

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Racine Tadeu Araújo Prado, por todo apoio, incentivo e dedicação prestados durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

À FAPESP, pelo apoio financeiro prestado através da concessão de auxílio à pesquisa, indispensável à realização deste trabalho.

À COMGÁS, pelo incentivo ao meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao meu amigo Luca, pelas inúmeras colaborações, sobretudo na montagem das cadeias de instrumentação.

Ao meu amigo Lucas, por me acudir em momento crucial da elaboração deste trabalho.

Ao meu gestor e amigo, Eugênio Pierrobon Neto, pelo interesse demonstrado ao longo do desenvolvimento deste trabalho e, sobretudo, por me encorajar a iniciá-lo.

Ao meu amigo e colega de trabalho Marcio Eidi, por todo o conhecimento adquirido.

Ao amigo Jorge Chaguri Jr, pela ajuda prestada durante o desenvolvimento do trabalho.

À minha família, sobretudo aos meus pais, Doraly T. Maluf e Emílio A. Maluf, por tudo.

À minha namorada, Sully, por todo amor, carinho e, sobretudo, pela paciência.

À todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar o desempenho energético de dois diferentes tipos de sistemas de aquecimento de piscinas: a gás natural e por bomba de calor elétrica. Foi realizada instrumentação em duas piscinas localizadas em uma mesma academia, cada uma delas dotada de um dos tipos de sistema de aquecimento. Além destas duas piscinas, que são objeto de investigação desta pesquisa, outras quatro piscinas, localizadas cada uma em um local distinto na cidade de São Paulo, também receberam instrumentação e a coleta de dados está sendo executada através de sistemas de aquisição de dados, para posterior análise e novos trabalhos de pesquisa. Como resultados da análise das duas piscinas, obteve-se um coeficiente de desempenho - COP, médio para o sistema de aquecimento por bomba de calor igual a 4. Para o sistema a gás natural, os resultados para a eficiência global do sistema indicaram 76%, ao passo que o rendimento apenas dos aquecedores foi de 82%. As análises dos dados permitiram comprovar a influência da temperatura ambiente sobre o COP da bomba de calor. Quanto menor a temperatura do ar, menor o COP. A Temperatura do ar também mostrou forte influência sobre o consumo de energia.

Palavras-chave: Piscinas. Aquecimento de água. Sistemas de aquecimento de água. Energia [Eficiência].

ABSTRACT

The aim of this research is to investigate the energetic performance of two distinct kinds of swimming pool heating systems: gas-fired and electric heat pump. A practical instrumentation research was prepared in these two indoor swimming pools, placed in the same location. Besides these, other four swimming pool, placed each in a different ambient in the city of São Paulo also received the instrumentation so that it will be possible to run future researches, once the data is already being collected by the data loggers installed. As a result of the data analysis, it was found that the average coefficient of performance of the heat pumps studied is 4. For the natural gas fired system, the global efficiency factor was found to be 76%. The efficiency of the heaters isolated was found to be 82%. This research showed that the COP of heat pump systems has strong correlation with the air temperature. The lower the air temperature, the lower the COP. Temperature also has strong influence on the consumption of energy.

Keywords: Swimming pools. Water heating. Water heating systems. Energy [Efficiency].

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	Variação sazonal da temperatura e umidade relativa do ar – RMSP	3
Figura 1.2	Influência da velocidade do ar sobre o coeficiente convectivo de transferência de calor	6
Figura 1.3	Comportamento comparado da taxa de evaporação da água da piscina em relação à velocidade de vento	7
Figura 1.4	Velocidade do vento em relação ao valor de referência, em função da distância de posicionamento do quebra-vento	8
Figura 1.5	Potência térmica dos diferentes sistemas de aquecimento, como função da umidade relativa do ambiente da piscina	10
Figura 1.6	Variação da temperatura do ar externo durante uma semana no local do ensaio	11
Figura 1.7	Efeito da temperatura ambiente na degradação da performance da bomba de calor durante a condição de congelamento/descongelamento	13
Figura 1.8	Variação do COP ao longo da temporada de aquecimento	16
Figura 1.9	Esquema visto em corte de uma piscina coberta, aquecida através de sistema de aquecimento da água por energia solar – sistema indireto	19
Figura 1.10	Variação da temperatura da água de uma piscina: comparação entre dados reais e dados estimados pelo modelo computacional	20

Figura 1.11	Variação da temperatura da água de uma piscina: comparação entre dados reais e dados estimados pelo modelo computacional, com períodos de utilização de capa térmica	21
Figura 2.1	Mapa da distribuição da radiação solar global diária, em MJ/m ² .dia	25
Figura 2.2	Sistema de aquecimento de piscina por energia solar	26
Figura 2.3	Esquema em corte de um coletor solar do tipo fechado	28
Figura 2.4	Foto de um coletor solar do tipo fechado	28
Figura 2.5	Coletor solar do tipo aberto	28
Figura 2.6	Detalhe de coletor solar tipo aberto	28
Figura 2.7	Esquema de funcionamento de uma bomba de calor	30
Figura 2.8	Foto de bomba de calor para uso residencial/comercial	30
Figura 2.9	Sistema de aquecimento de piscina a gás – tipo direto	31
Figura 2.10	Sistema de aquecimento de piscina a gás do tipo indireto	33
Figura 2.11	Vista explodida de um trocador de calor de placas brasadas em inox AISI 316l	34
Figura 2.12	Sistema de aquecimento instalado de forma independente do sistema de filtração e em paralelo, compartilhando rede hidráulica de sucção e de retorno	36
Figura 2.13	Sistema de aquecimento instalado de forma independente do sistema de filtração e em paralelo, com redes hidráulicas de sucção e de retorno independentes	37
Figura 3.1	Mecanismo de Convecção	41
Figura 3.2	Mecanismo de transferência de calor por radiação para o céu	42
Figura 3.3	Mecanismo da evaporação	44

Figura 3.4	Foto retratando evaporação em lago	44
Figura 3.5	Balanço de calor de uma piscina aquecida	46
Figura 3.6	Localização das piscinas pesquisadas	50
Figura 3.7	Foto da piscina de natação do local “A”	53
Figura 3.8	Foto mostrando, ao fundo, piscina de hidroginástica do local “A”	53
Figura 3.9	Foto do sistema de aquecimento a gás natural da piscina de natação do local “A”	54
Figura 3.10	Foto das bombas de calor da piscina de hidroginástica	55
Figura 3.11	Foto da piscina semi-olímpica do local “B”	57
Figura 3.12	Vista aérea da academia, com foco na matriz de coletores solares instalada na cobertura	58
Figura 3.13	Foto das bombas de calor da academia “B”	60
Figura 3.14	Sistema de aquecimento de piscina a gás natural, tipo indireto, similar e de mesmo porte do existente no local “C”	62
Figura 3.15	Foto da piscina do local “D”	65
Figura 3.16	Foto das bombas de calor do local “D”	66
Figura 3.17	Foto da piscina do local “E”	68
Figura 3.18	Foto do sistema de aquecimento a GLP do tipo direto	69
Figura 3.19	Capa térmica tipo “plástico-bolha”	70
Figura 3.20	Termopares tipo T, diâmetros 1,5mm e 3,0mm	74
Figura 3.21	Transmissor 4 a 20mA para termopar tipo T	74
Figura 3.22	Transmissor de temperatura do ar e umidade relativa	75

Figura 3.23	Transmissor omnidirecional de velocidade de vento por “massa aquecida”	76
Figura 3.24	Hidrômetro com emissor de pulso	78
Figura 3.25	Medidor de gás tipo diafragma, instalado no local “A”	80
Figura 3.26	Medidor de gás tipo turbina, instalado no local “E”	81
Figura 3.27	Medidores de energia elétrica instalados no local “A”	82
Figura 3.28	Piranômetro Luftt, com faixa de medição de 0 a 1500W/m ²	84
Figura 3.29	Transmissor de velocidade de vento tipo “concha” e tacômetro	86
Figura 3.30	Alocação dos instrumentos do ambiente interno do local “A”	88
Figura 3.31	Alocação dos instrumentos do ambiente externo do local “A”	89
Figura 3.32	Alocação dos instrumentos inseridos no sistema de aquecimento a gás natural da piscina de natação do local “A”	90
Figura 3.33	Alocação dos instrumentos inseridos no sistema de aquecimento por bomba de calor da piscina de hidroginástica do local “A”	91
Figura 3.34	Foto de CLP com os módulos desconectados e identificados	93
Figura 3.35	Foto identificada de um sistema de coleta de dados e seus componentes	94
Figura 3.36	Distribuição dos componentes do painel de aquisição de dados	96
Figura 3.37	Foto de teste de verificação de funcionamento dos sistemas de aquisição	97
Figura 3.38	Teste realizado com o piranômetro	98

Figura 3.39	Arranjo para verificação da linearidade dos transmissores de umidade relativa	99
Figura 3.40	Ensaio dos transmissores de temperatura do ar	100
Figura 3.41	Ensaio de transmissor de velocidade de vento tipo concha	101
Figura 3.42	Detalhe da tela do notebook, apontando sinal em corrente, frente à velocidade em km/h apontada pelo tacômetro durante um ensaio de transmissor tipo concha	101
Figura 3.43	Detalhe do tubo de PVC protegendo transmissor de temperatura e umidade relativa contra chuvas – local “B”	103
Figura 4.1	Perfil da velocidade de vento interna para o local “A”	107
Figura 4.2	Variação da percentagem de tempo em que o sistema a gás natural ficou ligado em relação à variação de temperatura do ambiente interno	112
Figura 4.3	Correlação entre energia útil e energia consumida – piscina semi-olímpica a gás natural	115
Figura 4.4	Correlação entre energia útil mensal corrigida e temperatura interna do ar – piscina semi-olímpica a gás natural	116
Figura 4.5	Correlação entre energia mensal consumida e temperatura interna do ar – piscina semi-olímpica a gás natural	117
Figura 4.6	Variação do COP ao longo do período de análise, em função da variação da temperatura e umidade relativa do ar externo	119
Figura 4.7	Correlação entre COP e temperatura do ar externa para período de 1 dia	119
Figura 4.8	Correlação entre COP e temperatura do ar externa para período de 2 dias consecutivos	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Temperaturas recomendadas para a água da piscina, de acordo com tipo de utilização	3
Tabela 1.2	Temperaturas estipuladas para a água da piscina em competições oficiais, de acordo com o esporte	4
Tabela 1.3	Quadro comparativo de desempenho comparado dos sistemas bomba de calor elétrica e bomba de calor por ciclo de absorção, em relação ao sistema convencional	12
Tabela 1.4	Consumo de energia por temporada de aquecimento (6 ½ meses)	15
Tabela 3.1	Resumo de características das piscinas pesquisadas	70
Tabela 3.2	Cadeia de instrumentação do ambiente interno do local “A”	87
Tabela 3.3	Cadeia de instrumentação do ambiente externo do local “A”	88
Tabela 3.4	Cadeia de instrumentação do sistema de aquecimento a gás natural da piscina de natação do local “A”	89
Tabela 3.5	Cadeia de instrumentação do sistema de aquecimento por bombas de calor da piscina de hidroginástica do local “A”	90
Tabela 3.6	Incerteza combinada dos instrumentos utilizados	105
Tabela 4.1	Condições climáticas verificadas no ambiente no decorrer da pesquisa	106
Tabela 4.2	Comportamento da temperatura da água da piscina semi-olímpica	108
Tabela 4.3	Comportamento da Temperatura da água da piscina de hidroginástica	108

Tabela 4.4	Energia “extra” gasta para elevar a temperatura da água acima da média ideal	110
Tabela 4.5	Varição da parcela de tempo em que o sistema de aquecimento a gás natural ficou ligado em relação á temperatura média do ambiente interno da piscina	112
Tabela 4.6	Tempo em que o sistema de aquecimento por bomba de calor elétrica ficou ligado	113
Tabela 4.7	Energia útil total e média, rendimento global e consumo de energia – piscina semi-olímpica a gás natural	114
Tabela 4.8	Varição da energia útil e do consumo de energia em função da temperatura interna média mensal – piscina semi-olímpica a gás natural	116
Tabela 4.9	Energia útil e consumida (total e média) e coeficiente de performance médio – COP obtido para as bombas de calor elétricas da piscina de hidroginástica	118
Tabela 4.10	Indicadores de energia útil e de consumo por unidade de área e de volume - Comparativo para as duas piscinas	120
Tabela 4.11	Indicadores de energia útil e de consumo por unidade de área e de volume, por °C - Comparativo para as duas piscinas	121

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

A	Área;
Ac	Área de coletor solar;
AD	Conversor analógico-digital;
c	Calor específico;
°C	Grau Celsius;
CEE	Consumo de energia elétrica;
CLP	Computador lógico programável;
cm	Centímetro;
COP	Coeficiente de performance;
COP_congelado	Coeficiente de performance em condições de congelamento-descongelamento;
COP_base	Coeficiente de performance em condições de referência;
E	Emissividade;
Fa	Fator de atividade;
GLP	Gás liquefeito de petróleo;
GN	Gás natural;
H	Hora;
hcv	Coeficiente convectivo de transferência de calor;
I	Irradiância;
Kcal/h	Quilo-caloria por hora;
Kgf/cm ²	Quilograma-força por centímetro quadrado;
Kg/h	Quilograma por hora;
Kg/s	Quilograma por segundo;
Km/h	Quilômetro por hora;
kPa	Quilo-Pascal;
kW	Quilo-watt
kWh	Quilo-watt hora;
M	Metro;
m ³	Metro cúbico;

mA	Mili-ampère;
m ²	Metro quadrado;
MJ/m ² .dia	Mega-joule por metro quadrado por dia;
mm	Milímetro;
mmhg	Milímetro de mercúrio;
mph	Milha por hora;
mV	Mili-volt;
m/s	Metro por segundo;
MWh/ano	Mega-watt hora por ano;
μ1	Incerteza do instrumento;
μ2	Incerteza do condicionador de sinal;
μ3	Incerteza do módulo AD;
μc	Incerteza combinada;
H	Rendimento;
Pa	Pascal;
pa	Pressão de saturação do ar no ponto de orvalho;
pw	Pressão de vapor saturado, na temperatura de superfície da água
\dot{Q}	Taxa de transferência de calor;
\dot{Q}_{cv}	Taxa de transferência de calor por convecção
\dot{Q}_{12}	Taxa de transferência de calor por radiação entre duas superfícies;
\dot{Q}_x	Taxa de transferência de calor por condução;
QGN	Vazão de gás natural;
T [∞]	Temperatura do fluido (ar);
Tae	Temperatura da água na entrada do sistema de aquecimento;
Tas	Temperatura da água na saída do sistema de aquecimento;
Ts	Temperatura da superfície da água da piscina;
TAI	Temperatura do ar no interior do ambiente da piscina;
TAE	Temperatura do ar no exterior do ambiente da piscina;
TAEBC	Temperatura da água a montante da bomba de calor;
TASBC	Temperatura da água a jusante da bomba de calor;

TAFBC	Temperatura da água no fundo da piscina aquecida por bomba de calor;
TAEGN	Temperatura da água a montante do sistema de aquecimento a gás natural;
TASGN	Temperatura da água a jusante do sistema de aquecimento a gás natural;
TAFGN	Temperatura da água no fundo da piscina aquecimento por sistema de aquecimento a gás natural;
TT	Temperatura do teto do ambiente da piscina;
σ	Constante de Stefan-Boltzmann;
U	Coeficiente de condutividade média global;
URE	Umidade relativa do ar no exterior do ambiente da piscina;
URI	Umidade relativa do ar no interior do ambiente da piscina;
v	Velocidade do ar;
V	Volt;
VABC	Vazão de água através do sistema de aquecimento por bomba de calor;
VAGN	Vazão de água através do sistema de aquecimento a gás natural;
VVE	Velocidade do ar no exterior do ambiente da piscina;
VVI	Velocidade do ar no interior do ambiente da piscina;
W	Watt;
Wh	Watt-hora;
Wp	Taxa de evaporação;
Y	Calor latente.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1	O CONTEXTO	2
1.1.1	PESQUISAS SOBRE MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E BALANÇO ENERGÉTICO EM UMA PISCINA	4
1.1.2	TRABALHOS RELACIONADOS A MECANISMOS PARA A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA	7
1.1.3	ESTUDOS SOBRE A PERFORMANCE DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA DE PISCINA	12
1.1.3.1	TRABALHOS SOBRE BOMBA DE CALOR	12
1.1.3.2	TRABALHOS SOBRE ENERGIA SOLAR TÉRMICA	16
1.2.	OBJETIVOS	22
2	CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA DE PISCINA	24
2.1	TIPOS MAIS USUAIS DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA DE PISCINA	24
2.1.1	SISTEMA DE AQUECIMENTO POR ENERGIA SOLAR TÉRMICA	24
2.1.2	SISTEMA DE AQUECIMENTO POR BOMBA DE CALOR ELÉTRICA	29
2.1.3	SISTEMA DE AQUECIMENTO A GÁS (NATURAL OU LIQUEFEITO DE PETRÓLEO)	30
2.1.3.1	DO TIPO DIRETO	30
2.1.3.2	DO TIPO INDIRETO	32
2.2	FORMAS USUAIS DE INTERLIGAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO COM A PISCINA	35
2.2.1	INTERLIGAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO EM SÉRIE COM O SISTEMA DE FILTRAÇÃO	35
2.2.2	INTERLIGAÇÃO HIDRÁULICA INDEPENDENTE PARA O SISTEMA DE AQUECIMENTO, EM PARALELO COM O SISTEMA DE FILTRAÇÃO	35
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	38
3.1	BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA “PISCINA AQUECIDA”	38

3.2	ESCOLHA DAS PISCINAS, DOS TIPOS DE AMBIENTES, LOCALIZAÇÕES E TIPOS DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO PARA A REALIZAÇÃO DAS PESQUISAS DE CAMPO ENVOLVENDO INSTRUMENTAÇÃO	47
3.2.1	ESCOLHA DOS TIPOS DE PISCINAS	47
3.2.2	ESCOLHA DO TIPO DE AMBIENTE	47
3.2.3	ESCOLHA DOS TIPOS DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO	48
3.4.2	ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO DAS PISCINAS	49
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS PISCINAS, AMBIENTES E SISTEMAS DE AQUECIMENTO INSTRUMENTADOS	51
3.3.1	LOCAL “A” (VILA SÔNIA, ZONA SUL)	51
3.3.1.1	O AMBIENTE	51
3.3.1.2	AS PISCINAS DO LOCAL “A”	52
3.3.1.2.1	PISCINA DE NATAÇÃO	52
3.3.1.2.2	PISCINA DE HIDROGINÁSTICA	53
3.3.1.3	OS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DAS PISCINAS DO LOCAL “A”	54
3.3.1.3.1	SISTEMA DE AQUECIMENTO DA PISCINA DE NATAÇÃO	54
3.3.1.3.2	SISTEMA DE AQUECIMENTO DA PISCINA DE HIDROGINÁSTICA	55
3.3.1.4	CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DO LOCAL “A”	55
3.3.2	LOCAL “B” (IPIRANGA, REGIÃO CENTRAL)	56
3.3.2.1	O AMBIENTE	56
3.3.2.2	A PISCINA DE NATAÇÃO DO LOCAL “B”	57
3.3.2.3	OS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DA PISCINA DE NATAÇÃO DO LOCAL “B”	58
3.3.2.3.1	SISTEMA DE AQUECIMENTO POR ENERGIA SOLAR	58
3.3.2.3.2	SISTEMA DE AQUECIMENTO POR BOMBA DE CALOR ELÉTRICA	59
3.3.2.4	CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DO LOCAL “B”	60
3.3.3	LOCAL “C” (VILA CARRÃO, REGIÃO LESTE)	60
3.3.3.1	O AMBIENTE	61
3.3.3.2	A PISCINA	61
3.3.3.3	O SISTEMA DE AQUECIMENTO DA PISCINA DO LOCAL “C”	62
3.3.3.4	CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DO LOCAL “C”	63
3.3.4	LOCAL “D” (IMIRIM, REGIÃO NORTE)	63

3.3.4.1	O AMBIENTE	63
3.3.4.2	PISCINA	64
3.3.4.3	O SISTEMA DE AQUECIMENTO DA PISCINA DO LOCAL “D”	65
3.3.4.4	CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DO LOCAL “D”	66
3.3.5	LOCAL “E” (BUTANTÃ, REGIÃO OESTE)	67
3.3.5.1	O AMBIENTE	67
3.3.5.2	A PISCINA	68
3.3.5.3	O SISTEMA DE AQUECIMENTO DA PISCINA DO LOCAL “E”	68
3.3.5.4	CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DO LOCAL “E”	69
3.3.6	RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS PISCINAS PESQUISADAS	70
3.4	DEFINIÇÃO DOS INSTRUMENTOS E DAS CADEIAS DE INSTRUMENTAÇÃO	72
3.4.1	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS A SEREM MONITORADAS E RESPECTIVOS INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS	72
3.4.1.1	VARIÁVEIS COM INFLUÊNCIA NO BALANÇO ENERGÉTICO DA PISCINA	72
3.4.1.1.1	TEMPERATURA DO TETO DO AMBIENTE	73
3.4.1.1.2	TEMPERATURA DE REFERÊNCIA DA ÁGUA DA PISCINA	74
3.4.1.1.3	TEMPERATURA DO AR NO AMBIENTE DA PISCINA	74
3.4.1.1.4	VELOCIDADE DO AR NO AMBIENTE DA PISCINA	75
3.4.1.1.5	UMIDADE RELATIVA DO AR NO AMBIENTE DA PISCINA	77
3.4.1.2	FATORES INFLUENTES NA DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CALOR ADICIONADA À ÁGUA DA PISCINA	77
3.4.1.2.1	VAZÃO DE ÁGUA ATRAVÉS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO	78
3.4.1.2.2	TEMPERATURAS DA ÁGUA À MONTANTE DA ENTRADA E À JUSANTE DA SAÍDA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO	79
3.4.1.3	DETERMINAÇÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO, ENERGIA COLETADA E COEFICIENTES DE RENDIMENTO E PERFORMANCE DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO	79
3.4.1.3.1	MEDIÇÃO DA ENERGIA CONSUMIDA	79
3.4.1.3.1.1	MEDIÇÃO DA VAZÃO DE GÁS	79
3.4.1.3.1.1.1	MEDIÇÃO DA VAZÃO DE GÁS NATURA	80
3.4.1.3.1.1.2	MEDIÇÃO DA VAZÃO DE GLP	81
3.4.1.3.1.2	MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	82

3.4.1.3.2	MEDIÇÃO DA ENERGIA COLETADA	83
3.4.1.4	VERIFICAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NOS AMBIENTES DE INSTALAÇÃO DAS BOMBAS DE CALOR E A PERFORMANCE ENERGÉTICA DESTAS	85
3.4.1.4.1	TEMPERATURA AMBIENTE EXTERNA	85
3.4.1.4.2	UMIDADE RELATIVA DO AR EXTERNO	85
3.4.1.4.3	VELOCIDADE DO VENTO EXTERNA	85
3.4.2	CADEIA DE MEDIÇÃO E ALOCAÇÃO DOS INSTRUMENTOS PARA O LOCAL "A"	87
3.5	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	92
3.5.1	PROGRAMAÇÃO DOS CLPs	95
3.6	PREPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS E DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	95
3.6.1	PREPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS	95
3.6.2	VERIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	97
3.6.2.1	VERIFICAÇÃO DO PIRANÔMETRO	98
3.6.2.2	VERIFICAÇÃO DOS TRANSMISSORES DE UMIDADE RELATIVA	99
3.6.2.3	VERIFICAÇÃO DOS TRANSMISSORES DE TEMPERATURA DO AR	100
3.6.2.4	VERIFICAÇÃO DOS TRANSMISSORES DE VELOCIDADE DE VENTO TIPO CONCHA	101
3.6.2.5	AJUSTE DOS TRANSMISSORES DE VELOCIDADE DE VENTO POR MASSA AQUECIDA	102
3.7	CUIDADOS TOMADOS NA INSTALAÇÃO DAS CADEIAS DE MEDIÇÃO	102
3.8	COLETA E PREPARAÇÃO DOS DADOS	104
3.8.1	AVALIAÇÃO DA INCERTEZA COMBINADA DOS INSTRUMENTOS NAS CADEIAS DE MEDIÇÕES	104
4	RESULTADOS OBTIDOS	106
4.1	FAIXAS DE TEMPERATURAS DE MANUTENÇÃO DA ÁGUA DAS PISCINAS E TEMPERATURAS MÉDIAS	107
4.1.1	PISCINA SEMI-OLÍMPICA (SISTEMA A GÁS NATURAL)	107
4.1.2	PISCINA DE HIDROGINÁSTICA (BOMBAS DE CALOR)	108
4.1.3	COMENTÁRIOS SOBRE A TEMPERATURA DA ÁGUA	109

4.1.3.1	ENERGIA ARMAZENADA NA ÁGUA DAS PISCINAS	109
4.2	TEMPO DE FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DAS PISCINAS	111
4.2.1	TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO A GÁS NATURAL DA PISCINA SEMI-OLÍMPICA	111
4.2.2	TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO POR BOMBAS DE CALOR ELÉTRICAS DA PISCINA DE HIDROGINÁSTICA	113
4.3	ENERGIA ÚTIL, ENERGIA CONSUMIDA E RENDIMENTO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE PISCINA PESQUISADOS	114
4.3.1	ENERGIA ÚTIL, ENERGIA CONSUMIDA E RENDIMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO A GÁS NATURAL DA PISCINA SEMI- OLÍMPICA	114
4.3.2	ENERGIA ÚTIL DISPONIBILIZADA, ENERGIA CONSUMIDA E COEFICIENTE DE PERFORMANCE DO SISTEMA DE AQUECIMENTO POR BOMBAS DE CALOR DA PISCINA DE HIDROGINÁSTICA	117
4.4	COMPARATIVO DE ENERGIA CONSUMIDA E ENERGIA ÚTIL DISPONÍVEL POR UNIDADE DE VOLUME E DE ÁREA DE SUPERFÍCIE ENTRE AS DUAS PISCINAS	120
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
6	REFERÊNCIAS	127