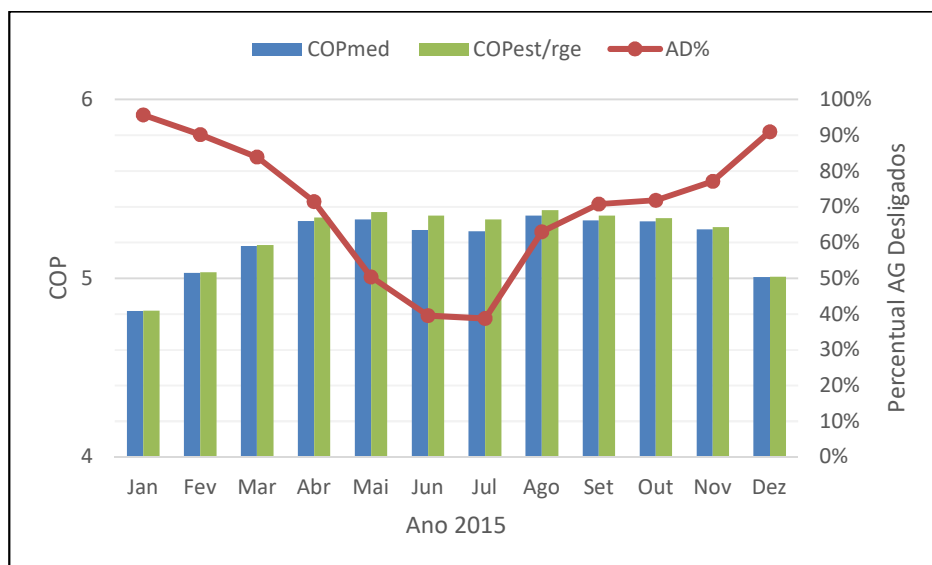


Figura 47 – COP Estimado Após a Recuperação dos Gases de Escape.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Finalmente, após o cálculo do coeficiente de desempenho da bomba de calor corrigido pelo efeito de recuperação dos gases de escapamento, foi feito o cálculo da energia consumida pelas bombas de calor ($EC_{BC/RGE}$) de maneira análoga a realizada no tópico anterior. Com relação aos aquecedores a gás foi considerado que a energia consumida ($EC_{AG/RGE}$) continua a mesma. Portanto a Figura 48 (Ver APÊNDICE K) mostra graficamente os valores de consumo pelas bombas de calor e pelos aquecedores a gás quando o gás de escape dos aquecedores a gás está sendo reaproveitado. Já o gasto das bombas de calor ($\$_{BC/RGE}$), dos aquecedores a gás ($\$_{AG/RGE}$) e o gasto total, podem ser vistos na Figura 49 (Ver APÊNDICE K).

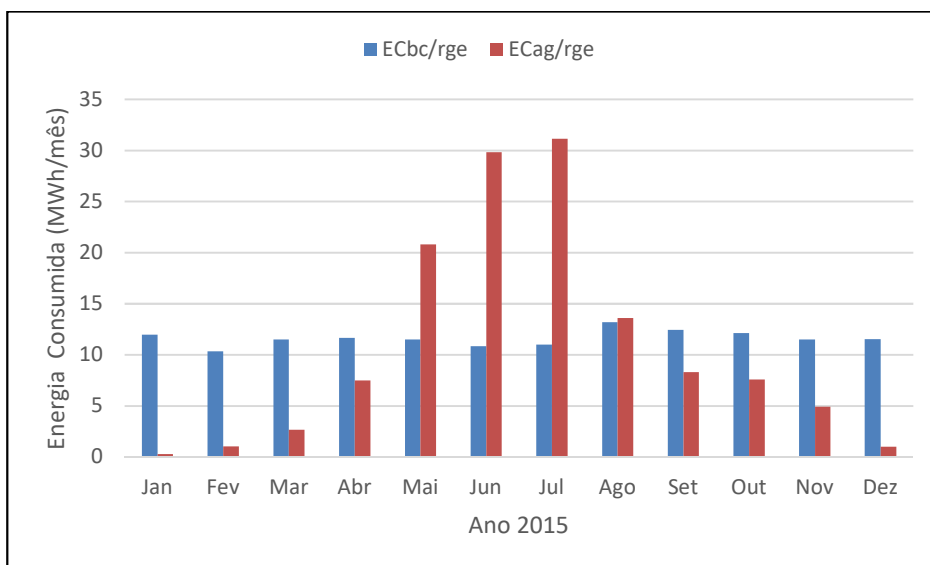


Figura 48 – Energia Consumida Pelas Bombas de Calor e Aquecedores a Gás Quando o Gás de Escape Está Sendo Reaproveitado.

Fonte: Autoria própria, 2016.

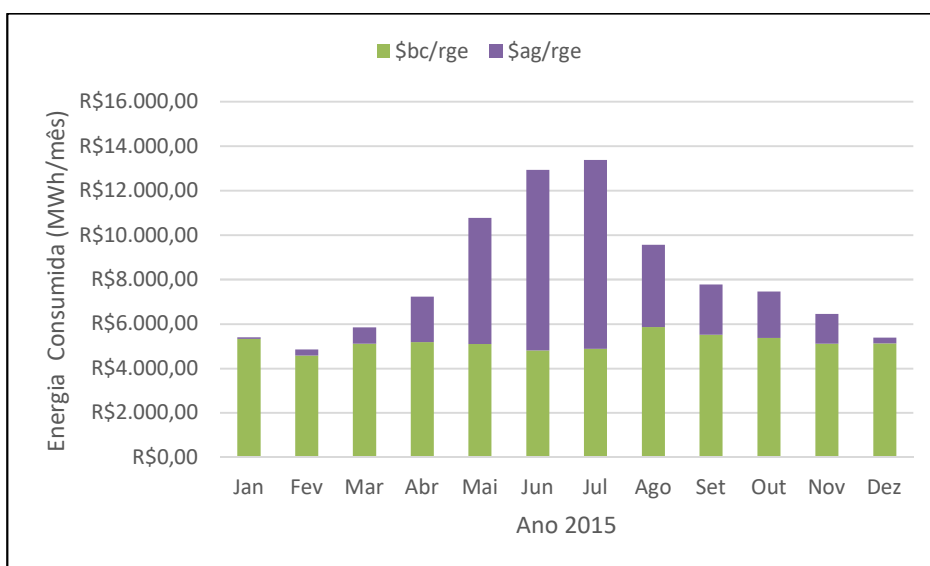


Figura 49 – Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual com o Auxílio da Recuperação dos Gases de Escape.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Comparando os gastos do sistema atual encontrados na Figura 45 com os gastos previstos do sistema atual com o auxílio da recuperação dos gases de escape dos aquecedores a gás ($\$_{ATUAL/RGE}$), é possível estimar, a partir da diferença entre os dois, a economia mensal, com base no ano de 2015. O gasto total do sistema atual

($\$_{ATUAL}$), o gasto total do sistema proposto de recuperação dos gases de escape ($\$_{ATUAL/RGE}$), assim como a economia mensal, podem ser visualizados na Figura 50 (Ver APÊNDICE L).

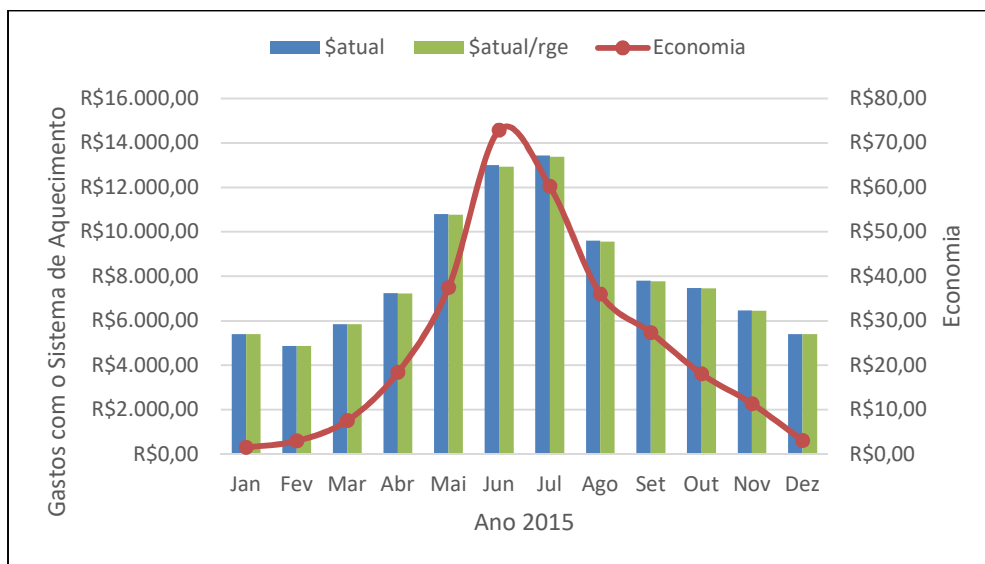


Figura 50 – Economia Gerada Pelo Reaproveitamento dos Gases de Escape.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Analisando a figura acima, duas observações são muito importantes: A primeira é referente ao montante economizado, que certamente é um valor muito pequeno visto que o custo para instalação seria um valor muito maior do que o economizado anualmente, pois há todo o custo de equipamentos (tubulações, isolamento, suporte, trocador de calor, etc.) além do custo de instalação e manutenção. Desta forma, por menores que estes custos iniciais sejam, dificilmente o projeto irá se pagar, e se isto acontecer, será um lucro mínimo; A segunda observação nos remete ao tópico 4.2 na Figura 33, a qual mostra, a partir das análises empíricas, que quanto maior a temperatura ambiente, há uma maior transferência de calor para água, porém há também um maior consumo de energia pela bomba de calor. Contudo, na análise acima foi observado que quanto maior a temperatura, menor a energia consumida, e conseqüentemente, menor o gasto. Isto ocorre pois na instalação atual da piscina, as bombas de calor funcionam de modo manual, ou seja, após atingir a temperatura desejada da piscina, elas continuam ligadas aquecendo acima de 29,5°C e consumindo energia. Portanto, a economia só iria ocorrer se as bombas funcionassem de modo automático, pois elas

ficariam desligadas durante um período de tempo maior e desta forma economizariam energia, conforme foi mostrado neste tópico.

5.3.3 ECONOMIA NO USO DE COLETORES SOLARES

Sabendo a porcentagem média mensal do auxílio dos aquecedores solares para cada um dos meses no ano de 2015, vistos no tópico 5.1.1, a porcentagem da água da piscina que deve ser aquecida pelos outros sistemas de aquecimento (bombas de calor e aquecedores a gás) é o percentual restante para cada mês. Desta forma, na Figura 51 (Ver APÊNDICE M) é possível visualizar a porcentagem necessária para a manutenção da temperatura da água da piscina pelas bombas de calor e aquecedores a gás (% BC/AG), além disso o valor que representa essa porcentagem em kW ($P_{BC/AG}$) também se encontra na referida figura.

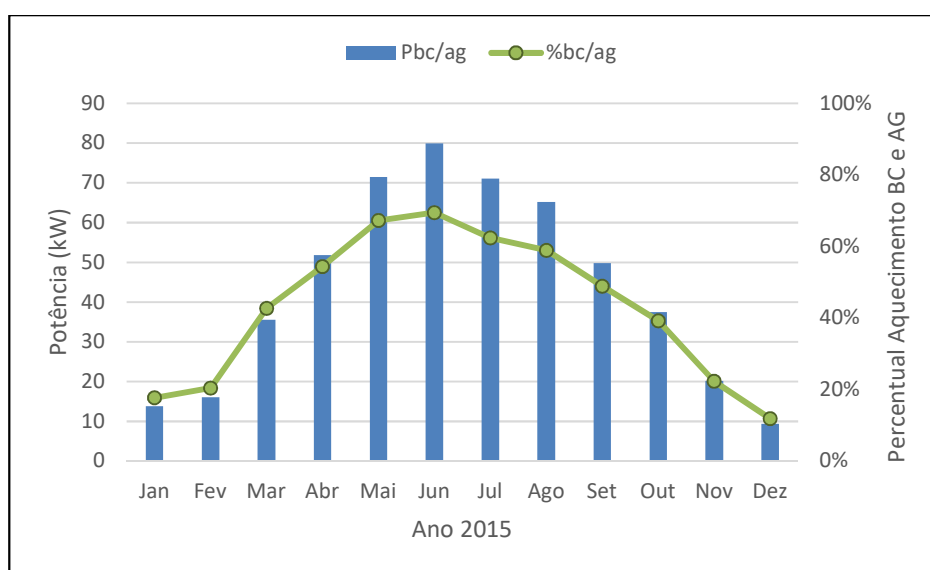


Figura 51 – Potência de Manutenção que Deve ser Suprida Pelos Aquecedores a Gás e Bombas de Calor.

Fonte: Autoria própria, 2016.

A partir da estimativa observada na Figura 51, o mesmo procedimento para o cálculo do gasto atual com o sistema de aquecimento da piscina da UTFPR foi realizado (Tópico 5.3.1), com a única diferença que ao invés da potência de manutenção (P_{MAN}) ser a potência que deve ser fornecida pelas bombas de calor e aquecedores a gás, agora a potência que deve ser fornecida por esses sistemas é a $P_{BC/AG}$ que fora estimada mensalmente. Desta forma, quando auxiliados pelos aquecedores solares, podem ser

estimados o consumo de energia elétrica pelas bombas de calor ($EC_{BC/AS}$), e o consumo de energia pelos aquecedores a gás ($EC_{AG/AS}$), conforme visto na Figura 52 (Ver APÊNDICE N). Também é possível verificar na Figura 53 (Ver APÊNDICE N) o quanto foi gasto por mês com as bombas de calor ($\$_{BC/AS}$) e com os aquecedores a gás ($\$_{AG}$) para o sistema proposto neste tópico.

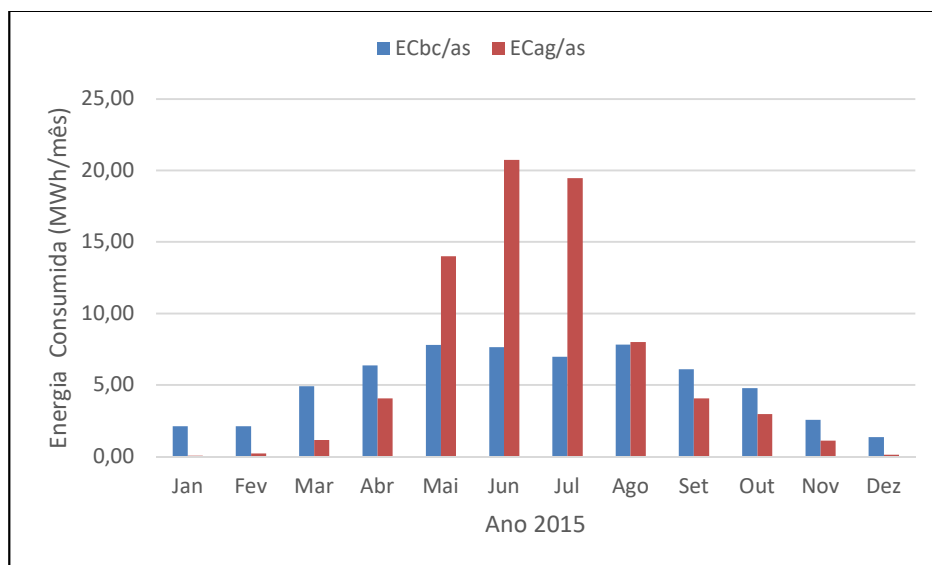


Figura 52 – Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual com o Auxílio dos Aquecedores Solares.

Fonte: Autoria própria, 2016.

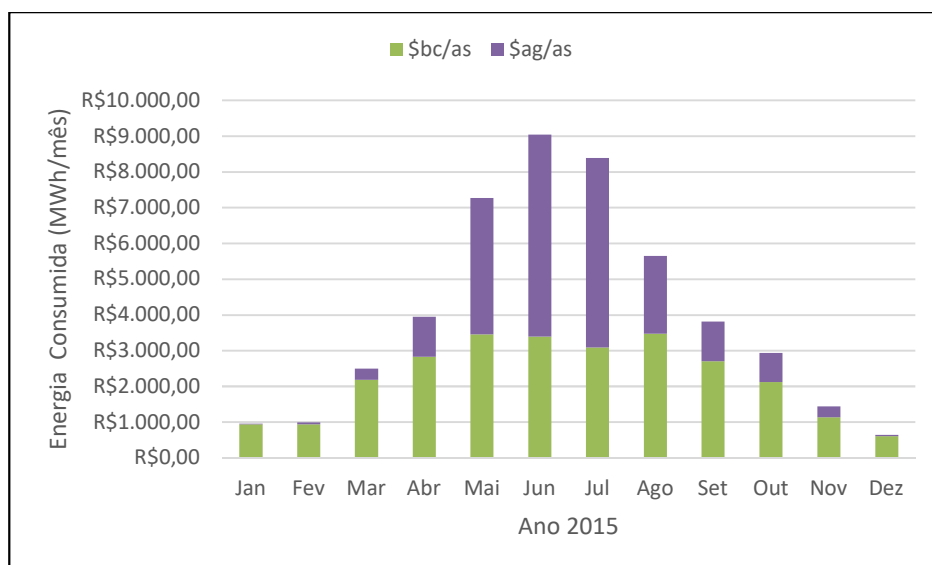


Figura 53 – Gastos com as Bombas de Calor e Aquecedores a Gás Quando Estão Sendo Auxiliados Pelos Aquecedores a Gás.

Fonte: Autoria própria, 2016.

Subtraindo os gastos do sistema atual encontrados na Figura 45 dos gastos previstos com o auxílio dos aquecedores solares, é possível estimar mensalmente a economia gerada pelo uso dos coletores solares como forma auxiliar de aquecimento. Desta forma, conforme pode ser visto na Figura 54 (Ver APÊNDICE O), há o gasto total do sistema atual ($\$_{ATUTAL}$), o gasto do sistema atual com o auxílio dos aquecedores ($\$_{ATUAL/AS}$) e a economia gerada.

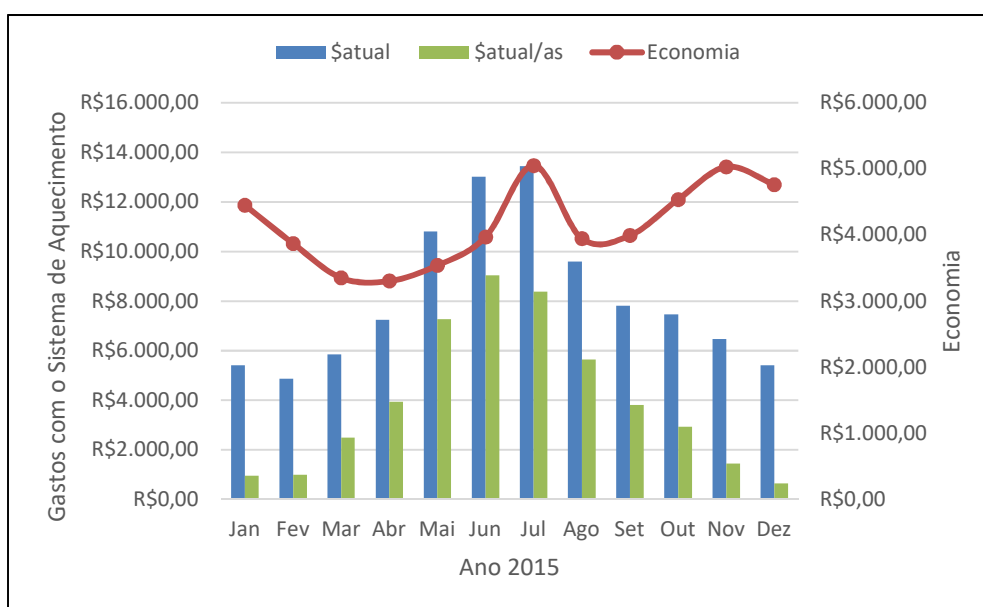


Figura 54 – Economia Gerada Pelo uso de Aquecedores Solares.

Fonte: Autoria própria, 2016.

É importante lembrar que este cálculo foi feito baseado em premissas empíricas e também em dados fornecidos pelos fabricantes. Além disso algumas suposições foram feitas para efeitos da tentativa de se aproximar cada vez mais da realidade. Portanto, apesar do cálculo não ser exatamente a realidade (pois não haviam equipamentos suficientes para monitorar todas as grandezas necessárias para determinar o consumo dos sistemas de aquecimento), as estimativas foram modeladas para se aproximar satisfatoriamente da realidade.

De acordo com os cálculos de economia logo acima e também de acordo com a estimativa do custo para a compra e instalação dos coletores solares, é possível estimar um tempo de retorno do investimento com o aquecedor a gás. Desta maneira, se o valor total estimado para a instalação do sistema de aquecimento solar for dividido pela

economia gerada por esse sistema, é obtida a taxa de retorno. Ou seja, dividindo R\$ 164.231,51 por R\$ 49.818,08 obtém-se o valor de aproximadamente 3,3. Logo é necessário aproximadamente 3 anos e 4 meses para o retorno do investimento dos coletores solares.

É válido novamente considerar que a localização da piscina da UTFPR, estudada neste trabalho, não é exatamente a mais privilegiada, visto que além de estar geograficamente em uma cidade que em geral é considerada muito fria, a piscina também está cercada por prédios altos, o que reduz muito a radiação nos coletores. Portanto para piscinas que apresentam condições mais favoráveis o tempo de retorno de investimento se torna expressivamente menor. Por fim, também vale considerar que o cálculo do retorno de investimento realizado neste trabalho não entra no mérito de uma análise financeira mais aprofundada, que iria considerar fatores tais como a taxa de juros, depreciação, entre outros e também não foi considerado o gasto necessário para adaptar a estrutura do telhado da piscina para a instalação dos coletores solares.

5.3.4 COMPARAÇÃO GASTOS ANUAIS

Para efeitos de melhor visualização, neste tópico são feitas as comparações gráficas entre os gastos dos dois sistemas propostos e também do sistema atual. Portanto a Figura 55 mostra a comparação destes sistemas para cada mês do ano, já a Figura 56 mostra a comparação dos mesmos no total acumulado do ano, lembrando que o ano base é o ano de 2015 (Ver APÊNDICE P).

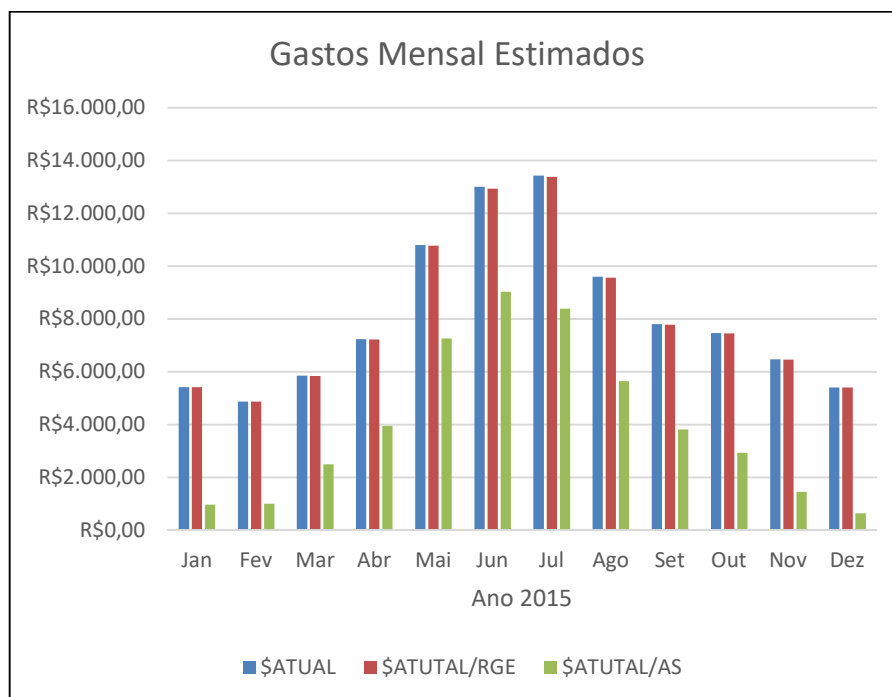


Figura 55 – Comparação do Gasto Mensal Entre o Sistema Atual e os Sistemas Propostos

Fonte: Autoria própria, 2016.

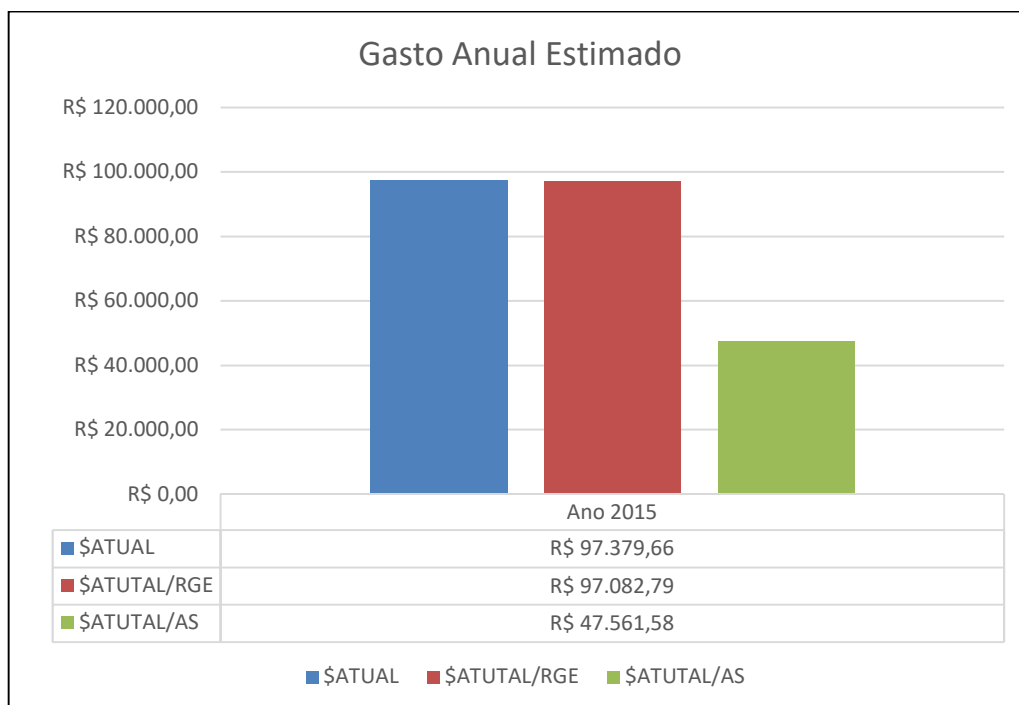


Figura 56 – Comparação do Gasto Anual Entre o Sistema Atual e os Sistemas Propostos

Fonte: Autoria própria, 2016.

Observando estes gráficos é fácil perceber o que já fora discutido, realmente a implementação de um sistema que recupera os gases de escape não é viável do ponto de vista econômico, pois não representa uma economia significativa. Contudo, a implementação de um sistema de aquecimento solar se mostrou muito benéfica para a economia no sistema de aquecimento da piscina da universidade, sendo que o mesmo gera uma economia maior que a metade do gasto anual atual da piscina em questão.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo propor uma otimização do sistema de aquecimento da piscina localizada na UTFPR – Campus Curitiba – Sede Centro, visando uma maior eficiência energética do mesmo. Os projetos relacionados à eficiência energética vêm ganhando um destaque mundial maior a cada ano que passa, visto que há uma preocupação crescente contra o desperdício de energia e contra a emissão de gases poluentes. É neste viés que o presente trabalho se desenvolveu.

Primeiramente, referente à diminuição do desperdício de energia térmica, a primeira parte deste projeto foi desenvolvida visando o reaproveitamento dos gases de escape dos aquecedores a gás no ambiente das bombas de calor. Neste contexto, foram utilizadas tanto informações empíricas, quanto informações fornecidas por especialistas ou encontradas em catálogos dos equipamentos. Idealmente, tal projeto forneceria resultados melhores se fosse realizado durante o período de um ano integral e com todas informações sendo retiradas de dados empíricos, contudo, haviam limitações de tempo e equipamentos para a realização deste trabalho. Ainda haviam limitações por parte dos graduandos na área de ciências térmicas, deste modo, foi realizado muito estudo e também se fizeram o uso ferramentas estatísticas para chegar a conclusões mais próximas da realidade.

Contornando as limitações que iam surgindo no decorrer deste trabalho, os resultados obtidos se mostraram coerentes com a realidade, contudo, foi avaliado que a energia proveniente dos gases de escape dos aquecedores a gás não era suficiente para melhorar consideravelmente o desempenho das bombas de calor, desta forma, os custos para instalação do sistema e posterior manutenção tornariam o projeto inviável, pois a aplicação de tal sistema geraria uma economia anual de apenas R\$296,77, sendo que há um gasto anual com energia de R\$97.379,66 para o aquecimento da piscina, ou seja, haveria uma economia de 0,3% ao ano. Além disso, tal projeto só funcionaria se o sistema de aquecimento da piscina em questão trabalhasse de modo automático, pois no modo manual o aumento da temperatura no ambiente do entorno das bombas de calor causaria um maior consumo de energia por parte da mesma, pois após a temperatura da água alcançar 29,5°C, ela continuaria aumentando, conseqüentemente diminuindo a eficiência das bombas de calor.

Em segundo, referente à diminuição dos gases poluentes, foi avaliado a introdução de aquecedores solares como forma auxiliar de aquecimento. Obviamente, como a instalação atual do sistema de aquecimento da piscina estudada não possui aquecimento solar, todos os dados referentes aos coletores solares foram obtidos através de especialistas e catálogos, contudo, os dados empíricos e estatísticos na análise dos outros sistemas que compõem a gama de aquecimento da piscina em questão foram mantidos. Por se tratar de um estudo mais teórico, esta segunda parte do projeto não encontrou muitas limitações, contudo algumas aproximações e considerações foram feitas.

Foram contatados vários fabricantes e após o recebimento de vários orçamentos, foi escolhido o modelo e marca de painéis solares que mais se adequam ao estudo de caso, sendo o modelo UR 500 da marca Soria. Foram analisados vários fatores antes da escolha do modelo mais apropriado, tais como o PME (Produção Mensal de Energia) de cada coletor analisado, as condições geográficas da piscina em estudo, além de sua estrutura física, e também foram analisados índices de radiação solar mensal na cidade onde a piscina se encontra, entre outros. Após toda análise técnica chegou-se a conclusão que inicialmente, haveria a necessidade de um alto investimento para se implantar coletores solares, porém seria uma alternativa muito interessante, pois após 3 anos e 4 meses anos haveria uma restituição de todo capital aplicado. Inicialmente seriam aplicados R\$164.231,51, porém haveria uma economia anual nos gastos com energia para o aquecimento da piscina de R\$49.818, 08, ou seja, seriam economizados 51% ao ano se comparado com o gasto atual. Vale ressaltar que nos cálculos financeiros apresentados, estão sendo desconsiderados gastos com a reestruturação do telhado para a implantação dos coletores solares.

Finalmente, apesar do presente trabalho apresentar diversos problemas, o balanço geral foi muito positivo, pois a obtenção dos resultados propostos se mostrou bastante satisfatória e o conhecimento adquirido durante a execução do mesmo foi de extrema importância. Além disso, o tema de eficiência energética está cada vez com mais destaque no cenário mundial, portanto, realizar um trabalho de conclusão de curso sobre este é lidar diretamente com problemas atuais e principalmente a resolução deles.

7 REFERÊNCIAS

ABB.COM. **A Guide to Using Variable Speed Drives and Motors in Swimming Pools Halls**. 2016. Disponível em: <http://new.abb.com/docs/librariesprovider53/about-downloads/swimming-pool-guide.pdf?sfvrsn=2>. Acesso em: 18 de março de 2016.

ANDRADE, A. S. **Máquinas Hidráulicas – AT – 087**. Universidade Federal do Paraná. Notas de Aula – Curso de Engenharia Industrial Madeireira. 2016. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT087-Aula11.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2016.

ANEEL.GOV.BR. **Prodist – Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica**. 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 17 de abril de 2016.

ANAPP. **Expolazer incorpora paisagismo e sedia congresso do setor promovido pela ANP**. Mar/2015. Disponível em: <<http://www.anapp.org.br/blog/expolazer-incorpora-paisagismo-e-sedia-congresso-do-setor-promovido-pela-anp/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10339**: Projeto e execução de piscina - Sistema de recirculação e tratamento. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15747-2**: Sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BRASIL. Decreto Regulamentar nº 5, 31 de março de 1997. **Regulamento das Condições Técnicas e de Segurança dos Recintos com Diversões Aquáticas**. 1997. Disponível em: <http://www.idesporto.pt/ficheiros/file/Dec_Regulamentar_5_1997.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2016.

BERNARDES, M. **A economia gerada pelo uso de bombas de calor em no aquecimento de piscinas.** 2016. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/tecnologia-sustentabilidade/a-economia-gerada-pelo-uso-de-bombas-de-calor-no-344977-1.aspx>>. Acesso em: 15 de março de 2016.

BIGLADDERSOFTWARE.COM. **Indoor Swimming Pool.** 2016. Disponível em <<http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/engineering-reference/indoor-swimming-pool.html>>. Acesso em: 15 de outubro de 2016.

CARVALHO JR, J. A. de; LACAIVA, P. T. **Emissão em Processos de Combustão.** São Paulo – SP: Editora UNESP, 2003. 135 p. Disponível em: <http://177.135.217.86:8081/sg_web/anexos/IntEngAmb/Emissoes%20em%20processos%20de%20combustao.pdf>. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

CECHIN, L. **O que são anemômetros.** 2016. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/lucas_cechin/o-que-so-anemmetros>. Acesso em: 12 de março de 2016.

COPEL.COM. **Tarifa Horária Azul – Subgrupo A4.** 2016. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F566327c0dbad85e50325768f006950d5>>. Acesso em: 2 de outubro de 2016.

CORSINI, R. (Aut.). **Materiais e Ferramentas – Aquecedores de Piscinas.** Set/2011. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/39/aquecedores-de-piscina-veja-como-funcionam-os-principais-sistemas-227868-1.aspx>>. Acesso em: 23 de setembro de 2015.

CRESESB.CEPEL.BR. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito.** 2016. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 12 de maio de 2016.

CURITIBA.PR.GOV.BR. **Perfil de Curitiba**. 2016. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/perfil-da-cidade-de-curitiba/174>>. Acesso em: 24 de setembro de 2015.

DACOSTA, L. (Org.). **Atlas do Esporte no Brasil/Atlas of Sport in Brazil**. Rio de Janeiro, RJ: Shape, 2005. 860 p. Disponível em: <<http://www.confef.org.br/arquivos/atlas/atlas.pdf>>. Acesso em: 22 de setembro de 2015.

DASOL – ABRAVA. **Energia Solar Térmica e suas Tecnologias**. 2015. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/2014/02/energia-solar-termica-e-suas-tecnologias/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

DONINELLI, M; DONINELLI, M. **Hidráulica Caleffi – As Bombas de Calor**. 2009. Disponível em: <http://www.caleffi.com/sites/default/files/file/Hidr%C3%A1ulica_28.pdf>. Acesso em: 13 de março de 2016.

EMBRASUL.COM.BR. **Analisador de Energia RE7080**. 2016. Disponível em: <http://www.embrasul.com.br/painel/pdf/Cat%C3%A1logo_RE7080_v05r00_pt_LR%20%281%29.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

ENERGY.GOV [a]. **Gas Swimming Pool Heaters**. 2016. Disponível em: <<http://energy.gov/energysaver/gas-swimming-pool-heaters>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

ENERGY.GOV [b]. **Heat Pump Swimming Pool Heaters**. 2016. Disponível em: <<http://energy.gov/energysaver/gas-swimming-pool-heaters>>. Acesso em: 10 de março de 2016.

ENERGY.GOV [c]. **Solar Swimming Pool Heaters**. 2016. Disponível em: <<http://energy.gov/energysaver/solar-swimming-pool-heaters>>. Acesso em: 15 de março de 2016.

FINA. **Facilities Rules – FR2 Swimming Pools**. 2015. Disponível em: <http://www.fina.org/H2O/index.php?option=com_content&view=article&id=365:fr-2-swimming-pools&catid=88:facilities-rules&Itemid=184>. Acesso em: 23 de setembro de 2015.

FÍSICA.NET. **Calor Específico de um Substância**. 2016. Disponível em: <<http://www.fisica.net/constantes/calor-especifico-c.php>>. Acesso em: 28 de outubro de 2016.

FORUMCLIMA.PR.GOV.BR. **Projetando uma instalação de aquecimento solar passo a passo**. 2016. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/curso2.pdf>>. Acesso em: 7 de outubro de 2016.

GOOGLE MAPS. **UTFPR – Campus Curitiba**. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/UTFPR+-+Campus+Curitiba>>. Acesso em: 22 de abril de 2016.

HAN, J.; KAMBER, M. **Data Mining – Concepts and Techniques – 2nd Edition**. Elsevier, 2006. San Francisco, CA, 772 p. Disponível em: <http://ccs1.hnue.edu.vn/hungtd/DM2012/DataMining_BOOK.pdf>. Acesso em: 25 de setembro de 2016.

INCROPERA, F. P. **Fundamentos da Transferência de Calor e Massa**. 6ª Edição. Rio de Janeiro – RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2008. 643 p.

INMET.COM.BR. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 3 de maio de 2016.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **PORTARIA Nº 119, 30 DE MARÇO DE 2007.** 2007. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001125.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2016.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **PORTARIA Nº 477, 15 DE DEZEMBRO DE 2011.** 2011. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001765.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2016.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água – Coletores Solares.** 2015. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares-piscina.pdf>>. Acesso em: 17 de setembro de 2016.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **PBE – Coletor Solar Banho e Piscina.** 2016. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares-banho-e-piscina.pdf>>. Acesso em: 17 de março de 2016.

KOTTEK, M.; GRIESER, J; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated.** 2006. Disponível em: < http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Paper_2006.pdf>. Acesso em: 25 de abril de 2016.

JELLYFISH.COM.BR. **Catálogos de Aquecedores JellyFish – Linha Piscina.** 2016. Disponível em: <<http://jellyfish.com.br/>>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

LAMECC – Laboratório de Mecatrônica e Controle. **Aquecedores de Passagem – Controle de Aquecedores de Passagem.** 2016.

Disponível em <<http://www.ufrgs.br/lamecc/projetos/Aquecedores>>. Acesso em 15 de junho de 2016.

LORA, E. S. **Controle da Poluição do Ar na Indústria Açucareira**. 2000. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/STAB_1_Electo_000fizwkyra02wyiv802hvm3jk6whtps.pdf>. Acesso em 27 de setembro de 2015.

LORDELLO, V. (Aut.). **Netshoes registra crescimento em vendas de artigos de modalidades olímpicas**. Jul/2015. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/rede-de-blogs/esporte-executivo/2015/07/06/netshoes-registra-crescimento-em-vendas-de-artigos-de-modalidades-olimpicas/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2015.

MELO, A. P.; WHESTPAL, F. S.; MATOS, M. **Apostila do Curso Básico do Programa EnergyPlus**. 2009. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) – Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_EnergyPlus_0.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

METREL.SI. **Power Quality Analyser Plus – MI2292 – Instruction Manual**. 2016. Disponível em: <http://www.metrel.si/fileadmin/BAZA_od_Damijan_Dolinar/Metrel/Navodila_instrumentov/Instruments/MI_2292_Power_Quality_Analyser_Plus/Ang/MI_2292_Power_Quality_Analyser_Plus_ANG_Ver_3.1__20_750_701.pdf>. Acesso em: 25 de setembro de 2016.

MICHIGAN.GOV. **Energy Smart Management – High Efficiency Gas Pool Heaters**. 2016. Disponível em: <https://www.michigan.gov/documents/CIS_EO_Inside_gas_heaters_pool_39521_7.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2016.

Ministério de Minas e Energia. **PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 298, DE 10 DE SETEMBRO DE 2008.** 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139097/Portaria_Interministerial_nx_298_2008.pdf/b6160a46-f246-4319-bbbb-25d3e0606d7e>. Acesso em: 22 de abril de 2016.

NI.COM. **“Data Logger”s.** 2016. Disponível em: <http://www.ni.com/data_logger/pt/>. Acesso em: 15 de março de 2016.

NOVUS.COM.BR. **LogBox – AA – Registrador Eletrônico de Dados – Manual de Instruções V1.1x B.** 2016. Disponível em: <http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaolD=803220&Subsec aolD=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=821146>. Acesso em: 18 de maio de 2016.

OCEANICAS.COM.BR. **Aquecimento a gás para piscina.** 2016. Disponível em: <http://www.oceanicas.com.br/eq_gas.html>. Acesso em: 15 de abril de 2016.

OPENSTUDIO.NET. **What is OpenStudio.** 2016. Disponível em: <<https://www.openstudio.net/>>. Acesso em: 21 de maio de 2016.

ORBISDOBRASIL.COM.BR. **Manual de Instalação, Uso e Manutenção ORBIS.** 2016. Disponível em: <<http://orbisdobrasil.com.br/>>. Acesso em: 25 de maio de 2016.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2006. 1ª ed. São José dos Campos – SP. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2016.

PETERNELLI, L. A. **Regressão Linear e Correlação.** 2016. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~peternelly/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>>. Acesso em: 26 de setembro de 2016.

PORTALBRASIL10.COM. **Tabela de Densidade do Ar**. 2016. Disponível em: <<http://portalbrasil10.com.br/tabela-de-densidade-do-ar>>. Acesso em: 25 de outubro de 2016.

PT100SENSORES.COM.BR. **resistência PT100 – Bulbo de Resistência – O que é?**. 2016. Disponível em: <<http://www.pt100sensores.com.br>>. Acesso em: 17 de março de 2016.

RENATOMASSANO.COM.BR. **Piscinas – Sistema de Recirculação e Tratamento e Seleção de Filtro**. 2016. Disponível em: <http://www.renatomassano.com.br/dicas/lazer/sistema_recirculacao_tratamento.asp>. Acesso em: 21 de março de 2016.

RENEWABLENRGSYSTEMS.COM. **Symphonie “Data Logger” and Accessories – User’s Manual**. 2016. Disponível em: <<https://www.renewablenrghsystems.com/services-support/documentation-and-downloads/manuals/detail/manual-symphonie-data-logger>>. Acesso em: 15 de maio de 2016.

RODRIGUEZ, L. E. M. **Mecânica dos Flúidos – Aula 8: Introdução a Cinemática dos Flúidos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Notas de Aula. 2016. Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/mf/aula8.pdf>>. Acesso em: 25 de abril de 2016.

SÁNCHEZ, W. C. **Projeto de Eficientização Energética do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, CEFET – PR**. 2004. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

SANTOS, A. M. dos. **Análise de Regressão – Aula 1**. 2016. Disponível em: <<http://www.pgsc.ufma.br/arquivos/aula1.pdf>>. Acesso em: 26 de setembro de 2016.

SILVA, B. F. da; DINIZ, J.; BORTOLUZZI, M. A. **Minicurso de Estatística Básica – Introdução ao Software R.** 2009. Disponível em: <http://www.uft.edu.br/engambiental/prof/catalunha/arquivos/r/r_bruno.pdf>. Acesso em: 24 de setembro de 2016.

SOLARDIRECT.COM. **Heat Pump Pool Heaters.** 2016. Disponível em: <http://www.solardirect.com/pool_heaters/heat_pump_pool_heater/hpph.htm>. Acesso em: 13 de Março de 2016.

SORIASOLAR.COM. **SORIA – Aquecedor Solar.** 2016. Disponível em: <<http://www.soriasolar.com.br/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2016.

SOUZA, E. F. M. de; PETERNELLI, L. A.; MELLO, M. P. de. **Software Livre R: Aplicação Estatística.** 2016. Disponível em: <<http://www.de.ufpb.br/~tarciana/MPIE/ApostilaR.pdf>>. Acesso em: 25 de setembro de 2016.

SPARTAPISCINASESPAS.COM.BR. **Aquecedor Solar de Piscina BH.** 2016. Disponível em: < <http://www.spartapiscinasespas.com.br/aquecedor-solar-de-piscina-bh.php>>. Acesso em: 15 de Março de 2016.

STARKE, A. R. **Uma Análise de Sistemas de Aquecimento de Piscinas Domésticas Através de Bombas de Calor Assistidas por Energia Solar.** 2013. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106981/320032.pdf?sequence=1>>. Acesso em 27 de setembro de 2015.

STROBEL, C. **Máquinas Térmicas 1 – Balanço Energético em Caldeiras.** Universidade Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Mecânica. Notas de Aula – Máquinas Térmicas 1. 2016. Disponível em: <

http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM364/Material%20de%20Aula/Balan%20energ%20em%20caldeiras.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2016.

TURISMO.PR.GOV.BR. **Clima de Curitiba**. 2016. Disponível em: <http://www.turismo.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=207>. Acesso em: 02 de maio de 2016.

UTFPR.EDU.BR. **Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos**. 2008. Disponível em: http://www.utfpr.edu.br/dibib/normas-para-elaboracao-de-trabalhos-academicos/normas_trabalhos_utfpr.pdf. Acesso em: 17 de setembro de 2015.

VIDAESOL.COM.BR. **Aquecimento de Piscina**. 2015. Disponível em: <http://www.vidaesol.com.br/aquecedores.php>. Acesso em: 24 de setembro de 2015.

YOUNG, H. D; FREEDMAN, R. A. **Física II – Termodinâmica e Ondas**. 12ª Edição. São Paulo – SP: Pearson Education do Brasil, 2008. 329 p.

APÊNDICE A – Relação Entre a Temperatura e a Potência Média Aparente

Temperatura (°C)	Nº Ocorrências	Soma Pot (kVA)	Potência Média (kVA)
12	31	193,851	6,2532575
12,5	33	204,8681	6,2081228
13	194	1198,129	6,1759223
13,5	40	249,8286	6,2457155
14	159	992,4634	6,2419085
14,5	77	483,041	6,2732596
15	317	1981,412	6,2505101
15,5	183	1150,383	6,2862474
16	408	2585,629	6,3373256
16,5	174	1099,11	6,316723
17	402	2570,347	6,3938982
17,5	128	815,1495	6,3683555
18	298	1915,969	6,4294278
18,5	79	508,3529	6,4348469
19	157	1018,796	6,4891464
19,5	51	327,9304	6,4300078
20	127	823,1075	6,4811612
20,5	39	254,4412	6,5241344
21	40	266,5333	6,6633326
21,5	13	85,13256	6,5486587
22	45	299,8505	6,6633454
22,5	10	65,58733	6,5587326
23	29	191,9119	6,6176518
23,5	10	65,68473	6,5684729
24	19	129,0645	6,7928707
24,5	10	68,34207	6,8342072
25	19	130,0705	6,8458135
25,5	9	61,66478	6,8516427
26	9	61,4573	6,828589
26,5	10	68,59408	6,8594079
27	5	34,44614	6,889227
TOTAL	3125	19901,15	6,3683675

APÊNDICE B – Temperatura Ambiente e Status dos Aquecedores a Gás

Temp. Amb. (°C)	Desligados		1 Ligado		2 Ligados		NA		TOTAL	
	Qtd.	%	Qtd.	%	Qtd.	%	Qtd.	%	Qtd.	%
12	14	11,67%	0	0,00%	106	88,33%	0	0,00%	120	100,00%
13	31	3,81%	40	4,91%	741	91,03%	2	0,25%	814	100,00%
14	188	12,07%	92	5,91%	1246	79,97%	32	2,05%	1558	100,00%
15	802	32,04%	180	7,19%	1503	60,05%	18	0,72%	2503	100,00%
16	1063	31,81%	236	7,06%	2005	59,99%	38	1,14%	3342	100,00%
17	1183	37,25%	62	1,95%	1909	60,11%	22	0,69%	3176	100,00%
18	1015	47,52%	47	2,20%	1072	50,19%	2	0,09%	2136	100,00%
19	792	52,49%	139	9,21%	578	38,30%	0	0,00%	1509	100,00%
20	1003	90,20%	40	3,60%	68	6,12%	1	0,09%	1112	100,00%
21	735	96,46%	19	2,49%	5	0,66%	3	0,39%	762	100,00%
22	398	97,07%	12	2,93%	0	0,00%	0	0,00%	410	100,00%
23	227	95,78%	9	3,80%	0	0,00%	1	0,42%	237	100,00%
24	227	97,01%	7	2,99%	0	0,00%	0	0,00%	234	100,00%
25	137	95,80%	6	4,20%	0	0,00%	0	0,00%	143	100,00%
26	48	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	48	100,00%
27	26	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	26	100,00%
28	3	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	3	100,00%
29	5	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	5	100,00%
30	3	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	3	100,00%
31	3	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	3	100,00%
32	2	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	2	100,00%
TOTAL	7874	43,39%	920	5,07%	9233	50,88%	119	0,66%	18146	100,00%

Fonte: Autoria própria, 2016.

**APÊNDICE C – Energia Mensal de Manutenção para Manter a Temperatura da
Piscina em 29,5°C**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
P_{man} (kW)	78,03	78,67	83,25	95,37	106,26	115,04	113,82	110,71	101,99	95,55	90,35	78,96	96,41
Hrs. Aqc.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Qtd. Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30,42
E_{man} (MWh/mês)	58,05	52,87	61,94	68,67	79,05	82,83	84,68	82,37	73,43	71,09	65,05	58,74	70,38

APÊNDICE D – Energia Demandada Unicamente Pelas Bombas de Calor e Pelas Bombas de Calor em Conjunto Com os Aquecedores a Gás

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
E_{man} (MWh/mês)	58,05	52,87	61,94	68,67	79,05	82,83	84,68	82,37	73,43	71,09	65,05	58,74	70,38
T (°C)	24,02	22,70	21,49	19,55	16,99	15,88	15,80	18,45	19,46	19,60	20,38	22,87	19,76
AD%	95,65	90,17	83,89	71,42	50,40	39,58	38,75	62,99	70,76	71,80	77,15	90,94	72,97
E_{UBC} (MWh/mês)	55,53	47,67	51,97	49,04	39,84	32,79	32,82	51,89	51,96	51,04	50,19	53,42	51,35
E_{AG/BC} (MWh/mês)	2,52	5,19	9,98	19,62	39,21	50,04	51,87	30,48	21,47	20,04	14,86	5,32	19,03

APÊNDICE E – Energia Demandada Pela Bomba de Calor e Pelo Aquecedor a Gás

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
E_{AG/BG} (MWh/mês)	2,52	5,19	9,98	19,62	39,21	50,04	51,87	30,48	21,47	20,04	14,86	5,32	19,03
AG%BC	0,10	0,16	0,22	0,32	0,44	0,50	0,50	0,37	0,32	0,32	0,28	0,16	0,31
E_{AG} (MWh/mês)	0,25	0,85	2,23	6,23	17,33	24,83	25,94	11,32	6,92	6,32	4,12	0,83	5,84
E_{JBC} (MWh/mês)	2,27	4,34	7,75	13,39	21,88	25,21	25,93	19,17	14,56	13,73	10,75	4,49	13,18

APÊNDICE F – Energia Consumida Pelas Bombas de Calor

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
E_{UBC} (MWh/mês)	55,53	47,67	51,97	49,04	39,84	32,79	32,82	51,89	51,96	51,04	50,19	53,42	51,35
E_{JBC} (MWh/mês)	2,27	4,34	7,75	13,39	21,88	25,21	25,93	19,17	14,56	13,73	10,75	4,49	13,18
E_{BC} (MWh/mês)	57,80	52,01	59,71	62,43	61,73	58,00	58,74	71,05	66,51	64,77	60,94	57,91	64,53
COP	4,82	5,03	5,18	5,32	5,33	5,27	5,26	5,35	5,32	5,32	5,27	5,01	5,31
E_{CBC} (MWh/mês)	12,00	10,34	11,53	11,73	11,58	11,01	11,16	13,28	12,49	12,18	11,55	11,57	12,15

APÊNDICE G – Massa de GLP Consumida Mensalmente

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
E_{AG} (MWh/mês)	0,25	0,85	2,23	6,23	17,33	24,83	25,94	11,32	6,92	6,32	4,12	0,83	5,84
η (%)	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
EC_{AG} (MWh/mês)	0,30	1,03	2,68	7,49	20,83	29,85	31,18	13,60	8,31	7,59	4,95	1,00	7,02
M_{AG} (kg/mês)	21,98	74,23	193,88	542,53	1507,88	2160,87	2257,51	984,89	601,99	549,60	358,48	72,30	508,48

APÊNDICE H – Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual

	EC _{BC} (MWh/mês)	Ş _{BC} (R\$)	M _{AG} (kg/mês)	Ş _{AG} (R\$)	TOTAL (R\$)
Jan	12,00	5324,34	21,98	82,65	5406,99
Fev	10,34	4588,31	74,23	279,11	4867,42
Mar	11,53	5116,65	193,88	729,01	5845,66
Abr	11,73	5206,76	542,53	2039,89	7246,66
Mai	11,58	5139,60	1507,88	5669,64	10809,24
Jun	11,01	4884,02	2160,87	8124,88	13008,90
Jul	11,16	4952,16	2257,51	8488,24	13440,40
Ago	13,28	5893,91	984,89	3703,17	9597,09
Set	12,49	5543,10	601,99	2263,46	7806,57
Out	12,18	5404,35	549,60	2066,49	7470,84
Nov	11,55	5126,99	358,48	1347,88	6474,86
Dez	11,57	5133,19	72,30	271,85	5405,04
TOTAL		R\$ 62313,39		R\$ 35066,27	R\$ 97379,66

APÊNDICE I – Aumento Percentual do COP para o Aumento de Temperatura no Entorno da Bomba de Calor

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
T_{MIN} (°C)	15,00	15,00	14,20	13,27	12,62	10,27	11,32	12,16	12,08	13,41	14,05	15,00	13,20
T_{MIN/RGE} (°C)	17,06	17,06	16,26	15,33	14,68	12,33	13,38	14,22	14,14	15,47	16,11	17,06	15,26
COP_{MIN}	5,20	5,20	5,11	4,98	4,87	4,38	4,62	4,79	4,78	5,00	5,09	5,20	4,97
COP_{MIN/RGE}	5,33	5,33	5,29	5,23	5,16	4,82	5,00	5,11	5,10	5,24	5,29	5,33	5,22
COP_{G/RGE}	5,23	5,23	5,15	5,04	4,95	4,49	4,72	4,87	4,86	5,06	5,14	5,23	5,00
COP_{%RGE} (%)	0,66	0,66	0,92	1,24	1,48	2,51	2,01	1,66	1,69	1,19	0,97	0,66	0,58

APÊNDICE J – COP Estimado Após a Recuperação dos Gases de Escape

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
AD%	95,65	90,17	83,89	71,42	50,40	39,58	38,75	62,99	70,76	71,80	77,15	90,94	72,97
COP_{MED}	4,82	5,03	5,18	5,32	5,33	5,27	5,26	5,35	5,32	5,32	5,27	5,01	5,31
COP_{EST/RGE}	4,82	5,03	5,19	5,34	5,37	5,35	5,33	5,38	5,35	5,34	5,29	5,01	5,23

**APÊNDICE K – Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual com o
Auxílio da Recuperação dos Gases de Escape**

	EC_{BC/RGE} (MWh/mês)	\$/_{BC/RGE} (R\$)	M_{AG} (kg/mês)	\$/_{AG} (R\$)	TOTAL (R\$)
Jan	11,99	5322,82	21,98	82,65	5405,47
Fev	10,33	4585,35	74,23	279,11	4864,46
Mar	11,51	5109,09	193,88	729,01	5838,10
Abr	11,69	5188,36	542,53	2039,89	7228,25
Mai	11,50	5102,14	1507,88	5669,64	10771,77
Jun	10,84	4811,13	2160,87	8124,88	12936,01
Jul	11,02	4891,91	2257,51	8488,24	13380,15
Ago	13,20	5857,88	984,89	3703,17	9561,06
Set	12,43	5515,77	601,99	2263,46	7779,24
Out	12,14	5386,27	549,60	2066,49	7452,76
Nov	11,53	5115,65	358,48	1347,88	6463,53
Dez	11,56	5130,14	72,30	271,85	5401,99
TOTAL		R\$ 62016,52		R\$ 35066,27	R\$ 97082,79

APÊNDICE L – Economia Gerada Pelo Reaproveitamento dos Gases de Escape

	\$_{ATUAL}	\$_{ATUAL/RGE}	Economia (R\$)
Jan	5406,99	5405,47	1,52
Fev	4867,42	4864,46	2,96
Mar	5845,66	5838,10	7,56
Abr	7246,66	7228,25	18,40
Mai	10809,24	10771,77	37,47
Jun	13008,90	12936,01	72,90
Jul	13440,40	13380,15	60,25
Ago	9597,09	9561,06	36,03
Set	7806,57	7779,24	27,33
Out	7470,84	7452,76	18,07
Nov	6474,86	6463,53	11,33
Dez	5405,04	5401,99	3,05
TOTAL	R\$ 97379,66	R\$ 97082,79	R\$ 296,87

**APÊNDICE M – Potência de Manutenção que Deve ser Suprida Pelos
Aquecedores a Gás e Bombas de Calor Quando os Aquecedores Solares Estão
Instalados**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
P_{MAN} (kW)	78	78,7	83,3	95,4	106	115	114	111	102	95,6	90,4	79	96,4
% BC/AG	17,67	20,43	42,67	54,39	67,25	69,48	62,42	58,87	48,85	39,25	22,29	11,85	17,67
P_{BC/AG} (kW)	13,79	16,08	35,52	51,87	71,45	79,93	71,04	65,18	49,82	37,50	20,14	9,35	13,79

**APÊNDICE N – Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual com o
Auxílio dos Aquecedores Solares**

	EC_{BC/s} (MWh/mês)	\$_{BC/s} (R\$)	M_{AG/s} (kg/mês)	\$_{AG/s} (R\$)	TOTAL (R\$)
Jan	2,12	940,91	3,88	15,09	956,00
Fev	2,11	937,60	15,17	53,23	990,83
Mar	4,92	2183,15	82,73	321,42	2504,57
Abr	6,38	2832,10	295,09	1109,56	3941,66
Mai	7,79	3456,25	1014,01	3939,77	7396,02
Jun	7,65	3393,51	1501,41	5645,32	9038,83
Jul	6,96	3090,92	1409,04	5474,58	8565,49
Ago	7,82	3469,96	579,84	2252,87	5722,83
Set	6,10	2707,80	294,07	1105,70	3813,50
Out	4,78	2121,02	215,70	838,06	2959,08
Nov	2,57	1142,58	79,89	300,38	1442,96
Dez	1,37	608,05	8,56	33,28	641,33
TOTAL		R\$ 26883,85		R\$ 21089,25	R\$ 47973,10

APÊNDICE O – Economia Gerada Pelo uso de Aquecedores Solares

	\$ATUAL	\$ATUTAL/AS	Economia (R\$)
Jan	5406,99	956,00	4451,47
Fev	4867,42	990,83	3872,79
Mar	5845,66	2504,57	3351,46
Abr	7246,66	3941,66	3305,00
Mai	10809,24	7396,02	3540,31
Jun	13008,90	9038,83	3970,07
Jul	13440,40	8565,49	5051,50
Ago	9597,09	5722,83	3946,93
Set	7806,57	3813,50	3993,07
Out	7470,84	2959,08	4538,79
Nov	6474,86	1442,96	5031,91
Dez	5405,04	641,33	4764,78
TOTAL	R\$ 97379,66	R\$ 47561,58	R\$ 49818,08

**APÊNDICE P – Gastos Estimados do Sistema de Aquecimento Atual e dos
Sistemas de Aquecimento Propostos**

	\$ATUAL	\$ATUTAL/RGE	\$ATUTAL/AS
Jan	5406,99	5405,47	955,51
Fev	4867,42	4864,46	994,63
Mar	5845,66	5838,10	2494,20
Abr	7246,66	7228,25	3941,66
Mai	10809,24	10771,77	7268,93
Jun	13008,90	12936,01	9038,83
Jul	13440,40	13380,15	8388,90
Ago	9597,09	9561,06	5650,16
Set	7806,57	7779,24	3813,50
Out	7470,84	7452,76	2932,05
Nov	6474,86	6463,53	1442,96
Dez	5405,04	5401,99	640,25
TOTAL	R\$ 97379,66	R\$ 97082,79	R\$ 47561,58