

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS
NUCLEARES

Guilherme Carvalho Velloso Costa

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares

**METODOLOGIA PARA ESTUDO DA
VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E
AMBIENTAL DE SISTEMAS DISTRITAIS PARA
AQUECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Guilherme Carvalho Velloso Costa
Engenheiro Mecatrônico.

**METODOLOGIA PARA ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E
AMBIENTAL DE SISTEMAS DISTRITAIS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA NO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares (CCTN), do Departamento de Engenharia Nuclear da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares, na área de concentração Engenharia da Energia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Brant Pinheiro

Belo Horizonte, MG.
Departamento de Engenharia Nuclear
Escola de Engenharia da UFMG
28 de Fevereiro de 2005

“Hoje em dia, o ser humano apenas tem ante si três grandes problemas que foram ironicamente provocados por ele próprio: a super povoação, o desaparecimento dos recursos naturais e a destruição do meio ambiente. Triunfar sobre estes problemas, vistos sermos nós a sua causa, deveria ser a nossa mais profunda motivação”.

Jacques Yves Cousteau (1910–1997)

AGRADECIMENTOS

- A Deus e a São Judas Tadeu.
- A minha namorada, noiva, esposa Thais por ter me “suportado” em todos os sentidos da palavra neste longo período de constantes estudos. Pelo seu apoio e amor em todos os momentos difíceis nos quais imaginei que não seria possível concluir este trabalho.
- Ao Professor Dr. Ricardo Brant Pinheiro, por ter aceitado o desafio de adentrar pela seara de um tema ainda pouco discutido no Brasil. Por sua condução firme e constante auxílio nos momentos de dúvida.
- Aos professores do Departamento de Ciências e Técnicas Nucleares, em especial à profa. Dra. Cláudia.
- À professora Dra. Elizabeth Marques Duarte Pereira, coordenadora do Green, que durante anos tem passado de maneira brilhante os seus conhecimentos à comunidade acadêmica.
- Aos excelentes colegas da Resolver Engenharia, Alexandre Salomão e Luciano Torres Pereira que me auxiliaram em diversos cálculos relacionados ao dimensionamento dos sistemas.
- Ao meu mentor espiritual e responsável em grande parte pela escolha do tema deste trabalho, o Engenheiro Carlos Felipe da Cunha Faria. Por suas idéias à frente de sua época.
- Aos meus colegas de trabalho na PUC Minas Virtual que me permitiram trabalhar na dissertação mesmo em momentos tumultuados. Em especial ao Toninho, que me ajudou em diversas ilustrações, ao Túlio, Márcio, Lucas, Silvana, Frederico pelo apoio constante no dia a dia.
- Ao meu pai Mário pelos ensinamentos e princípios morais deixados e que mesmo em sua ausência continuam norteando minha vida. À minha família, Vera (mãe), Frederico (irmão), Rafael (irmão) que nunca me faltaram fosse qual fosse a ocasião, fonte de carinho e amizade.
- A Maria Beatriz Ribeiro de Oliveira Gonçalves diretora da PUC Minas Virtual e Luiz Flávio Freitas Barbosa Oliveira coordenador de tecnologia que me permitiram trabalhar em horários alternativos para que fosse possível a elaboração deste trabalho.
- À SMBH – Secretaria Municipal de Habitação de Belo Horizonte, principalmente a arquiteta Adriana Duval de Araújo e à engenheira Margareth. .
- Aos fabricantes de equipamentos de aquecimento solar Transen, Soletrol, Alternativa Solar, Enalter, e seus técnicos, que forneceram informações técnicas preciosas para o desenrolar e fechamento deste trabalho.
- Aos ex-sócios da Resolver, grandes amigos que me auxiliaram tecnicamente, Lílian, Breno, Leo Chamone.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| <u>AGRADECIMENTOS</u> | 1 |
| <u>LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS</u> | 5 |
| LISTA DE TABELAS | 7 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | 9 |
| LISTA DE SÍMBOLOS | 11 |
| <u>RESUMO</u> | 14 |
| <u>ABSTRACT</u> | 15 |
| <u>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</u> | 16 |
| 1.1 – OBJETIVOS | 19 |
| 1.2 – JUSTIFICATIVA | 19 |
| 1.3 – CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS | 21 |
| <u>CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE AQUECIMENTO DISTRITAL</u> | 23 |
| 2.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AQUECIMENTO DE ÁGUA DISTRITAL | 23 |
| 2.2 DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA DISTRITAL | 25 |
| 2.3 – AQUECIMENTO DISTRITAL NO MUNDO | 31 |
| 2.3.1 – EUROPA | 32 |
| 2.3.2 – ESTADOS UNIDOS E CANADÁ | 36 |
| 2.4 – AQUECIMENTO DISTRITAL NO BRASIL | 39 |
| <u>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA</u> | 42 |
| 3.1 – MODELO DE CÁLCULO | 43 |
| 3.1.1 – DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA QUENTE | 43 |
| 3.1.2 – SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS | 44 |
| 3.1.3 – ANÁLISE FINANCEIRA | 46 |
| 3.1.4 – ANÁLISE AMBIENTAL | 46 |
| <u>CAPÍTULO 4 – SUPRIMENTOS DE ENERGIA</u> | 47 |
| 4.1 – ÓLEO COMBUSTÍVEL E ÓLEO DIESEL | 47 |
| 4.2 – GÁS NATURAL | 49 |
| 4.3 – GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO – GLP | 51 |
| 4.4 – BIOMASSA | 52 |
| 4.5 – ENERGIA ELÉTRICA | 55 |
| 4.6 – ENERGIA SOLAR | 57 |
| 4.6.1 – GEOMETRIA SOLAR E MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR. | 60 |
| <u>CAPÍTULO 5 – COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DISTRITAL</u> | 71 |

| | |
|--|-----------|
| 5.1 – GERADORES DE VAPOR / CALDEIRAS DE ÁGUA A ALTA TEMPERATURA | 72 |
| 5.2 – COLETORES SOLARES TÉRMICOS | 72 |
| 5.2.1 – EFICIÊNCIA TÉRMICA DE COLETORES SOLARES PLANOS FECHADOS | 72 |
| 5.2.2 – PRODUÇÃO MENSAL MÉDIA DE ENERGIA POR COLETOR SOLAR | 83 |
| 5.2.3 – O MÉTODO DA CARTA – F | 83 |
| 5.3 – RESERVATÓRIO TÉRMICO | 86 |
| 5.4 – SISTEMA DE BOMBEAMENTO E DISTRIBUIÇÃO | 88 |
| 5.5 – OUTROS COMPONENTES | 89 |

CAPÍTULO 6 – DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DISTRITAL PARA O BRASIL **92**

| | |
|---|------------|
| 6.1 – ESTRUTURA DE CÁLCULO | 93 |
| 6.1.1 – DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA QUENTE | 94 |
| 6.1.2 – SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS | 95 |
| 6.1.3 – ANÁLISE FINANCEIRA | 101 |
| 6.2 – ASPECTOS AMBIENTAIS DAS INSTALAÇÕES DE AQUECIMENTO DISTRITAL | 102 |
| 6.3 – USO DA TERRA | 103 |
| 6.4 – PLANILHA DE CÁLCULO | 105 |
| 6.4.1 – ESTRUTURA DA PLANILHA | 105 |
| 6.4.2 – GUIA DE UTILIZAÇÃO | 105 |

CAPÍTULO 7 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA **115**

| | |
|---|------------|
| 7.1 – SELEÇÃO DO ESTUDO DE CASO | 115 |
| 7.2 – DEFINIÇÕES DO CASO EXEMPLO | 116 |
| 7.3 – CÁLCULO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 118 |

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES **129**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **133**

GLOSSÁRIO **145**

APÊNDICE A – CONCEITOS E FUNDAMENTOS **149**

| | |
|--|------------|
| A.1 CONCEITOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA | 149 |
| A.1.1 – EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE | 150 |
| A.2 – CONCEITOS BÁSICOS DE TERMODINÂMICA | 151 |
| A.2.1 – ANÁLISE ENERGÉTICA PARA VOLUMES DE CONTROLE | 151 |
| A.3 CONCEITOS BÁSICOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR | 152 |
| A.3.1 – CONDUÇÃO | 153 |
| A.3.2 – CONVECÇÃO | 154 |
| A.3.3 – RADIAÇÃO | 156 |
| A.4 – FUNDAMENTOS DE MATEMÁTICA FINANCEIRA | 156 |
| A.4.1 – JUROS E CAPITALIZAÇÃO SIMPLES | 157 |
| A.4.2 – DESCONTOS | 158 |
| A.4.3 – ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA | 158 |
| A.4.4 – SISTEMAS DE AMORTIZAÇÃO | 160 |
| A.5 – IMPACTOS AMBIENTAIS | 162 |

| | |
|--|------------|
| APÊNDICE B – AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL | 168 |
| APENDICE C – EQUIPAMENTOS | 171 |
| C.1 – GERADORES DE VAPOR / CALDEIRAS DE ÁGUA A ALTA TEMPERATURA | 171 |
| C.1.1 – CALDEIRAS FLAMOTUBULARES | 173 |
| C.1.2 – CALDEIRAS AQUATUBULARES | 175 |
| C.1.3 – CALDEIRAS ELÉTRICAS | 177 |
| C.2 – AQUECEDORES DE ÁGUA | 179 |
| C.2.1 – AQUECEDORES DE PASSAGEM | 179 |
| C.2.2 – AQUECEDORES DE ACUMULAÇÃO | 180 |
| C.3 – COLETORES SOLARES TÉRMICOS | 183 |
| C.3.1 – COLETOR SOLAR PLANO (CSP) | 183 |
| APENDICE D – DIMENSIONAMENTO | 188 |
| D.1 – DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DIÁRIA DE ÁGUA QUENTE | 188 |
| D.2 – DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DAS TUBULAÇÕES | 190 |
| D.3 – CÁLCULO DA PERDA DE CARGA | 193 |
| D.4 – A ALTURA MANOMÉTRICA DAS INSTALAÇÕES | 197 |
| D.5 – SELEÇÃO DA SUBESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO | 198 |
| APÊNDICE E – DADOS RELACIONADOS COM O ESTUDO DE CASO | 201 |
| ANEXO A– TABELAS E ÁBACOS HIDRÁULICOS | 219 |
| ANEXO B –DADOS RELATIVOS AOS SUPRIMENTOS DE ENERGIA. | 224 |
| ANEXO C – CATÁLOGOS DE EQUIPAMENTOS E FABRICANTES | 229 |
| ANEXO D – LEGISLAÇÃO PERTINENTE | 236 |

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| FIGURA 1 – EXEMPLO DE UMA INSTALAÇÃO SISTEMA DE ENERGIA DISTRITAL | 26 |
| FIGURA 2 – EQUIPAMENTOS CONSTITUINTES DE UMA SUBESTAÇÃO DE TROCA DE CALOR. | 27 |
| FIGURA 3 – USUÁRIA SENDO INSTRUÍDA A RESPEITO DO FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO. | 28 |
| FIGURA 4 – VISTA DA MONTAGEM DA USINA DE ENERGIA DE BARCELONA. | 29 |
| FIGURA 5 – EXEMPLO DE TUBULAÇÃO UTILIZADA EM SISTEMAS DE AQUECIMENTO DISTRITAL. | 30 |
| FIGURA 6 – COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS EM SISTEMAS DISTRITAIS COM CO-GERAÇÃO EM PAÍSES DA UE. | 31 |
| FIGURA 7 – MERCADO EUROPEU DE AQUECIMENTO DISTRITAL. | 32 |
| FIGURA 8 – OEDERAN – ALEMANHA (700M ²), SARO – SUÉCIA (740M ²) | 34 |
| FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DO AQUECIMENTO SOLAR NA UNIÃO EUROPÉIA – 1985–2002 | 35 |
| FIGURA 10 – INSTALAÇÃO DE AQUECIMENTO DISTRITAL DE MARSTAL 8000 M ² NA DINAMARCA. | 36 |
| FIGURA 11 – SUPRIMENTOS DE ENERGIA UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DISTRITAL EM UNIVERSIDADES E COLÉGIOS NOS ESTADOS UNIDOS. | 37 |
| FIGURA 12 – CAPTAÇÃO DE ÁGUA NO LAGO ONTÁRIO PARA UTILIZAÇÃO NO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DISTRITAL / ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE TORONTO. | 38 |
| FIGURA 13 – VISÃO PANORÂMICA BATERIAS DE COLETORES SOLARES. RETIRO MAANAIM, ES. | 39 |
| FIGURA 14 – PAINEL DE CONTROLE. | 40 |
| FIGURA 15 – DETALHAMENTO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO. | 40 |
| FIGURA 16 – SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE | 41 |
| FIGURA 17 – ESTRUTURA DE CÁLCULO – SUPRIMENTOS DE ENERGIA, CONVERSORES E USINA DE ENERGIA. | 42 |
| FIGURA 18 – PASSOS PARA PROJETO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO. | 43 |
| FIGURA 19 – CÁLCULO DA DEMANDA DE ÁGUA QUENTE DIÁRIA. | 44 |
| FIGURA 20 – ESTRUTURA DE CÁLCULO UTILIZANDO-SE COLETORES SOLARES TÉRMICOS. | 45 |
| FIGURA 21 – ESTRUTURA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS CONVENCIONAIS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA. | 45 |
| FIGURA 22 – SISTEMA INTEGRADO DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. | 56 |
| FIGURA 23 – ESTRUTURA DA OFERTA DE ELETRICIDADE. | 56 |
| FIGURA 24 – ESPECTRO DA RADIAÇÃO SOLAR EXTRATERRESTRE E TERRESTRE. | 58 |
| FIGURA 25 – COEFICIENTE DE “MASSA DE AR” | 59 |
| FIGURA 26 – PIRANÔMETROS E PIRELIÔMETROS MEDINDO A RADIAÇÃO GLOBAL, DIFUSA E DIRETA. | 60 |
| FIGURA 27 – MODELO DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR. | 61 |
| FIGURA 28 – EQUAÇÃO DO TEMPO PARA CORREÇÃO DA HORA PADRÃO. | 62 |
| FIGURA 29 – ÂNGULOS SOLARES. | 64 |
| FIGURA 30 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DA TRAJETÓRIA DOS RAIOS SOLARES DENTRO DO COLETOR SOLAR PLANO. | 74 |
| FIGURA 31 – BALANÇO DE ENERGIA NO COLETOR SOLAR PLANO EM CONDIÇÕES PRÉ-DEFINIDAS DE OPERAÇÃO. | 74 |
| FIGURA 32 – PLACA ABSORVEDORA DO COLETOR SOLAR PLANO. | 77 |
| FIGURA 33 – ETIQUETA DO INMETRO | 80 |
| FIGURA 34 – CURVA GENÉRICA DE EFICIÊNCIA TÉRMICA INSTANTÂNEA DE COLETORES SOLARES. | 82 |
| FIGURA 35 – RESERVATÓRIO TÉRMICO. | 86 |
| FIGURA 36 – SEQÜÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA CÁLCULO E ESCOLHA DE UMA BOMBA. | 88 |
| FIGURA 37 – REGISTRO MISTURADOR SOLAR. | 89 |
| FIGURA 38 – VÁLVULA DE CONTROLE | 90 |
| FIGURA 39 – VÁLVULA DE RETENÇÃO (VISTA EM CORTE) | 90 |
| FIGURA 40 – VÁLVULA DE DESCARGA RÁPIDA. | 90 |
| FIGURA 41 – BOMBA DE ÓLEO A ENGRENAGENS. | 91 |
| FIGURA 42 – TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL. | 91 |
| FIGURA 43 – ESTRUTURA DE CÁLCULO – SUPRIMENTOS DE ENERGIA, CONVERSORES E USINA DE ENERGIA. | 93 |
| FIGURA 44 – PASSOS PARA PROJETO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO. | 94 |
| FIGURA 45 – CÁLCULO DA DEMANDA DE ÁGUA QUENTE DIÁRIA. | 95 |
| FIGURA 46 – ESTRUTURA DE CÁLCULO UTILIZANDO-SE COLETORES SOLARES TÉRMICOS. | 96 |
| FIGURA 47 – ESTRUTURA DE CÁLCULO UTILIZANDO-SE EQUIPAMENTOS AQUECEDORES DE ÁGUA. | 96 |
| FIGURA 48 – CAPACIDADE DE CALDEIRAS. VOLUME DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA QUENTE. | 98 |
| FIGURA 49 – CHAMADA DO PROMPT DE COMANDO. | 106 |
| FIGURA 50 – JANELA DO PROMPT DE COMANDO. | 106 |
| FIGURA 51 – HABILITAÇÃO DE MACROS DO MICROSOFT EXCEL. | 107 |
| FIGURA 52 – PASTA DE TRABALHO 01–DEMANDA ÁGUA QUENTE | 108 |
| FIGURA 53 – PASTA DE TRABALHO 02–DADOS DO AQUECIMENTO SOLAR. | 109 |
| FIGURA 54 – DETALHE DA PASTA DE TRABALHO 03–DIM. SOLAR. | 110 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 55 – DETALHE DA PASTA DE TRABALHO 06–FLUXO DE CAIXA SOLAR..... | 111 |
| FIGURA 56 – DETALHE DA PASTA DE TRABALHO 06–FLUXO DE CAIXA CONVENCIONAL..... | 112 |
| FIGURA 57 – PLANTA DE IMPLANTAÇÃO DO CONJUNTO HABITACIONAL MINAS SOLIDÁRIA (GRANJA DE FREITAS IV)..... | 116 |
| FIGURA 58 – PRODUÇÃO MENSAL DE ENERGIA E MÉDIA MENSAL PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR..... | 118 |
| FIGURA 59 – DEMANDA DE ENERGIA + PERDAS RESERVATÓRIO..... | 119 |
| FIGURA 60 – ÁREA COLETORA NECESSÁRIA X DECISÃO DE PROJETO..... | 121 |
| FIGURA 61 – PRODUÇÃO MENSAL DE ENERGIA..... | 121 |
| FIGURA 62 – GRÁFICO COMPARATIVO DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO..... | 124 |
| FIGURA 63 – GRÁFICO COMPARATIVO DE EMISSÃO DE SO _x | 124 |
| FIGURA 64 – GRÁFICO COMPARATIVO DE EMISSÃO DE NO _x | 124 |
| FIGURA 65 – GRÁFICO COMPARATIVO DE EMISSÃO DE CO ₂ | 125 |
| FIGURA 66 – GRÁFICO COMPARATIVO DE EMISSÃO DE CO..... | 125 |
| FIGURA 67 – POSSÍVEL CLASSIFICAÇÃO DA MECÂNICA DOS FLUIDOS..... | 149 |
| FIGURA 68 – TUBULAÇÃO SEM DERIVAÇÕES..... | 151 |
| FIGURA 69 – CONDUÇÃO TÉRMICA..... | 154 |
| FIGURA 70 – CONVECÇÃO NATURAL..... | 155 |
| FIGURA 71 – SISTEMA “PRICE”..... | 161 |
| FIGURA 72 – SISTEMA “SAC”..... | 161 |
| FIGURA 73 – IRRADIAÇÃO MÉDIA ANUAL..... | 168 |
| FIGURA 74 – EVOLUÇÃO DO AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL – 1985–2002..... | 170 |
| FIGURA 75 –ESQUEMA DE CALDEIRA FLAMOTUBULAR..... | 173 |
| FIGURA 76 – CALDEIRAS FLAMOTUBULARES HORIZONTAIS. ILUSTRAÇÃO DE PASSE SIMPLES E DE MÚLTIPLOS PASSES..... | 174 |
| FIGURA 77 – CALDEIRA FLAMOTUBULAR ECAL E ESQUEMA..... | 175 |
| FIGURA 78 – CALDEIRA AQUATUBULAR EM DESENHO ESQUEMÁTICO..... | 176 |
| FIGURA 79 – ELEMENTO RESISTOR..... | 178 |
| FIGURA 80 – CALDEIRA ELÉTRICA DE RESISTORES..... | 178 |
| FIGURA 81 – PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE CALDEIRA ELÉTRICA..... | 179 |
| FIGURA 82 – AQUECEDOR A GÁS INDIVIDUAL..... | 181 |
| FIGURA 83 – AQUECEDOR DE ACUMULAÇÃO JMS..... | 183 |
| FIGURA 84 – COLETOR SOLAR TÉRMICO ABERTO..... | 184 |
| FIGURA 85 – COLETOR SOLAR DE TUBOS EVACUADOS..... | 185 |
| FIGURA 86 – COLETOR SOLAR PLANO FECHADO..... | 185 |
| FIGURA 87 – COLETOR SOLAR EXPLODIDO..... | 186 |
| FIGURA 88 – TUBULAÇÃO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO DE PEQUENO E MÉDIO PORTE..... | 190 |
| FIGURA 89 – TUBULAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO DE AQUECIMENTO DISTRITAL EM MUSSALO KOTKA – FINLÂNDIA..... | 191 |
| FIGURA 90 – INSTALAÇÃO DE BOMBA CENTRÍFUGA..... | 198 |
| FIGURA 91 – PLANTA DE IMPLANTAÇÃO DO CONJUNTO HABITACIONAL..... | 201 |
| FIGURA 92 – PLANTA INDICATIVA DA PROPOSIÇÃO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DISTRITAL..... | 202 |
| FIGURA 93 – PLANTA INDICATIVA DA PROPOSIÇÃO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DISTRITAL..... | 203 |
| FIGURA 94 – DETALHAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO..... | 204 |
| FIGURA 95 – REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE..... | 205 |
| FIGURA 96 – DIAGRAMA DE MOODY UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERDA DE CARGA F..... | 219 |
| FIGURA 97 – DIAGRAMA DE ROUSE UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERDA DE CARGA F..... | 220 |
| FIGURA 98 – PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS..... | 221 |
| FIGURA 99 – CALDEIRA ECAL HORIZONTAL..... | 229 |
| FIGURA 100 – GERADORAS DE ÁGUA QUENTE JMS..... | 230 |
| FIGURA 101 – GERADORA DE ÁGUA QUENTE VERTICAL..... | 232 |
| FIGURA 102 – GERADORA DE ÁGUA QUENTE HORIZONTAL..... | 232 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA 1 – ÓLEO DIESEL – BRASIL..... | 48 |
| TABELA 2 – ANÁLISE ELEMENTAR DE ÓLEOS COMBUSTÍVEIS..... | 49 |
| TABELA 3 – ÓLEO COMBUSTÍVEL (BPF) – BRASIL..... | 49 |
| TABELA 4 – COMPOSIÇÃO DO GÁS NATURAL BRUTO..... | 50 |
| TABELA 5 – ESPECIFICAÇÕES PARA O GÁS NATURAL COMERCIALIZADO NO BRASIL..... | 50 |
| TABELA 6 – COMPOSIÇÃO DO GÁS NATURAL – GASODUTO BOLÍVIA – BRASIL..... | 51 |
| TABELA 7 – COMPOSIÇÃO DO GLP – BRASIL..... | 52 |
| TABELA 8 – COMPOSIÇÃO DA LENHA EM BASE SECA (MÉDIA ENTRE VÁRIAS ESPÉCIES)..... | 54 |
| TABELA 9 – PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE ALGUMAS ESPÉCIES..... | 55 |
| TABELA 10 – LENHA – BRASIL..... | 55 |
| TABELA 11 – DIA MÉDIO RECOMENDADO PARA CÁLCULO DA DECLINAÇÃO..... | 64 |
| TABELA 12 – COEFICIENTES EMPÍRICOS DE CORRELAÇÃO DE BENNETT MODIFICADA..... | 67 |
| TABELA 13 – FAIXA DE VALORES VÁLIDOS PARA A APLICAÇÃO DO MODELO DA CARTA – F..... | 85 |
| TABELA 14 – DADOS DOS SUPRIMENTOS DE ENERGIA UTILIZADOS NA PLANILHA DE CÁLCULO COLETADOS DURANTE O MÊS DE NOVEMBRO DE 2005..... | 101 |
| TABELA 15 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS SUPRIMENTOS DE ENERGIA UTILIZADOS NA PLANILHA DE CÁLCULO..... | 102 |
| TABELA 16 – TABELA DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS QUANDO DA PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE COLETORES SOLARES..... | 103 |
| TABELA 17 – LEGENDA DOS ELEMENTOS DA PLANILHA DE CÁLCULO..... | 107 |
| TABELA 18 – DADOS RELATIVOS À CIDADE DE BELO HORIZONTE..... | 117 |
| TABELA 19 – DADOS DO COLETOR SOLAR UTILIZADO NOS CÁLCULOS..... | 117 |
| TABELA 20 – DEMANDA MENSAL DE ENERGIA..... | 119 |
| TABELA 21 – ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE COLETORES, FRAÇÃO SOLAR E CUSTO COM O COMBUSTÍVEL DO SISTEMA DE <i>BACKUP</i> | 120 |
| TABELA 22 – COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE SISTEMA UTILIZANDO CALDEIRA ELÉTRICA E SISTEMA SOLAR COM <i>BACKUP</i> DE CALDEIRA ELÉTRICA..... | 122 |
| TABELA 23 – COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE SISTEMA UTILIZANDO CALDEIRA A LENHA E SISTEMA SOLAR COM <i>BACKUP</i> DE CALDEIRA A LENHA..... | 123 |
| TABELA 24 – COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE UTILIZAÇÃO DE CHUVEIRO ELÉTRICO E SISTEMA SOLAR INDIVIDUAL COM <i>BACKUP</i> ELÉTRICO..... | 126 |
| TABELA 25 – CUSTO CAPITAL DA INSTALAÇÃO SOLAR + CALDEIRA A LENHA DE <i>BACKUP</i> | 127 |
| TABELA 26 – CUSTO CAPITAL DA INSTALAÇÃO DE CALDEIRA A LENHA..... | 127 |
| TABELA 27 – COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE AS DUAS TECNOLOGIAS..... | 127 |
| TABELA 28 – FATORES DE EMISSÃO PARA ALGUNS PROCESSOS DE COMBUSTÃO..... | 163 |
| TABELA 29 – EFEITOS E SINTOMAS DO CO NOS SERES HUMANOS DE ACORDO COM O TEMPO DE EXPOSIÇÃO..... | 165 |
| TABELA 30 – ELEMENTOS RESP. PELA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E EFEITOS NO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA..... | 167 |
| TABELA 31 – EMISSÕES, VALORES EM KG/GJ..... | 167 |
| TABELA 32 – CONSUMO DIÁRIO MÉDIO..... | 188 |
| TABELA 33 – CONSUMO DIÁRIO MÉDIO POR APARELHO..... | 188 |
| TABELA 34 – EXEMPLO DE UM CÁLCULO DE CONSUMO DE ÁGUA QUENTE..... | 189 |
| TABELA 35 – PESO HIDRÁULICO DO CHUVEIRO..... | 192 |
| TABELA 36 – VELOCIDADES E VAZÕES MÁXIMAS PARA ÁGUA QUENTE..... | 193 |
| TABELA 37 – RUGOSIDADE ABSOLUTA DE ALGUNS MATERIAIS..... | 196 |
| TABELA 38 – RENDIMENTO VOLUMÉTRICO EM VIRTUDE DA PRESSÃO DE TRABALHO..... | 199 |
| TABELA 39 – CUSTOS RELATIVOS À INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR + CALDEIRA A LENHA COMO <i>BACKUP</i> | 206 |
| TABELA 40 – CUSTOS RELATIVOS À INSTALAÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL..... | 206 |
| TABELA 41 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA ELÉTRICA X CALDEIRA DIESEL)..... | 207 |
| TABELA 42 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA ELÉTRICA X CALDEIRA A GLP)..... | 207 |
| TABELA 43 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA ELÉTRICA X CALDEIRA A LENHA)..... | 208 |
| TABELA 44 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A DIESEL X CALDEIRA ELÉTRICA)..... | 208 |
| TABELA 45 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A DIESEL X CALDEIRA A ÓLEO DIESEL)..... | 208 |
| TABELA 46 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A DIESEL X CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL)..... | 209 |
| TABELA 47 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A DIESEL X CALDEIRA A GÁS NATURAL)..... | 209 |
| TABELA 48 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A DIESEL X CALDEIRA A GLP)..... | 209 |
| TABELA 49 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A DIESEL X CALDEIRA A LENHA)..... | 210 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 50 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL X CALDEIRA ELÉTRICA) | 210 |
| TABELA 51 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL X CALDEIRA A DIESEL) | 210 |
| TABELA 52 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL X CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL) | 211 |
| TABELA 53 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL X CALDEIRA A GÁS NATURAL) | 211 |
| TABELA 54 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL X CALDEIRA A GLP) | 211 |
| TABELA 55 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL X CALDEIRA A LENHA) | 212 |
| TABELA 56 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GÁS NATURAL X CALDEIRA ELÉTRICA) | 212 |
| TABELA 57 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GÁS NATURAL X CALDEIRA A DIESEL) | 212 |
| TABELA 58 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GÁS NATURAL X CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL) | 213 |
| TABELA 59 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GÁS NATURAL X CALDEIRA A GÁS NATURAL) | 213 |
| TABELA 60 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GÁS NATURAL X CALDEIRA A GLP) | 213 |
| TABELA 61 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GÁS NATURAL X CALDEIRA A LENHA) | 214 |
| TABELA 62 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GLP X CALDEIRA ELÉTRICA) | 214 |
| TABELA 63 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GLP X CALDEIRA A DIESEL) | 214 |
| TABELA 64 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GLP X CALDEIRA A ÓLEO COMBUSTÍVEL) | 215 |
| TABELA 65 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GLP X CALDEIRA GÁS NATURAL) | 215 |
| TABELA 66 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GLP X CALDEIRA A GLP) | 215 |
| TABELA 67 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A GLP X CALDEIRA A LENHA) | 216 |
| TABELA 68 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A LENHA X CALDEIRA ELÉTRICA) | 216 |
| TABELA 69 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A LENHA X CALDEIRA A DIESEL) | 216 |
| TABELA 70 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A LENHA X CALDEIRA ÓLEO COMBUSTÍVEL) | 217 |
| TABELA 71 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A LENHA X CALDEIRA A GÁS NATURAL) | 217 |
| TABELA 72 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A LENHA X CALDEIRA A GLP) | 217 |
| TABELA 73 – GASTOS COM COMBUSTÍVEL (SOLAR + CALDEIRA A LENHA X CALDEIRA A LENHA) | 218 |
| TABELA 74 – COMPRIMENTOS EQUIVALENTES PARA TUBULAÇÃO DE FERRO GALVANIZADO RETILÍNEA EM METROS. | 222 |
| TABELA 75 – COMPRIMENTOS EQUIVALENTES PARA TUBULAÇÃO DE PVC RÍGIDO OU COBRE EM METROS. | 222 |
| TABELA 76 – TABELA COM VALORES L/D. | 223 |
| TABELA 77 – PCI DOS COMBUSTÍVEIS E O SEU PREÇO POR UNIDADE. (15/01/2005) | 224 |
| TABELA 78 – TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA PRATICADAS EM MINAS GERAIS EM FUNÇÃO DO CONSUMO E DOS CONSUMIDORES RESIDENCIAIS E RESIDENCIAIS DE BAIXA RENDA. (15/01/2005) | 224 |
| TABELA 79 – VALOR DO GÁS NATURAL EM FUNÇÃO DO CONSUMO – FONTE GASMIG (15/01/2005) | 225 |
| TABELA 80 – COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DOS GASES NATURAIS EM % | 226 |
| TABELA 81 – PODERES CALORÍFICOS DOS GASES COMBUSTÍVEIS. | 226 |
| TABELA 82 – DENSIDADE DOS GASES COMBUSTÍVEIS. | 227 |
| TABELA 83 – REAÇÕES DA COMBUSTÃO ESTEQUIOMÉTRICA | 228 |
| TABELA 84 – DENSIDADE DOS GASES COMBUSTÍVEIS. | 228 |
| TABELA 85 – CALDEIRAS ECAL | 230 |
| TABELA 86 – GERADORA DE ÁGUA QUENTE VERTICAL. | 232 |
| TABELA 87 – GERADORA DE ÁGUA QUENTE HORIZONTAL. | 233 |
| TABELA 88 – RESERVATÓRIO TÉRMICO JMS. | 233 |
| TABELA 89 – FABRICANTES ASSOCIADOS À ABRAVA E PARTICIPANTES DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. | 234 |
| TABELA 90 – DADOS DOS COLETORES SOLARES UTILIZADOS NA PLANILHA DE CÁLCULO. | 235 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANSI – *American National Standards Institute* (Instituto Nacional Americano de Padronização),

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigeration and air Conditionig Engineers.*

Abrava – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento.

BEN – Balanço Energético Nacional

CDEA – *Canadian District Energy Association*

CDHC – *Committee on District Heating and Cooling – USA.*

Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais S.A.

Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CSP – Coletor solar plano.

CSPA – Coletor solar plano aberto.

CSPF – Coletor solar plano fechado.

CSTE – Coletor solar de tubos evacuados.

DIN – Deutsches Institut für Normung.

Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

EPA– *Enviromental Protection Agency – USA.*

Green – Grupo de Estudos em Energia, da PUC Minas.

GT–SOL – Grupo de Trabalho em Energia Solar.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Idea – *International District Energy Association.*

IEA – *International Energy Agency.*

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

MME – Ministério de Minas e Energia.

PCH – Pequenas Centrais Hidroelétricas

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio.

Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

PUC Minas – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Siedi – Sistema de Energia Distrital.

Siadi – Sistema de Aquecimento Distrital.

SMHB–BH – Secretaria Municipal de Habitação, Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.

TRNSYS – *Transient System Simulation Program*.

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais.

UNEP – *United Nations Environment Program*.

UHC – Hidrocarboneto não queimado.

Vsd – Acionamentos de velocidade variável.

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras Latinas

A: área

C: coeficiente de descarga [L/s]

C_p : calor específico à pressão constante [kJ/kg°C]

C_n : consumo de combustível

d: diâmetro [m]

E: energia

FC: fluxo de caixa

F_R : fator de remoção do coletor solar

g: aceleração da gravidade [m/s²]

G_{SC} : constante solar [W/m²]

G: radiação solar [W/m²]

h_f : número de horas de funcionamento do equipamento em questão

h: coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m²K]

h_{est} : altitude da estação meteorológica de referência [km]

H: radiação solar global diária

\overline{H} : radiação solar global diária média mensal em superfície horizontal

\overline{H}_c : radiação solar global diária média mensal, para condições de céu claro, na localidade e mês em questão

H_{ced} : energia cedida a cada unidade de massa de fluido que atravessa a bomba;

\overline{H}_o : radiação extraterrestre incidente em uma superfície horizontal

H_d : radiação solar difusa diária

\overline{H}_d : radiação solar difusa em média mensal

H_{man} : altura manométrica

i: taxa de juros

I: a radiação global horária [W/m²]

I_d : representa a radiação difusa horária [W/m²]

I_T : radiação solar global horária no plano inclinado [W/m²]

$I_{T,b}$: radiação solar direta horária na superfície horizontal [W/m²]

$I_{T,d,iso}$: radiação solar difusa parte isotrópica [W/m²]

$I_{T,d,cs}$: radiação solar difusa circunsolar [W/m²]

$I_{T,d,hz}$: radiação solar difusa banda do horizonte [W/m²]

$I_{T,refl}$: radiação solar refletida da vizinhança [W/m²]

J: juros no fim de um período financeiro

K: condutividade térmica do material [W/m.K]

K_T : índice de claridade

L: comprimento da seção [m]

L_{dia} : consumo diário de energia [kJ/dia]

L_i : consumo mensal de energia [kJ/mês]

N: número de períodos

\overline{n} : número de horas de insolação diária em média mensal

\overline{N} : número teórico de horas de insolação diária em média mensal

m: massa [kg]

m_1 : massa de fluido que atravessa o volume de controle 1 [kg/s]

m_2 : massa de fluido que atravessa o volume de controle 2 [kg/s]

N_{aci} : potência necessária ao acionamento da bomba
 P : capital inicial [R\$]
 q'' : taxa de transferência de calor por unidade de área [W/m²]
 q_{vaz} : volume de recirculação e vazamento pelo estojo de gaxetas da bomba [m³/s]
 Q : quantidade de calor transferido [W]
 Q_{RT} : perda de calor do reservatório
 R_{cont} : resistência térmica de contato
 R : valor da prestação
 R_b : razão entre os cossenos do ângulo de incidência da radiação solar direta e do ângulo zenital
 r_i : razão entre a radiação solar horária e diária
 S : radiação solar absorvida pela placa coletora [W/m²]
 T : temperatura [°C]
 T_f : temperatura da água no final do período de resfriamento [°C]
 T_i : temperatura da água no início do período de resfriamento [°C]
 T_{∞} : temperatura do fluido de trabalho [°C]
 U_s : coeficiente de perda de calor [W/°C]
 v : velocidade [m/s]
 V : volume da água que será aquecida [m³]
 V_z : vazão [l/s]
 V_{pl} : valor presente líquido [R\$]
 Z : posição [m]
 W : distância entre os tubos do coletor solar

Letras Gregas

α_p : absortividade da placa coletora [adimensional]
 α_s : ângulo de altitude solar [°]
 β : ângulo de inclinação da superfície do coletor solar [°]
 ΔH : perda de carga [m]
 ΔH_{Bomba} : energia dissipada no interior da bomba devido a seu acabamento superficial
 ΔN_{dis} : potência dissipada em atrito no estojo de gaxetas, nos mancais e / ou rolamentos da bomba
 Δt : intervalo de tempo [s]
 ϵ : rugosidade absoluta [mm]
 δ : declinação solar [°]
 ϕ : latitude [°]
 γ : ângulo azimutal de superfície [°]
 γ_s : ângulo de azimute solar [°]
 γ_s^* : pseudo-ângulo de azimute solar [°]
 η : rendimento [adimensional]
 φ : ângulo de altitude solar [°]
 ν : viscosidade cinemática [m²/s]
 μ : viscosidade dinâmica [centistokes]
 θ : ângulo de incidência da radiação solar direta [°]
 θ_z : ângulo zenital [°]
 ρ : massa específica (densidade) da água [kg/m³]

ρ_g : refletância da vizinhança para radiação difusa [adimensional]

τ_c : transmissividade da cobertura do coletor solar [adimensional]

ω : ângulo horário [°]

ω_s : ângulo horário do pôr e do nascer do Sol [°]

Subscritos

1: seção de corte transversal analisada, estado termodinâmico de um fluido

2: seção de corte transversal analisada, estado termodinâmico de um fluido

a: aspiração

amb: ambiente

base: base do coletor solar

B: *Bean* – direta

b: banho

c: cinética

cont: contato

D: difusa

dist: distribuída

e, ent: entrada

ext: externa

H: hidráulica

i: interno

loc: localizada

lat: lateral do coletor solar

M: mecânica

max: máximo

men: mensal

p: potencial

pa: placa absorvedora

per: perdas

r: recalque

sup: superfície

s, sai: saída

sist: Sistema

ta: total de aspiração

topo: topo do coletor solar

tot: total

tota: total de aspiração

totr: total de recalque

tr: transparente

u: útil

viz: vizinhança

v: volumétrico

vc: volume de controle

RESUMO

Esse trabalho desenvolveu uma metodologia e um software implementado em Excel que permitirão a avaliação de projetos de sistemas distritais de aquecimento. Para a elaboração da metodologia foram selecionados os suprimentos de energia: óleo combustível, óleo diesel, gás natural, gás liquefeito de petróleo-GLP, biomassa, energia elétrica, energia solar. O software foi aplicado a um estudo de caso na cidade de Belo Horizonte, no qual foram avaliadas características técnicas, econômicas e ambientais. Avaliando-se mais detidamente os cálculos da vila selecionada (Granja de Freitas IV), o estudo de caso, observou-se que existe um número de famílias, cerca de 260, para as quais o sistema de aquecimento solar distrital torna-se mais competitivo do que a solução de aquecimento solar individual. A aplicação permitiu fazer análises comparativas entre as tecnologias de conversão tradicionais e os coletores solares térmicos. Em todas as simulações realizadas verificou-se que a tecnologia de aquecimento solar aliada à uma tecnologia de conversão tradicional foi em média 25% mais econômica do que somente a tecnologia tradicional. Dentre os energéticos estudados destaca-se a lenha como sendo a melhor solução do ponto de vista financeiro e como *backup* do sistema de aquecimento solar. Teve também papel de destaque o GLP em função de seu custo reduzido e de seu elevado poder de queima frente a alguns dos outros energéticos. Avaliando-se mais detidamente os custos de instalação do projeto verifica-se a importância da simulação de diversos energéticos, pois em algumas situações a diferença do custo capital das duas instalações é pago em somente um ano.

ABSTRACT

This work developed a methodology and a software implemented in Excel that permit the evaluation of district heating systems projects. For the development of the methodology were selected the following supplies of energy: fuel oil, diesel oil, natural gas, liquefied petroleum gas, LPG, heat, electricity, solar energy. The software was applied to a case study in the city of Belo Horizonte, which were assessed technical characteristics, economic and environmental. Evaluating it more closely the calculations of selected village (Granja de Freitas IV), the case study, it was observed that a number of families, about 260, for which the solar district heating system becomes more competitive than the solution of individual solar heating. The application permitted comparative analysis between the traditional conversion technologies and solar thermal collectors. In all simulations carried out it was possible verify that the solar heating technology combined with a traditional conversion system was on average 25% more economical than only the traditional technology. Among the studied energy supplies, wood is the best solution from a financial perspective and as a backup of solar heating system. Also had a important role GLP due to its low cost and high burning power in comparison of some other energy. Evaluating it more closely the installation costs, became clear the importance of simulate of different energy scenarios, because in some situations the difference in capital cost of the two facilities is paid in only one year.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da humanidade neste século será o de conseguir aproveitar, da melhor forma possível, as fontes de energia disponíveis. Diversas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para diversificar a matriz energética brasileira. Dentre as alternativas destacam-se: a utilização de biomassa, geração de energia a partir de resíduos de lixo e óleos vegetais, PCHs (pequenas centrais hidrelétricas), MCHs (mini e micro centrais hidrelétricas), energia eólica, energia das ondas, energia solar fotovoltaica e energia solar térmica.

O Balanço Energético Nacional 2005, (BEN – 2005 MME), mostra que o setor residencial é responsável por 22,2% do consumo total de energia elétrica no Brasil. No setor residencial, o aquecimento de água participa com 26%. Então, cerca de 6 % de toda energia elétrica consumida no Brasil são utilizados para aquecimento de água, principalmente para o banho. Além da energia atualmente necessária, o Brasil tem, de acordo com o Ministério das Cidades, um déficit habitacional estimado em 6,6 milhões de moradias, Tokarski (2003).

De posse de dados disponíveis no Procel (Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica da Eletrobrás) advindos de suas tradicionais "Pesquisas de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo" (Eletropaulo, 1997), e associando esses dados às informações constantes do PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – período 1996/1997 – realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE) podem ser tiradas as seguintes informações:

“O Brasil tem hoje 27.300.000 casas com chuveiros elétricos. Considera-se que uma família por casa e 3,6 membros por família, duração média por banho de 8 minutos e potência média anual por chuveiro de 4kW. Admite-se, ainda, que todas as novas usinas termoelétricas serão acionadas com gás natural. Neste quadro, os banhos tomados por estas famílias serão responsáveis por uma crescente emissão, iniciando pelo horário de pico, gerando 4.900.000 toneladas/ano de CO₂, ampliando-se após alguns anos para 11.470.000 toneladas/ano de CO₂, quando as usinas termoelétricas estarão complementando permanentemente a energia fornecida pelas usinas hidroelétricas”.

Tendo em vista o atual déficit habitacional e ao se considerar que, no futuro, em princípio, a grande maioria das novas residências continuará a usar o chuveiro elétrico para aquecer a

água do banho, pode-se ter a correta dimensão do volume de investimento necessário para expandir o parque gerador nacional e garantir o consumo de energia elétrica no horário de pico.

As atuais tecnologias em uso na matriz energética terão dificuldades em alcançar a produção de eletricidade exigida em um futuro próximo, pois a demanda tem crescido com velocidade maior do que a oferta de energia e os investimentos no setor não ocorrem de forma significativa desde 2000.

Durante a década de 1990, o setor energético nacional passou por uma reformulação impulsionada por diversos motivos, destacando-se dentre eles:

- a necessidade de garantir a expansão do sistema energético, com especial ênfase na geração de energia elétrica;
- diversificação da matriz energética brasileira, dependente da hidroeletricidade e de derivados de petróleo, por meio da utilização do gás natural;
- garantir a qualidade do serviço de energia;
- aumentar a eficiência na gestão das empresas de energia;
- difundir a rede de fornecimento dos serviços de energia. (Sabe-se que cerca de 7% dos lares brasileiros não têm energia elétrica.)

Em especial duas das diretivas governamentais afetaram o mercado de gás na década de 1990. A primeira delas foi a reestruturação do setor energético, com a criação de agências reguladoras e as políticas de regulamentação, com ênfase na abertura dos setores de geração, comercialização, transmissão (eletricidade) e transporte (gás) a novas empresas. A segunda diretiva diz respeito à diversificação da matriz energética brasileira, baseada na expansão da oferta de gás natural, vindo principalmente através do gasoduto Brasil-Bolívia, mas também por meio de maior aproveitamento da produção nacional de gás. Devido à falta de clareza na regulamentação tarifária, estagnação econômica e dificuldade na obtenção da licença ambiental por parte dos empresários interessados na construção de termoelétricas a gás natural, o número de termoelétricas instaladas ficou muito aquém da previsão original.

De acordo com Correia (2004), o Ministério de Minas e Energia – MME prevê um aumento de 3% ao ano na demanda de energia (em um cenário mais contido), correspondente a um crescimento médio de 2,5% no Produto Interno Bruto (PIB) até o final da década. Seriam necessários investimentos da ordem de R\$ 15 bilhões no setor, ao longo de 5 anos, para atender a esse incremento no consumo de energia gerado pelo aquecimento da economia. Segundo o MME, cerca de 70% desse montante seria consumido por projetos de geração.

O governo federal, em 11 de dezembro de 2003, editou a Medida Provisória nº 144, convertida posteriormente na Lei nº 10.848, de 2004, com o objetivo de “definir um marco regulatório claro, estável e transparente para o setor elétrico que possibilite a efetiva garantia do suprimento para o mercado, a expansão permanente das atividades intrínsecas ao setor (geração, transmissão e distribuição), vinculada à segurança e à busca da justa remuneração para os investimentos, e a universalização do acesso e do uso dos serviços, além da modicidade tarifária, em um horizonte de curto, médio e longo prazos”. (MME, 2003) Apesar do aceno do governo em manter a política de ampliação da utilização de gás natural, é importante que se continue avançando no desenvolvimento de alternativas para diversificação da matriz energética brasileira.

O uso da energia solar com o objetivo de aquecimento de água utilizando coletores solares vem sendo pesquisado desde a década de 1970, impulsionado sobretudo pela primeira crise do petróleo. Nos primeiros anos de sua utilização no país, existia grande dose de empirismo e pouca capacidade técnica. Atualmente, diversas empresas atuam no mercado com alto grau de profissionalismo. Pode-se dizer, então, que a tecnologia de projeto e construção de instalações solares térmicas é, hoje, uma tecnologia já dominada. Da área coletora atualmente instalada no país, cerca de 8% são em residências multifamiliares (edifícios) e pelo menos 80% são destinados a residências unifamiliares. (Faria, 2004) A parcela de grandes instalações solares no país é atualmente pouco representativa.

O aquecimento distrital solar é uma das novas tecnologias utilizadas para o fornecimento de energia térmica, já vitoriosa em diversos países da Europa e que pode ser aplicada no Brasil, em conjuntos habitacionais, vilas e favelas, indústrias e centros comerciais, para suprir a necessidade de água quente, refrigeração e reduzir investimentos em geração de energia elétrica. Os sistemas de aquecimento de energia distrital possibilitam a geração de

vapor, água quente ou fria em um sistema central, que bombeia o fluido de trabalho através de uma tubulação específica para distribuição a um conjunto de edifícios e / ou casas.

1.1 – OBJETIVOS

Diante do acima exposto, principalmente do pouco uso de instalações solares térmicas de grande porte no Brasil, identificou-se a necessidade de investigar a viabilidade técnica e econômica de tais instalações. Para isto julgou-se importante desenvolver uma metodologia simples que facilitasse e agilizasse a seleção de tecnologias feitas por engenheiros e arquitetos visando a racionalização de equipamentos e ao uso de recursos financeiros para a elaboração de projetos de sistemas de aquecimento distrital de água.

O presente trabalho tem por objetivos:

- estabelecer um modelo e uma metodologia para avaliar a implantação de sistemas distritais de aquecimento de água de grande porte, em particular de sistemas solares térmicos, sob os pontos de vista técnico, econômico e ambiental;
- elaborar um software simples para avaliação comparativa de sistemas de aquecimento distrital solar de grande porte e outros sistemas de aquecimento (gás natural, eletricidade, biomassa, óleo combustível e diesel);
- aplicar o modelo e a metodologia propostos a um estudo de caso visando sua respectiva validação.

1.2 – JUSTIFICATIVA

Apesar de a tecnologia de aquecimento solar ser de simples utilização, os cálculos necessários para se projetar uma instalação de grande porte são, em geral, complexos. Assim, torna-se necessária uma ferramenta de dimensionamento e análise para subsidiar a tomada de decisões. Alguns softwares e planilhas eletrônicas estão disponíveis, seja comercialmente, em universidades ou por meio de organizações não governamentais. Entretanto, poucos desses softwares são adequados para as características geográficas do Brasil, o tamanho das instalações e os tipos de coletores aqui utilizados. Muitas vezes, estes softwares são demasiadamente técnicos e demandam muito conhecimento de informática para que seja possível simular a operação de instalações solares térmicas.

Dentre os internacionais podem ser mencionados TRNSYS (<http://sel.me.wisc.edu/trnsys>) e WATTSUN (<http://www.energy.wsu.edu>).

Dentre os nacionais, cita-se o SISCOS¹, que trabalha com sistemas de termossifão, médio e de grande porte. Com relação ao aquecimento distrital, não se tem conhecimento de nenhum software que possibilite a análise deste tipo de instalação. Alguns softwares estrangeiros desenvolvidos em universidades permitem análises de partes do processo, como, por exemplo, a distribuição da tubulação de aquecimento.

De acordo com Pereira (2003), Faria (2004), e informações disponíveis no portal da ABRAVA – Associação Brasileira de Ar-condicionado Ventilação e Aquecimento, a utilização de sistemas de aquecimento solar no Brasil vem crescendo em virtude de diversos fatores, tais como:

- a manutenção do sistema e o controle de desempenho da instalação são simples e concentradas em áreas relativamente próximas à instalação;
- permite a postergação de investimentos em geração de energia elétrica;
- tendo em vista somente os gastos a partir da porta do usuário, ficam de fora os gastos das concessionárias de energia com equipamentos de infra-estrutura elétrica e de manutenção do próprio sistema elétrico.
- a possibilidade de inauguração de uma nova gama de serviços fornecidos por empresas de serviços de energia;
- o usuário pagaria uma tarifa mais barata por um serviço mais completo. O usuário pagaria pelo consumo da água quente ao invés de pagar pelo consumo da água e do energético utilizado para aquecê-la;
- a economia gerada, quando comparada à utilização de energia elétrica e chuveiro, varia em média entre 20 e 35% do total da conta de energia, o que representa um potencial de melhora do nível de vida para famílias de baixa renda;
- racionamento de energia ocorrido recentemente;
- aumento das tarifas de energia elétrica acima da inflação;
- a oferta de melhores produtos ao mercado devido à pesquisa tecnológica de produtos e acessórios e ao Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE do Inmetro;

¹ O software SISCOS versão 3.0 foi desenvolvido pelo Green com o apoio da Paiva Piovesan e financiado pela Fapemig (TEC1315) – www.Green.pucminas.br

- redução no custos dos coletores solares térmicos;
- uma das grandes vantagens da utilização da energia solar térmica é o fato de que ela diminui a necessidade de utilização de tecnologias mais poluentes, como caldeiras a diesel e queima de lenha.

A criação de procedimentos para avaliação de diferentes opções de instalações para aquecimento de água distrital permitirá a futuros engenheiros e arquitetos a escolha otimizada do sistema de aquecimento distrital mais adequado. Acredita-se que a inexistência de ferramentas para tais estudos tenha dificultado a penetração dos sistemas de grande porte baseados em tecnologias de aquecimento solar no Brasil. O estudo, objeto desta dissertação, pode vir a preencher esta lacuna.

1.3 – CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS

A organização deste trabalho está realizada da seguinte maneira:

No capítulo 2, são apresentados os sistemas de aquecimento distrital, o estado da arte e a utilização do aquecimento distrital de água no mundo e no Brasil.

No capítulo 3, é descrita a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho e do software.

No capítulo 4, são apresentados os suprimentos de energia mais comumente utilizados nos sistemas de aquecimento distrital.

No capítulo 5, são descritos os componentes de um sistema de aquecimento distrital, geradores de vapor, aquecedores de água, coletores solares térmicos, sistema de distribuição e bombeamento e os demais equipamentos constituintes de um sistema de aquecimento distrital.

O capítulo 6 traz uma proposição de modelo de sistema de aquecimento de água distrital para o Brasil, apresentando combustíveis e equipamentos que poderiam ser utilizados em uma instalação deste porte e mostra passo a passo como deve ser feito o dimensionamento do sistema de aquecimento proposto, manualmente e com uso da planilha de cálculo produzida.

No capítulo 7, é apresentado o estudo de caso do conjunto habitacional Granja de Freitas IV, aplicando-se o modelo e a metodologia desenvolvidos.

No capítulo 9, apresentam-se as conclusões sobre os resultados obtidos, comentários e recomendações.

No apêndices A, são apresentados fundamentos teóricos ligados aos cálculos necessários para modelar o sistema de aquecimento de água distrital.

No apêndice B é apresentado um breve relato sobre o aquecimento solar no Brasil

O apêndice C é um complemento do capítulo 5, pois descreve com mais detalhes alguns dos equipamentos constituintes de um sistema de aquecimento distrital.

No apêndice D é apresentada a metodologia de determinação da demanda diária de água quente, o dimensionamento da tubulação o cálculo de perda de carga e a seleção do equipamento de bombeamento.

Finalmente, no apêndice E são relacionados dados, esquemas, planilhas e tabelas relacionadas ao estudo de caso

CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE AQUECIMENTO DISTRITAL

Um sistema de aquecimento distrital pode ser descrito como um sistema responsável pela distribuição de energia térmica (água quente, vapor de água, água fria) fornecido por uma central transformadora de energia (usina de energia), para atender a diversas demandas térmicas de residências e instalações comerciais ou industriais. Dentre estas necessidades encontram-se: o aquecimento / refrigeração para manutenção do ambiente dentro de uma zona de conforto, necessidades domésticas de água quente (chuveiros e torneiras, banho e fins sanitários); calor e frio para processos industriais.

O aquecimento distrital de água teve sua primeira utilização no tempo dos banhos da Roma antiga. As técnicas desenvolvidas foram fundamentais para o desenvolvimento de peças e equipamentos utilizados nos banhos e na distribuição de água. Suas invenções serviram de base para o desenvolvimento dos sistemas modernos.

Os sistemas distritais ganharam destaque na Europa durante a Renascença com um sistema operando na França, continuamente, desde o século XIV até os dias atuais. Mas umas das figuras de extrema importância para difundir a utilização do aquecimento distrital foi Sr. Birdsill Holly, um engenheiro hidráulico americano, que, em 1877, comercializou um sistema de aquecimento distrital em Lockport, Nova York. (UNIVERSITY OF ROCHESTER, 2003)

Sistemas de refrigeração distrital foram construídos no final do século XIX com a evolução dos equipamentos de refrigeração e controle. Desde então, mais de mil cidades espalhadas ao redor do mundo possuem sistemas de aquecimento / refrigeração distrital que foram construídos utilizando as mais diversas tecnologias em busca de uma maior eficiência e melhor relação custo-benefício.

2.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AQUECIMENTO DE ÁGUA DISTRITAL

Entre as vantagens na utilização de sistemas de grande porte para aquecimento de água, incluem-se:

- o controle dos sistemas é centralizado; em geral é necessária somente uma moto-bomba;

- custo reduzido de instalação e manutenção, pois sistemas de grande porte são sempre acompanhados por operadores, que conseguem identificar problemas mais rapidamente;
 - geração de empregos localmente;
 - redução de investimentos em geração de energia elétrica;
 - número limitado de fontes de emissão quando comparado à sistemas de aquecimento descentralizado;
 - instalações de aquecimento de grande porte são mais capazes de incorporar equipamentos antipoluentes do que o consumidor final;
 - custo de investimento reduzido, quando comparado ao custo de instalação de sistemas de aquecimento individuais;
- no caso da energia solar térmica:
- os coletores podem substituir partes do telhado ou podem ser integrados a outros elementos construtivos;
 - economia de escala, pois no caso de instalações individuais seria necessário a compra de repetidos equipamentos, por exemplo os reservatórios térmicos que devem existir em toda instalação de aquecimento solar, e em um sistema centralizado seria necessário um número muito menor de reservatórios térmicos;
 - a razão custo / benefício de instalações de grande porte ($> 100/m^2$) é cerca de 40% menor do que a de sistemas descentralizados (Faria, 2004);
 - redução no volume de problemas relativos à inserção da tecnologia de aquecimento solar individual em residências já construídas,
 - redução na emissão de CO₂, no caso da energia solar térmica e de energia da biomassa.

Dentre as desvantagens incluem-se:

- custo de implantação elevado se comparado à instalação de chuveiros elétricos pois é preciso levar em consideração todos os custos ligados à instalação, inclusive o uso da terra (valor a ser pago por m² de terreno);
- falta de ferramentas (softwares) adequadas à realidade brasileira para cálculos de projetos;

- a pouca experiência de empresas brasileiras em obras de sistemas de aquecimento distrital.

No caso de sistemas que utilizem combustíveis fósseis podemos ainda enumerar as seguintes desvantagens:

- emissão de poluentes;
- maior risco operacional por operar com equipamentos que trabalham com temperaturas e pressões mais elevadas;
- necessidade de cuidados com o combustível, e de áreas adequadas para seu armazenamento;
- necessidade de pessoal especializado para operação e manutenção dos sistemas;

2.2 DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA DISTRITAL

Os elementos constituintes de um sistema de aquecimento distrital, ilustrados na Figura 1, podem ser divididos, para uma análise mais simplificada, em:

- *Usina de energia* – geração / conversão da energia. Conversão da energia eletromagnética da radiação solar em energia térmica e/ou transformação da energia química contida no gás natural, diesel, óleo combustível e biomassa em energia térmica, ou conversão da energia elétrica em energia térmica.
- *Distribuição* – é a rede de distribuição propriamente dita que deve ser dimensionada para ter o mínimo de perdas térmicas e custos operacionais.
- *Consumo* – equipamentos que permitem ao usuário utilizar a água diretamente ou através de equipamentos trocadores de calor para o ambiente.
- *Subestações*
 - de bombeamento
 - de troca de calor.

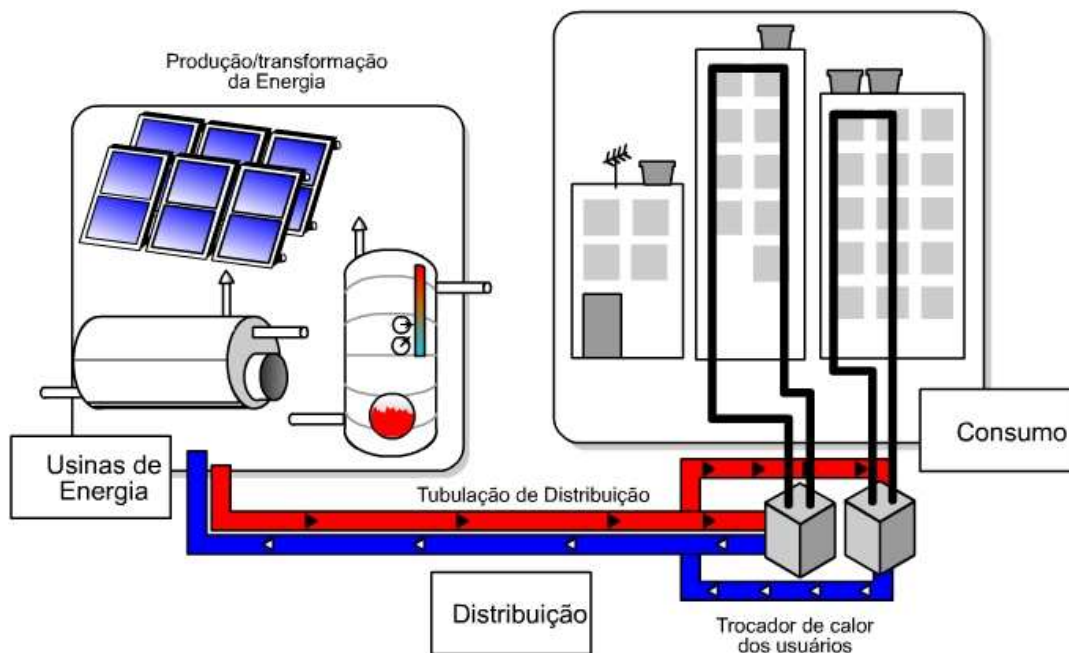


Figura 1 – Exemplo de uma instalação sistema de energia distrital.

Ilustração: Antônio Bosco Oliveira Júnior.

O *sistema de distribuição* pode ser classificado como direto ou indireto.

No *sistema direto*, a água aquecida não retorna à usina de energia, sendo utilizada para consumo. No *sistema indireto*, comumente utilizado nos Estados Unidos, Canadá e Europa, existem estações de bombeamento intermediárias e subestações de troca de calor localizadas próximas à unidade de consumo. A Figura 2 ilustra o funcionamento de uma subestação.

As subestações permitem que o sistema de distribuição primário utilize outros fluidos de trabalho além da água pura. Após a troca de calor, o fluido de trabalho retorna para a usina de energia para ser reaquecido e circular novamente. Nos locais mais frios, o fluido de trabalho normalmente é a água, acrescido de um anticongelante, como etileno-glicol. O usuário conta, então, com a possibilidade de aquecimento do ambiente e / ou da utilização da água quente para fins sanitários.

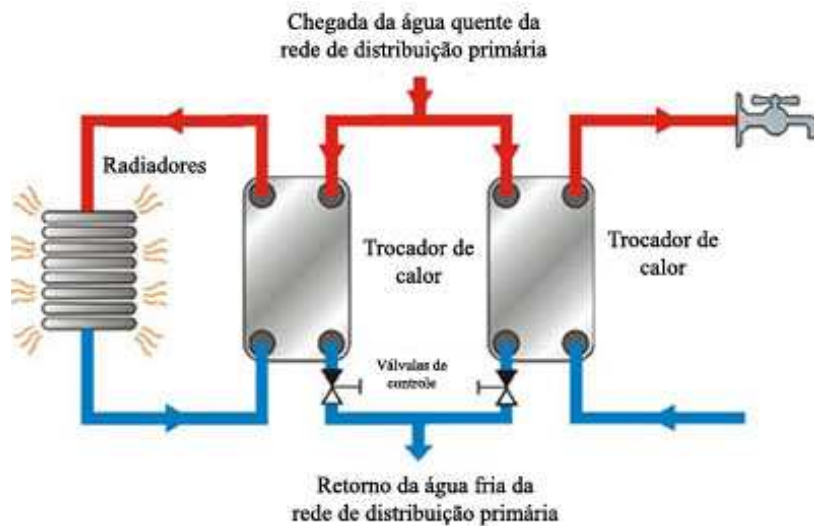


Figura 2 – Equipamentos constituintes de uma subestação de troca de calor.

Fonte: <<http://www.swep.net>>

Os sistemas de distribuição indireta são utilizados em sistemas de aquecimento distrital de grande porte, e apresentam como vantagem a possibilidade da rede de consumo trabalhar com uma pressão menor do que a da rede de distribuição, de modo que, havendo vazamentos, estes afetam apenas um trecho da distribuição e, não, sua totalidade.

Na década de 1970, os sistemas de aquecimento distrital utilizados na Europa eram dimensionados para operar com temperatura de fornecimento máxima de 120°C e temperatura de retorno entre 58–60°C, o que ocasionava um grande gasto de combustível e uma grande perda térmica durante o percurso. Através dos anos, as melhorias contínuas nos sistemas, nos materiais utilizados e o estabelecimento definitivo da utilização da eletrônica nos controles e sistemas de distribuição permitiram um aumento significativo na eficiência. De forma geral, esta eficiência pode ser traduzida como a razão entre a quantidade de calor utilizado no centro de consumo e a quantidade de energia fornecida na usina de energia. Então este aumento na eficiência se deve à diminuição das perdas e ao fato de se conseguir entregar uma maior quantidade de calor do que nos sistemas mais antigos. Os sistemas mais modernos já trabalham com temperaturas de fornecimento entre 70–80°C e temperatura de retorno entre 47–48°C; isto significou uma diminuição considerável na quantidade de combustível utilizado para o aquecimento do ambiente e da temperatura da água utilizada para banho.

Um antigo problema, já solucionado, estava ligado à questão do consumo: era difícil medir o consumo de energia, pois os equipamentos disponíveis no mercado apresentavam precisão de medida insuficiente e custo elevado.

Atualmente, as empresas que prestam o serviço de distribuição de água quente instalam medidores computadorizados em todos os grandes e médios consumidores, podendo-se acompanhar o seu consumo diariamente. Os dados dos medidores são enviados para centrais da empresa que presta o serviço de fornecimento através da rede telefônica ou por rádio.

No caso dos pequenos consumidores, a medição é feita através de um esquema similar ao da Cemig, que trabalha com estimativas de consumo e com leituras periódicas dos equipamentos que não possuem sistemas de telemetria. Cria-se, então, uma relação de confiança entre o cliente e o fornecedor do serviço, uma vez que todos os equipamentos de leitura são periodicamente avaliados e calibrados. A Figura 3 mostra uma usuária sendo instruída para utilização do sistema de leitura.



Figura 3 – Usuária sendo instruída a respeito do funcionamento do equipamento de medição.

Fonte: *Danish Board of District Heating* nº4/2002

Outra questão positiva em relação ao sistema de medida é que o fornecedor de energia pode avaliar o desempenho da rede de distribuição em vários pontos, podendo agir rapidamente para a solução de eventuais problemas.

Ainda na área de melhoria da eficiência, foi introduzido o uso de acionamentos de velocidade variável (Vsds) em motores elétricos para o controle de vazão e pressão na subestação de bombeamento. Este controle resulta em uma significativa economia de energia e redução de custos. O consumo de água varia consideravelmente durante o dia, levando as bombas a operarem freqüentemente em carga parcial. Por meio do controle de vazão e pressão das bombas por Vsds, as mesmas operarão com a máxima eficiência sob várias condições de vazão, levando em conta as reais necessidades do processo. De acordo com Widell (2002), uma bomba controlada por um Vsd e operando à metade de sua velocidade nominal, consome de 25 a 30 % menos energia quando comparada a uma bomba sem controle de velocidade. Vsds também atuam como partidas suaves (*soft starters*), reduzindo as tensões na rede, motores e bombas.

Algumas instalações de aquecimento distrital utilizam mais de um par de tubos para o fornecimento, em função das dimensões físicas da rede e do fornecimento de aquecimento e refrigeração em uma mesma estação do ano. A Figura 4 mostra a instalação da tubulação do sistema de aquecimento/resfriamento distrital na cidade de Barcelona, na Espanha.



Figura 4 – Vista da montagem da usina de energia de Barcelona.

Fonte: *Danish Board of District Heating* nº4/2003

Com a introdução de novas técnicas construtivas e novos equipamentos no setor de aquecimento distrital, as redes de distribuição puderam ser otimizadas em relação ao diâmetro das tubulações, traçado, temperatura e pressão de operação. A tubulação utilizada

é composta de aço, cobre ou material plástico resistente à temperatura e envolvida por uma camada de material isolante, normalmente o poliuretano, e uma camada protetora externa de borracha conforme ilustra a Figura 5.

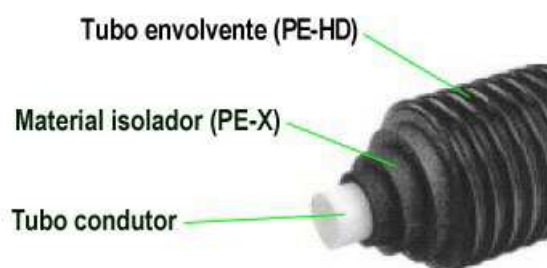


Figura 5 – Exemplo de tubulação utilizada em sistemas de aquecimento distrital.

Fonte: Danish Board of District Heating n°4/2003

Como, na maior parte das vezes, a tubulação trabalha enterrada, é importante garantir a estanqueidade, vazão otimizada e o isolamento da mesma, pois as perdas térmicas do fluido de trabalho podem chegar a 60%. (Arruda, 2004)

As estações de bombeamento, localizadas em pontos estratégicos da rede para que a pressão seja mantida em um nível pré-determinado, trabalham como concentradoras de informações, permitindo a verificação da qualidade do servido fornecido. As novas técnicas permitem facilmente expandir a rede de utilização, uma vez que o sistema não precisa ser desligado para que novos usuários possam utilizá-lo.

As usinas de energia podem utilizar combustíveis tradicionais, como carvão, óleo diesel e gás natural, mas também outros recursos disponíveis, tais com a energia da biomassa (lenha e biogás), energia solar, energia geotérmica, e também energia proveniente de sistemas de co-geração.

Sendo possível empregar uma grande gama de combustíveis nas caldeiras utilizadas nos sistemas de aquecimento, é importante conhecer as características térmicas dos equipamentos, e também o volume de emissões de poluentes atmosféricos e resíduos gerados por cada um desses combustíveis. Muitas vezes, a escolha de um tipo de combustível está ligada à sua disponibilidade na região de utilização de água quente. O gráfico da Figura 6 mostra a distribuição percentual dos combustíveis utilizados em

sistemas distritais em países membros da União Européia (UE). Dos 11% relativos às fontes renováveis de energia encontram-se os sistemas de aquecimento solar.

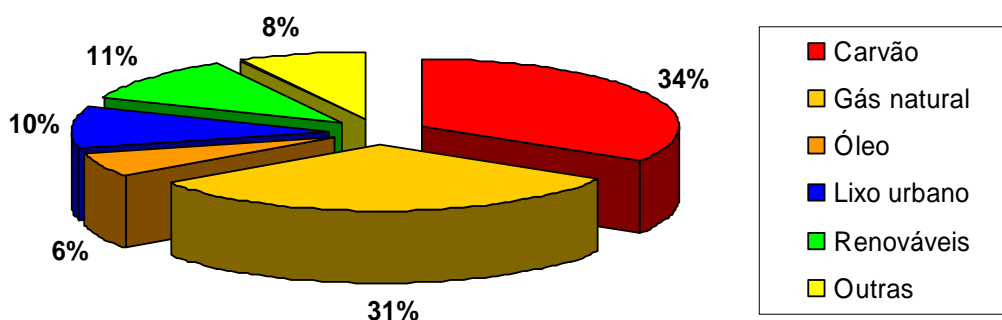


Figura 6 – Combustíveis utilizados em sistemas distritais com co-geração em países da UE.

Fonte: *District Heating across Europe trends from east to west*. Disponível em < <http://www.jxj.com> >.

Em relação ao componente reservatório, as configurações são inúmeras e estão muito ligadas à questão das dimensões da rede de distribuição e à tecnologia de distribuição utilizada. Alguns sistemas com tubulação de distribuição muito extensa não possuem grandes reservatórios, pois a própria tubulação funciona como tal: eles trabalham com pequenos reservatórios considerados os pulmões do sistema para o caso de uma demanda de pico. Os sistemas distritais de aquecimento solar necessitam de tanques para armazenamento da água aquecida durante o dia.

Nos países de invernos mais rigorosos, o sistema de aquecimento solar é utilizado durante as estações mais quentes como principal fonte de aquecimento de água, e no restante do ano ele é utilizado para pré-aquecimento da caldeira que irá atender a demanda nos meses mais frios. Um dos pontos positivos citados por Ulbejerg (2002), é que o investimento por moradia é três vezes menor do que o investimento somado de instalações de pequeno porte. Um sistema de aquecimento distrital utilizando coletores solares consiste em vários conjuntos de baterias de coletores conectadas, cuja circulação do fluido de trabalho é comandada eletronicamente (ver Figura 10).

2.3 – AQUECIMENTO DISTRITAL NO MUNDO

Nos sistemas distritais atualmente instalados no mundo, não é comum encontrar-se, aquecimento e refrigeração conjugados. Nos países de clima temperado, por exemplo, é

fornecido apenas o aquecimento. Somente mais recentemente os sistemas combinados de aquecimento/refrigeração distrital vêm se tornando mais utilizados, principalmente nos Estados Unidos, onde as temperaturas no verão podem chegar a 40° C.

Uma série de fatores permeia a escolha do sistema mais adequado. Dentre estes fatores podem ser citados: a característica da economia local, as condições climáticas, a topografia da região, os suprimentos de energia disponíveis na região e os benefícios fiscais para utilização de tecnologias menos poluentes.

2.3.1 – EUROPA

Atualmente, cerca de 40 % da energia primária gerada na União Européia (UE) são utilizados para aquecimento do ambiente e de água. Mais de 100 milhões de pessoas na Europa, excluindo-se a Rússia são atendidas por instalações de aquecimento distrital. A Figura 7 evidencia a participação do sistema de aquecimento distrital para alguns países europeus.

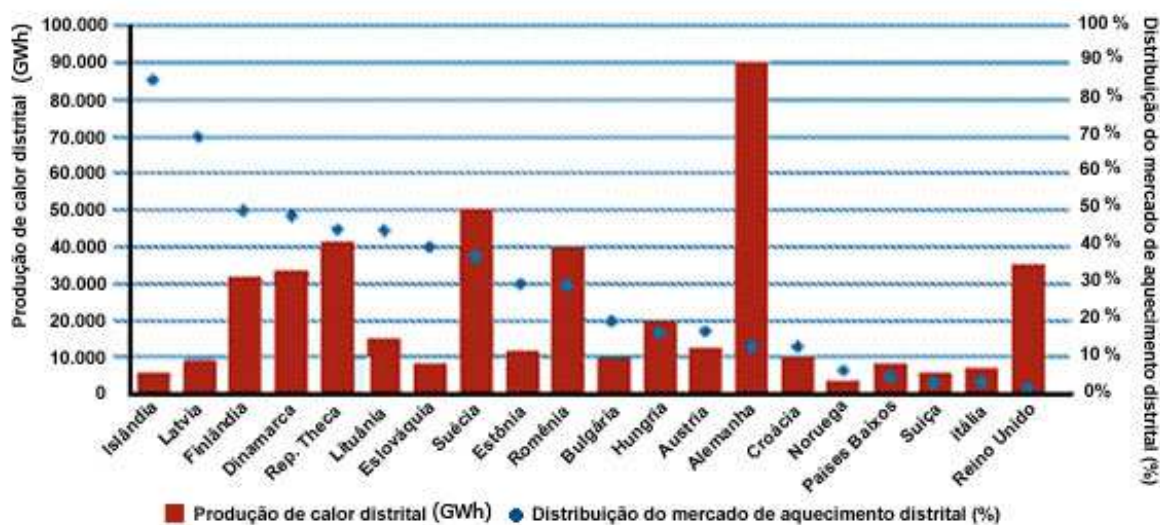


Figura 7 – Mercado Europeu de aquecimento distrital.

Fonte: *District Heating across Europe trends from east to west*. Disponível em < <http://www.jxj.com> >.

Na Alemanha, 79% do calor para aquecimento vêm de usinas de co-geração alimentadas em sua maioria por carvão (48%) e gás natural (28%). Existe um grande número de pequenas e grandes empresas que trabalham com fornecimento de calor através de instalações distritais. Cerca de 50% dessas empresas é de propriedade dos governos locais

e o restante de composições acionárias variadas. Apenas algumas instalações de aquecimento distrital alemãs utilizam coletores solares térmicos para suprir energia para uma pequena área, como é o caso de Friedrichshafen que possui um sistema que abastece 600 residências.

Apesar de não figurar no gráfico da Figura 7, a França possui uma rede de distribuição de vapor de cerca de 3.000 km com uma capacidade máxima de produção de calor de cerca de 20 GW. O setor de aquecimento distrital na França vem sendo penalizado devido aos baixos preços cobrados pelas companhias de gás e eletricidade, o que inviabiliza o crescimento da rede de aquecimento distrital, mesmo sendo uma opção menos poluente.

Também em Portugal, a rede combinada de aquecimento e refrigeração desenvolvida em 1998, é submetida a taxas mais elevadas do que fontes de gás e de eletricidade – apesar dos ganhos ambientais e sociais óbvios da utilização de um ciclo combinado de co-geração e de eletricidade contra a produção separada.

A retomada de investimentos em sistemas de aquecimento distrital ocorreu após a segunda guerra mundial, principalmente na Alemanha Oriental, Suécia e Dinamarca. O aumento do número de sistemas de aquecimento distrital na Europa Oriental ocorreu devido a diversos fatores econômicos e técnicos favoráveis ao seu crescimento. Um deles foi a possibilidade de mitigar os problemas relacionados à qualidade do ar nas grandes cidades. Outro importante acontecimento que impulsionou esse crescimento foi a crise do petróleo em 1970, o que moveu os países europeus na busca de soluções energéticas mais eficientes e que utilizassem outras fontes de energia, além do petróleo e seus derivados. A crise do petróleo ocasionou uma onda de concessões, empréstimos e subsídios para impulsionar a instalação de sistemas de aquecimento distrital. (CDHC, 1985)

De acordo com analistas internacionais citados por CDHC, (1985) seis são os fatores que promoveram a ampliação do número de sistemas de aquecimento distrital na Europa, nas últimas décadas:

- áreas urbanas com grande densidade populacional;
- invernos rigorosos;
- instalações com capacidade de suprir adequadamente calor e energia durante invernos prolongados.

- habilidade técnica de combinar sistemas de geração de eletricidade com sistemas de distribuição de água quente (sistemas de co-geração);
- fontes de energia alternativas baratas e próximas, como, por exemplo, a biomassa advinda de rejeitos industriais na forma de briquetes;
- preços do petróleo e do gás importado.

Em 2002, havia na Europa oito milhões de metros quadrados de coletores solares instalados, correspondendo a cerca de 4.000 MW térmicos, valor este da mesma ordem de grandeza da energia elétrica gerada por sistemas eólicos. Deste total, apenas 1% (em termos de área) corresponde a instalações de grande porte (instalações com mais de 500 m²).

Dentre as 51 instalações existentes na Europa 43 suprem energia para edifícios residenciais, ou seja cerca de 84 %. Dois terços dos sistemas citados acima são conectados a conjuntos de edifícios já existentes. A maior parte das instalações é projetada para cobrir a demanda de verão e tem os coletores solares integrados a telhados. A Figura 8 mostra instalações nas quais os coletores solares foram integrados aos telhados das casas / edifícios.



Figura 8 – Oederan – Alemanha (700m²), Saro – Suécia (740m²)

Fonte: Swedish Large-scale Solar Heating Plants. Disponível em <<http://main.hvac.chalmers.se/seas>>

Apesar de pouco utilizado nos sistemas de aquecimento distrital, as expectativas são de que a utilização de coletores solares cresça ainda mais em virtude dos incentivos dos governos locais, do crescimento da consciência ambiental em diversos países, da escassez dos recursos fósseis e do atual estágio de desenvolvimento das tecnologias de aquecimento

solar. O gráfico da Figura 9 mostra a evolução do mercado de aquecimento solar na União Européia até o ano de 2002.

De acordo com Faria (2004), a Iniciativa Soltherm, criada na Europa para consolidar uma rede de informação sobre o aquecimento solar tem, como principal objetivo dar uma contribuição importante à expansão do mercado de coletores solares na Europa e atingir a meta de 100 milhões de metros quadrados até 2010, o equivalente a sistemas de aquecimento solar para 20 milhões de residências. Segundo os coordenadores do programa a meta corresponde à redução de 25% das emissões de CO₂ no âmbito do compromisso dos países europeus com o Protocolo de Quioto.

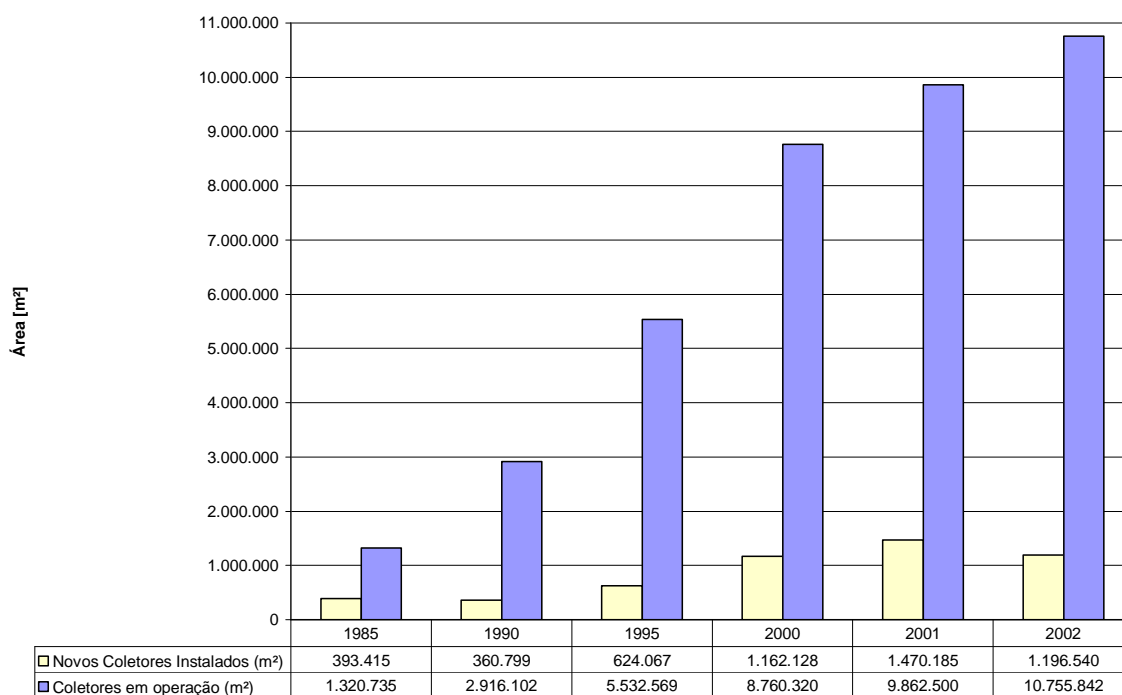


Figura 9 – Evolução do aquecimento solar na União Européia – 1985–2002

Fonte: Sun in Action

A Figura 10 mostra os 8.000 m² de coletores solares instalados em Marstal na Dinamarca. Este sistema substituiu nos meses quentes uma caldeira queimando biomassa. Atualmente, os coletores solares estão suprindo 15% da necessidade anual de energia; eles produzem 3.500 MWh (térmicos) por ano e a expectativa é de que o sistema seja ampliado para atender a 30 % da demanda total.



Figura 10 – Instalação de aquecimento distrital de Marstal 8000 m² na Dinamarca.

Fonte: *Danish Board of District Heating* n°3/2002.

2.3.2 – ESTADOS UNIDOS E CANADÁ

Nos Estados Unidos e Canadá, sistemas de aquecimento distrital vêm sendo utilizados desde o século XIX, como por exemplo, sistemas instalados no estado do Iowa. De acordo com CDHC (1985), provavelmente, o primeiro sistema de aquecimento distrital americano, foi desenvolvido por Benjamin Franklin na Filadélfia no final do século XVIII. O sistema desenvolvido por Franklin fornecia calor a várias residências próximas à fonte central de aquecimento.

O aquecimento distrital é utilizado nos grandes complexos como aeroportos, universidades, escolas, hospitais, grandes centros comerciais e em comunidades isoladas.

De acordo com dados disponíveis no portal do Departamento de Energia dos EUA, em 1989, um terço dos edifícios comerciais norte americanos (cerca 1,5 milhão) eram localizados em complexos comerciais. Entretanto, apenas 4% destes complexos comerciais possuíam um sistema centralizado de geração e distribuição de vapor / água quente. Cerca de 83% do aquecimento ambiente de escolas do segundo grau e universidades dos Estados Unidos é feito por sistemas de aquecimento distrital. O gráfico da Figura 11 mostra os combustíveis empregados nos sistemas de aquecimento distrital usados em universidades e escolas de segundo grau dos Estados Unidos. Observa-se que o suprimento de energia mais empregado é o gás natural (67%) e não se tem registro de utilização, em grande

escala, de combustíveis renováveis. Observa-se a pequena importância do suprimento de fonte renovável.

A distribuição de energia em sua maioria é feita através de tubulações subterrâneas de aço com o fluido de trabalho, em 74% dos casos, na forma de vapor. Em 79% dos hospitais o aquecimento é feito através de sistemas de aquecimento distrital. Nos Estados Unidos e Canadá o crescimento do número de sistemas foi motivado por fatores semelhantes aos apresentados para a Europa.

De acordo com CDHC (1985) a aprovação do *Public Utility Regulatory Policies Act* – PURPA – pelo congresso norte-americano em 1978 obrigou as concessionárias de energia elétrica à compra do excedente de energia produzida pelos produtores independentes. Esta medida assinalou para os pequenos produtores de energia a possibilidade de venda de seu excedente de energia e da comercialização da água quente como produto. As maiores beneficiadas pelo PURPA foram as usinas termoelétricas a gás natural, que passaram a ter um novo mercado a explorar com a implantação de plantas operando com sistema de co-geração. A figura 11 apresenta um exemplo dos suprimentos de energia nos diversos sistemas de aquecimento distrital nos EUA.

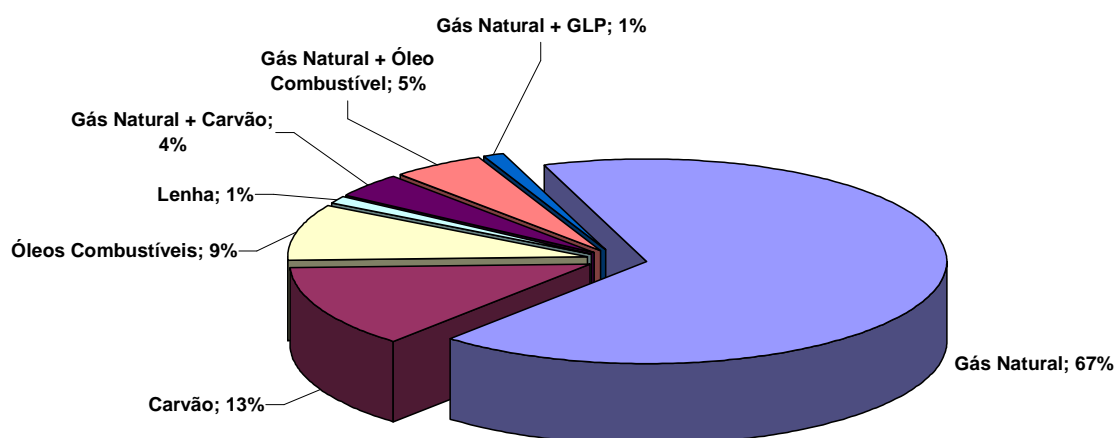


Figura 11 – Suprimentos de energia utilizados nos sistemas de aquecimento distrital em universidades e colégios nos Estados Unidos

Fonte: IDEA. Novembro 2002.

Acredita-se que o primeiro sistema de aquecimento distrital no Canadá foi instalado em 1880 em Londres, cidade homônima à capital inglesa. Este sistema atende a demanda de aquecimento de uma universidade, um hospital e de prédios do governo. Em 1911, a

Universidade de Toronto desenvolveu um sistema de aquecimento distrital que atende às suas necessidades. O primeiro sistema de aquecimento distrital comercial canadense foi construído em 1924 no centro da cidade de Winnipeg. Na década de 70, a estratégia de comercialização das empresas de fornecimento de gás encanado reduziram drasticamente os investimentos governamentais e de empresas em sistemas de aquecimento distrital, devido à capilaridade da rede de gás e do baixo custo de implantação dos sistemas de aquecimento individual a gás.

Em 1993 foi criada a *Canadian District Energy Association* – CDEA em reconhecimento à necessidade de um interlocutor comum para as empresas e os consumidores. Atualmente, a indústria de aquecimento distrital no Canadá tem dois objetivos: promover a fonte de energia ambientalmente mais correta e fornecer energia com um custo baixo aos consumidores. Com este foco, várias instalações de aquecimento distrital utilizando a queima de resíduos de lenha e gás de biodigestores estão sendo construídas.

Em um projeto pioneiro, a Empresa Enwave vem operando no Canadá, um sistema que utiliza o gradiente térmico do lago Ontário combinado com equipamentos tradicionais, elevando de maneira significativa a eficiência global do sistema (Figura 12).



Figura 12 – Captação de água no lago Ontário para utilização no sistema de refrigeração distrital / abastecimento de água de Toronto.

Fonte: *Enregy Company*. Disponível em <<http://www.enwave.com>>

De acordo com Faria (2004), o corte de incentivos federais norte-americanos na forma de créditos fiscais para o consumidor final e recursos para pesquisa e desenvolvimento ocorrido no ano de 1986 acarretaram uma queda abrupta na produção de coletores solares e, conseqüentemente, fechamento de indústrias fabricantes de equipamentos solares. Atualmente, o número de empresas fabricantes de equipamentos solares é de cerca de 29.

A partir de 1997 novas iniciativas governamentais tem ocorrido como a campanha “Million Solar Roofs”, que tem por objetivo a instalação de sistemas de energia solar, até o ano de 2010, em 1 milhão de telhados nos Estados Unidos incluindo dois tipos de tecnologia, a que utiliza painéis solares fotovoltaicos para geração de energia elétrica e a de coletores solares planos para aquecimento de água.

Apesar dos incentivos citados acima, os coletores solares térmicos não vêm sendo utilizados em sistemas de aquecimento distrital no Canadá e nos Estados Unidos. Nos Estados Unidos, 98% dos coletores solares instalados são para aquecimento de piscinas e não existe nenhum relato de sistema comercial operando com coletores solares térmicos.

2.4 – AQUECIMENTO DISTRITAL NO BRASIL

No Brasil, o conceito de distribuição distrital de água quente é pouquíssimo utilizado. As iniciativas de utilização são decorrentes de necessidades de clientes e até mesmo estéticas, pois alguns arquitetos e clientes acham que a instalação de coletores solares nos telhados ou mesmo nas proximidades de uma edificação tem um efeito negativo no conjunto arquitetônico.

No Espírito Santo, em um retiro chamado Maanaim, da Igreja Maranata, foi instalado um sistema de aquecimento solar que possui uma rede de distribuição de 2 km, dois reservatórios de armazenamento de 5.000 litros e uma área coletora de 99 m². As Figuras 13 a 15 mostram detalhes da instalação.



Figura 13 – Visão panorâmica baterias de coletores solares. Retiro Maanaim, ES.

Fonte: Acervo da Resolver Engenharia (2004)

A tubulação de distribuição utilizada é mista; em alguns trechos utilizou-se CPVC Aqualtherm – Tigre e em outros trechos tubos da Acqua System. Sua caracterização como

obra de aquecimento distrital se deve à distância da linha de distribuição até o consumo, cerca de 2 km.



Figura 14 – Painel de controle.
Fonte: Resolver Engenharia (2004)



Figura 15 – Detalhamento do sistema de distribuição.
Fonte: Resolver Engenharia (2004)

No painel de controle (Figura 14) encontram-se instrumentos para o acompanhamento das medições de temperatura do sistema, além de iluminação de alerta para detecção de falha em algum dos componentes. A Figura 15 mostra os aquecedores de passagem a GLP, que trabalham como reserva (*backup*) da instalação e, também, as bombas utilizadas.

Em uma central, que dista cerca de 2 km do local da instalação, fica o sistema de monitoramento mostrado na Figura 16.

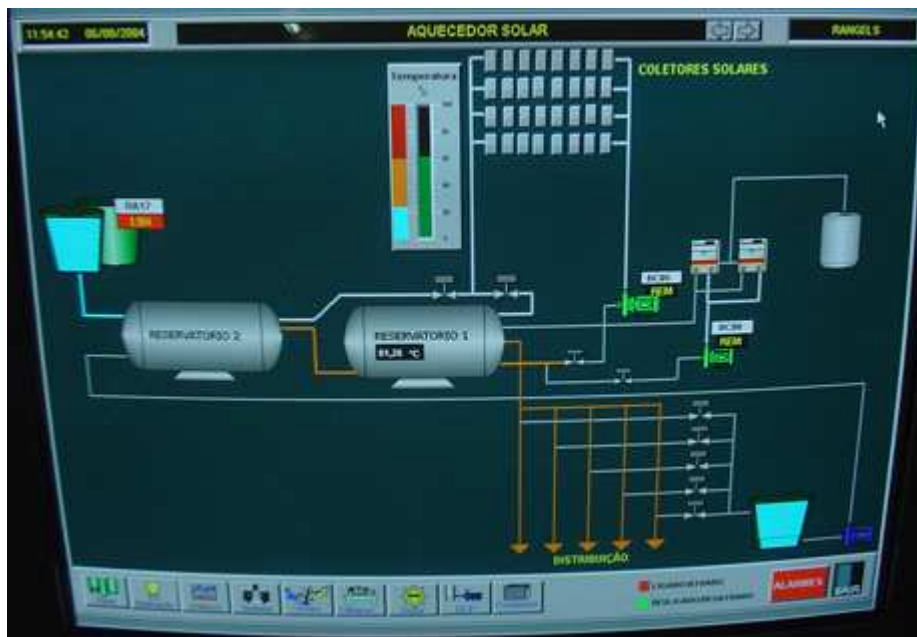


Figura 16 – Sistema de monitoramento e controle

Fonte: Resolver Engenharia (2004)

Em Arraial D’Ajuda, Bahia, existe uma instalação piloto de aquecimento distrital que utiliza aquecedores a GLP e um sistema de distribuição Acqua System semelhante ao mostrado na Figura 15.

Apesar deste tipo de instalação não ser amplamente utilizado até o momento no Brasil, a energia solar para fins de aquecimento vem sendo estudada e aplicada há várias décadas, conforme mostrado no Apêndice B

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

Procurando estabelecer uma metodologia a ser utilizada, foi realizada uma revisão bibliográfica de temas relacionados à mesma. Essa revisão foi iniciada durante a realização de disciplinas do Curso de Ciências e Técnicas Nucleares (CCTN), no Departamento de Engenharia Nuclear da Escola de Engenharia da UFMG, e complementada por estudos realizados no Green Solar – Grupo de Estudos em Energia Solar da PUC Minas. No CCTN foram realizados vários trabalhos de fim de curso que forneceram subsídios para esta dissertação, destacando-se o trabalho: Aquecimento Solar Distrital Utilizando Energia Solar Térmica, que foi o embrião da idéia do tema da dissertação.

A metodologia estabelecida para execução do trabalho constou das seguintes etapas:

1. Revisão bibliográfica sobre os temas relacionados ao aquecimento de água, particularmente ao aquecimento distrital, incluindo elementos constituintes do sistema, aspectos ambientais e econômicos.
2. Revisão de conceitos e fundamentos teóricos para elaboração do software e objetivando análise comparativa de diferentes tecnologias;
3. Seleção de um caso para estudo e levantamento de dados;
4. Dimensionamento de uma instalação de aquecimento distrital para uma vila hipotética.
5. Produção do software para análise de sistemas de aquecimento distrital;
6. Aplicação do software para ao estudo de caso;
7. Análise e discussão dos resultados.

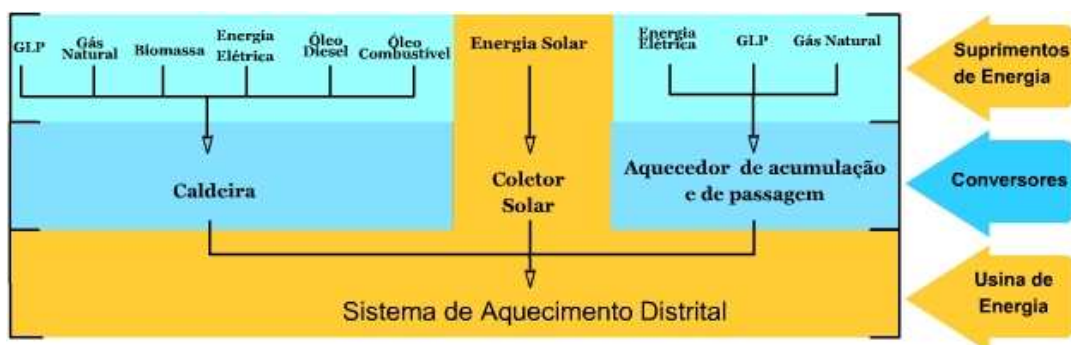


Figura 17 – Estrutura de cálculo – Suprimentos de energia, conversores e usina de energia.

A Figura 17 ilustra todas tecnologias e os suprimentos de energia que foram consideradas inicialmente como objeto de estudo. A seguir é mostrado o modelo utilizado no trabalho.

3.1 – MODELO DE CÁLCULO

A estrutura de cálculo contempla os equipamentos e energéticos mostrados na Figura 17, que incluem sistemas para aquecimento de água utilizando coletores solares, caldeiras e aquecedores de acumulação e passagem. O diagrama da Figura 18 ilustra em uma versão simplificada, as etapas seguidas. Cada um das etapas listadas será detalhada a seguir.



Figura 18 – Passos para projeto de sistema de aquecimento.

3.1.1 – DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA QUENTE

A determinação da demanda de água quente deve seguir as orientações dispostas na Norma Brasileira de Instalação Predial de Água Quente – NB 7198 (ABNT, 1993) ou experiência anterior. Entretanto, de acordo com Pereira (2003), o valor de consumo de água quente por pessoa proposto pela norma para o chuveiro elétrico é bastante controverso, pois no caso de casas populares, são instalados chuveiros com potência de até 4.400 W e a vazão do banho é limitada pelo próprio equipamento em 3,0 litros/minuto (0,003 m³/s). Em razão das considerações acima, o valor utilizado neste trabalho para a classe E foi de 3,0 litros/minuto (0,003 m³/s) (valor inferido de acordo com experiência adquirida nos testes de coletores solares no laboratório Green Solar).

O diagrama da Figura 19 mostra as etapas para a determinação da demanda de água quente.

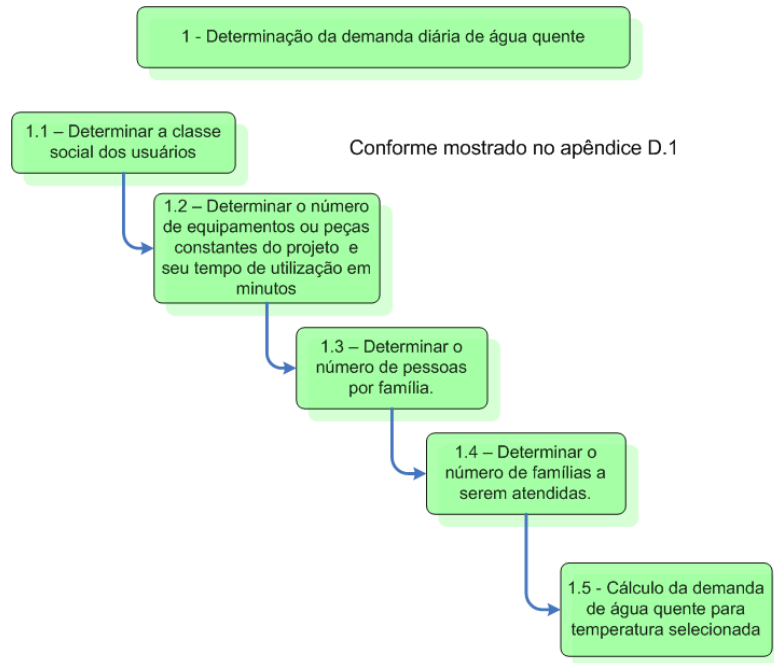


Figura 19 – Cálculo da demanda de água quente diária.

Uma vez determinada a demanda de água quente é preciso selecionar a tecnologia de aquecimento a ser utilizada.

3.1.2 – SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS

O diagrama da Figura 20 mostra as etapas para cálculo dos sistemas que utilizam coletores solares planos.

A seleção do equipamento de energia de reserva (*backup*) é feita levando-se em consideração que, para o caso de dias com nebulosidade elevada ou chuva por dias seguidos, o *backup* deve atender a 100% da demanda. De acordo com recomendações da Norma NBR-7198, o cálculo do *backup* é feito levando-se em conta que 1/3 do volume de água seja aquecido na temperatura desejada em duas horas.

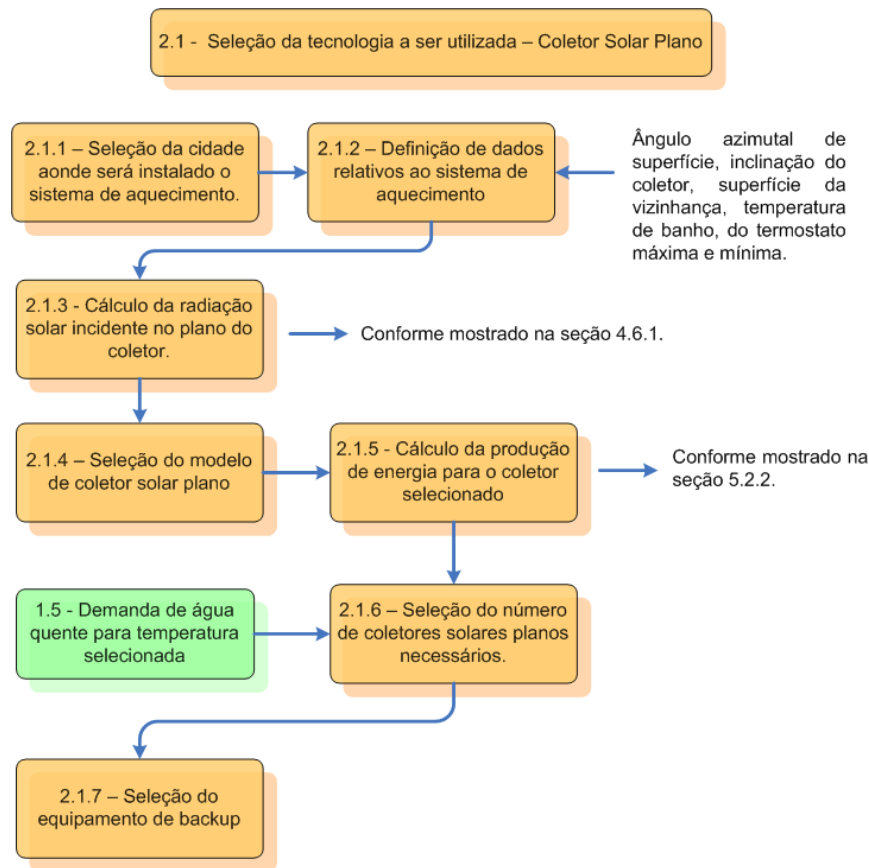


Figura 20 – Estrutura de cálculo utilizando-se coletores solares térmicos.

No caso de sistemas de aquecimento distrital nos quais são utilizadas outras tecnologias que não a de coletores solares térmicos, o procedimento de cálculo da potência térmica do equipamento de aquecimento é feita, conforme mostra a Figura 23.

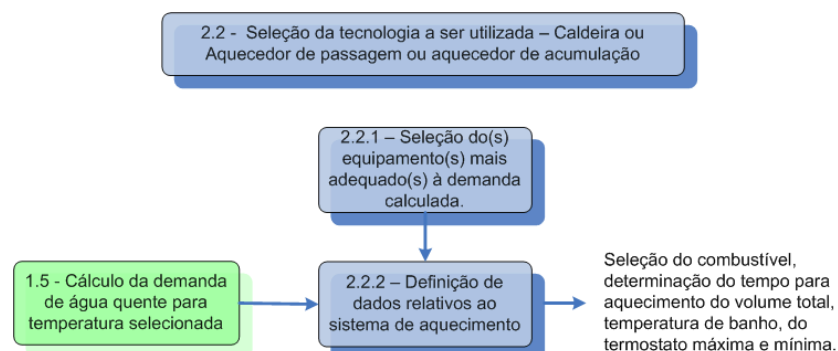


Figura 21 – Estrutura de cálculo para dimensionamento de sistemas convencionais para aquecimento de água.

Deve-se seguir as orientações contidas na NBR-7198 descritas resumidamente no capítulo 7. Depois de realizado este cálculo, é possível, então, selecionar um ou mais modelos de equipamentos de acordo com os dados constantes nos catálogos dos fabricantes.

3.1.3 – ANÁLISE FINANCEIRA

A análise financeira deve levar em consideração:

- o investimento inicial (equipamentos, infra-estrutura básica e montagem);
- o gasto com combustível (quando pertinente);
- valor do kWh praticado pela concessionária local;
- tempo médio de duração do banho;
- taxa de juros vigente;
- o custo de manutenção do sistema;
- o seu tempo de vida útil.

As equações utilizadas para o cálculo constam do Apêndice A4 – Fundamentos de Matemática Financeira.

3.1.4 – ANÁLISE AMBIENTAL

A análise ambiental deve ser pautada na análise comparativa dos impactos ambientais, avaliando-se comparativamente as tecnologias disponíveis e sua interação com o meio ambiente.

Não se pode deixar de levar em consideração também, que as usinas de energia estarão inseridas em áreas urbanas ocupando um espaço que poderia ser destinado a outros fins, por exemplo, à instalação de mais residências.

A garantia da qualidade de vida da população vizinha às instalações para aquecimento de água distrital deve ser também levada em conta, além dos aspectos técnicos e econômicos.

A análise ambiental deste trabalho será realizada comparando-se os valores de emissão dentre as diversas tecnologias. Os dados de emissão foram obtidos de relatórios e tabelas da *U.S Environmental Protection Agency* (EPA).

CAPÍTULO 4 – SUPRIMENTOS DE ENERGIA

Os suprimentos de energia utilizados nos sistemas de aquecimento distrital considerados neste trabalho são (ver figura 17):

- energia solar;
- biomassa;
- óleo diesel;
- óleo combustível;
- gás natural;
- GLP;
- energia elétrica

De acordo com Pera (1990), combustível é toda substância, natural ou artificial, no estado sólido, líquido ou gasoso, capaz de reagir com o oxigênio do ar, mediante escorvamento, liberando energia calorífica e luminosa. Não se enquadram nesta definição os combustíveis nucleares. De acordo com seu estado físico, os combustíveis podem ser:

- Sólidos – madeira, carvão vegetal, turfa, linhito, hulha, antracito, coque, etc;
- Líquidos – querosene, gasolina, álcool, óleo diesel, óleo combustível e óleos vegetais;
- Gasosos – compreendem gases naturais e fabricados. Exemplos: gás natural, o propano, o butano, gás de coqueria e biogás.

Os combustíveis utilizados nos geradores de vapor / geradores de água a alta temperatura podem ser classificados primariamente em naturais e artificiais. Dentre os primeiros estão os combustíveis fósseis convencionais (carvão, petróleo e derivados) e a biomassa (lenha, bagaço cana-de-açúcar, casca de cereais, entre outras). Os artificiais são obtidos a partir dos naturais através de diferentes processos de elaboração.

4.1 – ÓLEO COMBUSTÍVEL E ÓLEO DIESEL

O petróleo é uma mistura de alguns componentes orgânicos, principalmente de carbono e hidrogênio. De acordo com Torreira (1995) independente da origem do óleo cru, sua composição é praticamente uniforme dentro de limites restritos.

O óleo diesel é um composto derivado do petróleo, formado principalmente por átomos de carbono, hidrogênio e em baixas concentrações por enxofre, nitrogênio e oxigênio, selecionados de acordo com as características de ignição e de escoamento adequadas ao funcionamento dos motores diesel. É um produto inflamável, medianamente tóxico, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico.

Os valores do óleo diesel utilizados nos cálculos estão listados na Tabela 1. Usualmente, o valor do Poder Calorífico Inferior - PCI do Diesel é fornecido em kcal/kg. Em virtude do diesel ser comercializado em litros, foi considerado que a densidade do diesel a 20°C é de 845 kg/m³.

| Dados | Óleo Diesel |
|---------------------------------|------------------------|
| Carbono – C | 85,56 % |
| Hidrogênio – H | 13,37 % |
| Oxigênio – O | 0,0 % |
| Enxofre – S | 1,07 % |
| Nitrogênio – N | 0,0 % |
| PCI | 50.786 kJ/l |
| Preço praticado em MG (01/2005) | R\$ 1,51/l (Petrobras) |

Tabela 1 – Óleo Diesel – Brasil.

Fonte: Petrobras Acessível em <<http://www.petrobras.br>> , Adaptado de Pera (1990).

O óleo combustível é derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos. Os óleos combustíveis comumente utilizados nas caldeiras são óleos residuais de alta viscosidade, obtidos do refino do petróleo ou através da mistura de destilados pesados com óleos residuais de refinaria. Para obter uma atomização adequada e a máxima eficiência de um sistema de combustão, é necessário um estreito controle sobre a viscosidade do óleo combustível em um valor pré-determinado. Em função da característica viscosidade, os óleos combustíveis são assim classificados: óleos com alto ponto de fluidez e óleos com baixo ponto de fluidez. As especificações dos óleos combustíveis no Brasil são elaboradas pelo Agência Nacional do Petróleo – ANP.

O óleo combustível mais comumente utilizado em instalações de porte reduzido é o óleo combustível do tipo A ou BPF. Este óleo apresenta um baixo ponto de fluidez, não sendo necessário o aquecimento para se efetuar o bombeamento. Em geral, a utilização de um óleo combustível em uma caldeira está ligada à questão econômica; às vezes usa-se o BPF misturado ao óleo diesel. Contudo, esta operação acaba elevando o preço do combustível

misturado, uma vez que o diesel é mais caro do que o BPF. A Tabela 2 mostra a análise elementar típica dos óleos combustíveis mais comercializados pela Petrobrás. (PCS – Poder Calorífico Superior)

| Elemento | Unidade | Tipo A | Tipo B | Tipo C | Tipo D | Tipo E | Tipo F |
|--------------------|-----------|------------|------------|-------------|------------|--------|--------|
| | | BPF | APF | OC-4 | BTE | – | – |
| Carbono | % em peso | 81,9 | 80,91 | 87,06 | 85,75 | 81,49 | 85,68 |
| Hidrogênio | % em peso | 11,1 | 12,09 | 12,44 | 11,25 | 11,01 | 11,32 |
| Enxofre | % em peso | 5,0 | 5,0 | 0,0 | 1,0 | 5,5 | 1,0 |
| Água-sedim. | % em peso | 2,0 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| PCS | kJ/kg | 42.864 | 44.024 | 44.665 | 44.066 | 42.580 | 43.970 |
| PCI | kJ/kg | 40.541 | 41.073 | 42.559 | 41.721 | 40.436 | 41.487 |

Tabela 2 – análise elementar de óleos combustíveis

Fonte: Adaptado de Pera (1990).

Em virtude da disponibilidade no mercado, e de apresentar menos exigências em termos de armazenamento, o óleo Tipo A (BPF) será utilizado nos cálculos. Os valores utilizados na planilha de cálculo estão listados na Tabela 3.

| Dados | Óleo Combustível Tipo A (BPF) |
|--|-------------------------------|
| Carbono – C [%] | 81,9 |
| Hidrogênio – H [%] | 11,1 |
| Oxigênio – O [%] | 1,8 |
| Enxofre – S [%] | 5,0 |
| Nitrogênio – N [%] | 0,0 |
| PCI [kJ/kg] | 40.541,0 |
| Preço praticado em MG – [R\$] (01/2005) | R\$ 1,10/kg (Petrobras) |

Tabela 3 – Óleo combustível (BPF) – Brasil.

Fonte: Petrobras (2004) Acessível em <<http://www.petrobras.br>>, Adaptado de Pera (1990).

4.2 – GÁS NATURAL

O gás natural, também conhecido como “gás fóssil” é uma mistura de hidrocarbonetos leves, encontrado associado ao petróleo ou isoladamente, na qual predomina o gás metano, acompanhado pelo etano e o propano, podendo apresentar nitrogênio, gás carbônico e raramente argônio. (Pera, 1990) O que define a presença e o teor dos elementos depende fundamentalmente da localização do reservatório, sua condição de associado ou não, do tipo de matéria orgânica ou mistura da qual se originou, da geologia do solo e do tipo de rocha onde se encontra o reservatório. A Tabela 4 mostra a composição do gás natural bruto brasileiro.

| Estado | Metano | Etano | Propano | C ₄ e maiores | CO ₂ | N ₂ | Poder Calorífico Sup. (kJ/Nm ³) |
|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|--|
| | CH ₄ [%] | C ₂ H ₆ [%] | C ₃ H ₈ [%] | [%] | [%] | [%] | |
| Rio de Janeiro | 89,44 | 6,7 | 2,26 | 0,46 | 0,34 | 0,8 | 40.220 |
| Bahia | 88,56 | 9,17 | 0,42 | – | 0,65 | 1,2 | 39.250 |
| Alagoas | 76,9 | 10,1 | 5,8 | 1,67 | 1,15 | 2,02 | 47.700 |
| Rio Grande do Norte | 83,48 | 11 | 0,41 | – | 1,95 | 3,16 | 38.540 |
| Espírito Santo | 84,8 | 8,9 | 3,0 | 0,9 | 0,3 | 1,58 | 45.400 |
| Ceará | 76,05 | 8 | 7,0 | 4,3 | 1,08 | 1,53 | 52.400 |

Tabela 4 – Composição do gás natural bruto.

Fonte: Gasnet (2004) Acessível em < <http://www.gasnet.com.br/>>

De acordo com informações fornecidas pela Gasnet, a composição comercial do gás natural varia muito e depende da composição do gás natural bruto, do mercado atendido, do uso final e do produto gás que se deseja. Apesar da variabilidade da composição, são parâmetros fundamentais que determinam a especificação comercial do gás natural o seu teor de enxofre total, o teor de gás sulfídrico, o teor de gás carbônico, o teor de gases inertes, o ponto de orvalho da água, o ponto de orvalho dos hidrocarbonetos e o poder calorífico. A Agência Nacional do Petróleo – ANP, na Portaria N.º 41, de 15 de Abril de 1998, especifica como deve ser o gás natural comercializado no Brasil. A Tabela 5 mostra estas especificações.

| Características ⁽¹⁾ | Unidades | Grupos | | |
|--|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | B (baixo) | M (médio) | A (alto) |
| Poder calorífico superior (PCS) | kJ/m ³ | 33.494 a | 36.844 a | 41.868 a |
| Densidade relativa do ar | | 37.681 | 42.705 | 52.335 |
| Teor máximo de gás sulfídrico (H ₂ S) | mg/m ³ | 0,54 a 0,60 | 0,55 a 0,69 | 0,66 a 0,82 |
| Teor máximo de Enxofre | mg/m ³ | 20 | 20 | 20 |
| Teor máximo de dióxido de carbono (CO ₂) | % volume | 80 | 80 | 80 |
| Teor máximo de inertes | % volume | 2 | 2 | 2 |
| Teor máximo de oxigênio (O ₂) | % volume | 4 | 4 | 4 |
| Ponto de orvalho máximo da água à 1 atm | °C | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | | –45 | –45 | –45 |

Tabela 5 – Especificações para o gás natural comercializado no Brasil.

Fonte: Gasnet (2004) Acessível em <<http://www.gasnet.com.br/>>

Os valores utilizados na planilha de cálculo são os de composição do gás natural do gasoduto Bolívia – Brasil. A Tabela 6 lista a composição do gás natural boliviano e sua classificação.

| Dados | Gás Natural Gasoduto Bolívia – Brasil |
|--|--|
| Metano CH ₄ [%] | 91,80 |
| Etano C ₂ H ₆ [%] | 5,58 |
| Propano C ₃ H ₈ [%] | 0,97 |
| ibutano C ₄ H ₁₀ [%] | 0,03 |
| nbutano C ₄ H ₁₀ [%] | 0,02 |
| Pentano C ₅ H ₁₂ [%] | 1,90 |
| Nitrogênio N ₂ [%] | 1,42 |
| Dióxido de carbono CO ₂ [%] | 0,08 |
| PCS [kJ/m ³] | 41.692 |
| PCI [kJ/m ³] | 37.652 |
| Preço praticado em MG (01/2005) | R\$ 0,9613 / m ³ (Gasmig) |
| Classificação | Grupo M |

Tabela 6 – Composição do Gás Natural – gasoduto Bolívia – Brasil.

Fonte: Adaptado de Gasnet Acessível em <<http://www.gasnet.com.br/>>.

4.3 – GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO – GLP

O gás liquefeito de petróleo – GLP é uma mistura de hidrocarbonetos leves, gasosos, predominantemente propano (24,3% em volume) e butano (75,7% em volume), obtidos do gás natural por processamento em refinaria de petróleo. É mais conhecido como gás de cozinha, não tem propriedades tóxicas, mas pode causar asfixia. São armazenados no estado líquido em botijões ou cilindros, através da elevação moderada da pressão ou da redução da temperatura. Os gases propano e butano são inodoros, porém é acrescentada substância orgânica (mercaptantes) para que produza odor para fácil percepção em caso de vazamento. Sua maior aplicação é na cocção dos alimentos, mas também é utilizado em empilhadeiras, soldagem, esterilização industrial, teste de fogões, maçaricos e outras aplicações industriais. O GLP é vendido a granel e o abastecimento é feito em tanques das próprias companhias distribuidoras do gás que os cedem em comodato. Apesar de ser utilizado para aquecimento, existe legislação específica que proíbe esta utilização. De acordo com a lei N° 8.176, DE 08/02/1991 – DOU 13.2.1991 a utilização de GLP para fins de aquecimento não industrial é crime. Outros decretos e leis relativos ao uso, armazenamento e comercialização do GLP estão disponíveis no Anexo E.

A composição ideal do GLP é de 50% de Butano e 50% de propano; entretanto tais valores são teóricos. A composição utilizada para cálculos no presente trabalho é apresentada na Tabela 7 a seguir.

| Dados | GLP |
|---|------------------------------|
| Metano CH ₄ | 0 % |
| Etano C ₂ H ₆ | 3,10 % |
| Propano C ₃ H ₈ | 48,60 % |
| Butano C ₄ H ₁₀ | 46,40 % |
| Nitrogênio N ₂ | 1,42 % |
| Dióxido de carbono CO ₂ | 0,08 % |
| PCS | 49.907 kJ/kg |
| PCI | 46.042 kJ/kg |
| Preço praticado em MG (01/2005) – [R\$] | R\$ 2,35 / kg (Supergasbrás) |

Tabela 7 – Composição do GLP – Brasil

Fonte: Adaptado de ComGas Acessível em <<http://www.comgas.com.br/>>

De acordo com Costa (2004), os gases combustíveis apresentam as seguintes vantagens:

1. permitir o contato direto dos produtos da combustão do gás com a carga a aquecer, o que, com combustíveis líquidos, só seria possível através de tubos radiantes ou muflas. A grande vantagem é a redução do consumo de energia obtida com o uso de um gás combustível, sem tubos radiantes nem muflas;
2. conformação das mais diversas formas de chama, adequando-as com precisão aos processos e aumentando a eficiência da transmissão de calor;
3. facilidade de ignição, mesmo com a câmara de combustão fria;
4. possibilitar regulagens finas nas temperaturas de processos;
5. reduzir o custo de manutenção das tubulações de distribuição e seus acessórios, do sistema de controle de potência, bloqueio de segurança, medição, dos queimadores e da instrumentação;
6. dispensar os sistemas de aquecimento e bombeio de óleos combustíveis pesados;
7. praticar baixo nível de excesso de ar de combustão, otimizando o uso da energia e reduzindo a formação de óxidos de nitrogênio (NO_x);
8. não prejudicar o desempenho e a vida útil dos equipamentos com fuligem, óxidos de enxofre, vanádio, sódio, aldeídos, chumbo etc., como ocorre com combustíveis líquidos;
9. gerar menos gás carbônico por kilograma de combustível queimado, contribuindo de uma forma menos acentuada para o efeito estufa.

4.4 – BIOMASSA

Biomassa é um termo genérico utilizado para designar uma série de matérias orgânicas como árvores, plantas, resíduos agrícolas, que podem ser queimados diretamente, ou

transformados em outros elementos capazes de ser utilizados como combustível, tais como: etanol, metanol, biogás, carvão vegetal, óleos vegetais, biodiesel.

De acordo com Tolmasquim, M. T et al. (2003) a biomassa é a quarta fonte de energia do planeta, representando o principal combustível utilizado por três quartos da população mundial. A biomassa utilizável pode dividir-se em três tipos, de acordo com a sua origem:

- **Biomassa Florestal** – restos de madeira provenientes da indústria, lenha, resíduos florestais provenientes da limpeza das florestas;
- **Biomassa Agrícola** – palha, estrume, casca de arroz, bagaço de azeitona, resíduos de culturas (como por exemplo: trigo, milho, cana-de-açúcar);
- **Resíduos Urbanos** – lixos domésticos, como papel, plásticos, cartão, tecidos e os efluentes industriais (principalmente do setor agro-alimentar).

A necessidade ou não de conversão da biomassa antes de sua combustão permite classificar as tecnologias de combustão utilizadas em:

- direta;
- indireta (onde há processamento da biomassa em combustíveis líquidos ou gasosos).

Os mecanismos de transformação da biomassa para queima direta são baseados nos ciclos a vapor; a queima pode ser combinada com outro combustível, por exemplo carvão fóssil (*co-firing*) ou somente da biomassa. Já na combustão indireta, a biomassa passa por processamentos como a pirólise, biodigestão ou gaseificação. Os processos que utilizam combustíveis derivados da biomassa são potencialmente mais vantajosos, pois a eficiência de conversão pode ser maior devido a uma combustão mais completa, com redução das emissões atmosféricas. Os fabricantes de equipamentos para produção de energia a partir da biomassa têm buscado constante evolução, devido à necessidade de colocação no mercado de sistemas mais eficientes e que minimizem as emissões atmosféricas e conseqüentemente os impactos ambientais locais e regionais.

De acordo com Coelho (2001, p. 8), mesmo que se reduza o perfil de usos da energia da biomassa às opções de aproveitamento térmico, co-geração ou exclusivamente geração de

energia elétrica, verifica-se que, na maior parte dos casos, é necessário o processamento do combustível a ser utilizado antes da queima. Dentre esses processos estão:

- processos físico-químicos: moagem, atomização, secagem, prensagem, extração, etc;
- processos microbiológicos: digestão anaeróbia, fermentação para obtenção de álcool etílico, etc;
- processos termoquímicos: podem ser precedidos dos anteriores e incluir combustão direta, gaseificação, pirólise, etc.

Dentre os processos citados acima, aqueles pertencentes ao grupo de processos físico-químico são sempre necessários, pois os combustíveis em sua forma bruta não estão em condições de transporte, manipulação ou até em condições granulométricas adequadas para garantir uma boa eficiência e queima. O combustível a ser utilizado na planilha de cálculo no caso da biomassa, é a lenha, cujas principais características estão descritas na Tabela 8.

| Dados | Lenha – valores médios (base seca) |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Carbono – C [%] | 50,29 |
| Hidrogênio – H ₂ [%] | 6,44 |
| Oxigênio – O ₂ [%] | 41,36 |
| Nitrogênio – N ₂ [%] | 0,41 |
| Cinzas [%] | 1,5 |
| PCI [kJ/kg] | 13.816 |

Tabela 8 – Composição da lenha em base seca (média entre várias espécies).

Fonte: Adaptado de Pera (1990).

De acordo com Pera (1990), a lenha mais comumente utilizada no mercado vem de florestas plantadas de dois tipos básicos: coníferas (pinus) e folhosas, principalmente quando estas não se prestam à fabricação de celulose ou não são destinadas à produção de carvão vegetal.

A estocagem da lenha se torna um problema devido ao fato do diâmetro dos troncos ser variável, e de ser necessária uma área considerável para armazenamento da mesma. Sabe-se que a composição média e o poder calorífico variam de acordo com a espécie e com o teor de umidade. A Tabela 9 fornece alguns valores do poder calorífico superior de algumas espécies.

| Espécie | Poder calorífico superior (base seca) [kJ/kg] |
|---------------------|--|
| Eucalipto | 15.910 |
| Pinho | 18.841 |
| Brocatinga | 13.816 |
| Acácia Negra | 14.444 |
| Canelinha | 16.789 |
| Peroba | 15.575 |

Tabela 9 – Poder calorífico superior de algumas espécies

Fonte: Adaptado de Pera (1990).

A utilização de caldeiras a lenha alimentadas manualmente somente é possível em instalações de pequeno porte (cerca de 15 toneladas de vapor por hora). A lenha, em geral, é comercializada em toras de 1 metro de comprimento, considerando 30% de umidade. A Tabela 10 apresenta os valores utilizados neste trabalho. Em geral 1 m³ de lenha representa 450 kg de lenha.

| Dados | Lenha – Valores médios |
|--|-------------------------------|
| Carbono – C | 50,29 % |
| Hidrogênio – H | 6,44 % |
| Oxigênio – O | 41,36 % |
| Enxofre – S | 0,00 % |
| Nitrogênio – N | 0,41 % |
| Cinzas – Z | 1,50 % |
| PCI | 13.816 kJ/m ³ |
| Preço praticado em MG (01/2005) – [R\$] | R\$ 40,00/m ³ |

Tabela 10 – Lenha – Brasil

Fonte: Adaptado de Pera (1990).

4.5 – ENERGIA ELÉTRICA

No Brasil, a maior parte da energia elétrica é produzida por usinas hidroelétricas. Estas usinas estão distribuídas pelo país e trabalham em um sistema integrado que distribui a produção para grande parte do país. Existem ainda algumas regiões, como a norte, que ainda não fazem parte do sistema integrado. A Figura 22 ilustra o sistema integrado de transmissão que abrange as regiões Sul, Sudeste e Centro–Oeste.

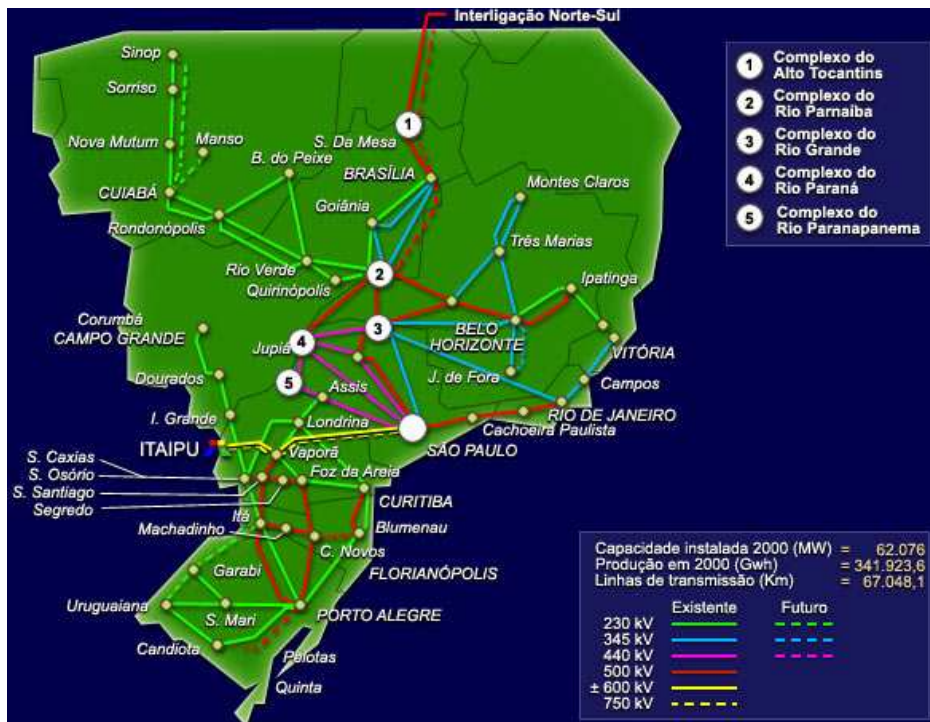


Figura 22 – Sistema integrado de transmissão de energia elétrica.

Fonte: Itaipu Binacional, disponível em <<http://www.itaipu.gov.br/>>.

O gráfico da Figura 23 mostra a oferta de eletricidade no Brasil para o ano base de 2002.

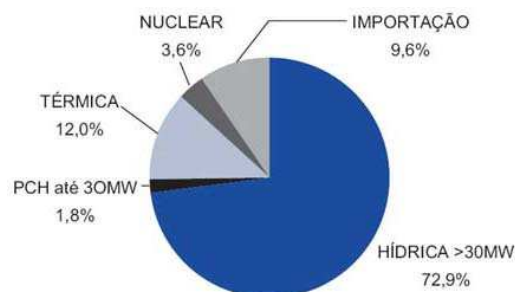


Figura 23 – Estrutura da oferta de eletricidade.

Fonte: MME / BEN 2003.

As usinas termelétricas instaladas utilizam-se de diversos tipos de combustíveis para geração de energia elétrica, dentre eles: óleo combustível, óleo diesel, carvão e resíduos de processos industriais (bagaço de cana, casca de arroz) em sistemas de co-geração. Destacam-se as indústrias do setor sucroalcooleiro, papel e celulose e petroquímico. Recentemente foram inauguradas usinas termelétricas utilizando gás natural conforme proposto pelo Plano Prioritário de Termelétricas (PPT), anunciado pelo Governo Federal no início de 2000.

4.6 – ENERGIA SOLAR

O Sol é um grande reator termonuclear composto de cerca de 80% de hidrogênio, 20% de hélio e 1% de outros elementos. A radiação emitida pelo Sol é advinda de processos nucleares de fusão, nos quais o Sol perde 4,3 milhões de toneladas de massa por segundo, convertidas em energia radiante. A radiação solar é radiação eletromagnética que se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s, apresentando comportamentos ondulatórios e corpusculares. DUFFIE e BECKMAN (1991). Ela é vital para os processos ligados à vida e é a força motriz da movimentação da atmosfera.

Cada metro quadrado da superfície do Sol emite energia na forma de radiação com valores de 63,1 MW, o que significa que apenas meio quilometro quadrado é suficiente para suprir as demandas primárias de energia na Terra.

Apesar de toda essa energia gerada, apenas uma pequena parte atinge a superfície da Terra. O fluxo de radiação diminui com o quadrado da distância do Sol. Uma vez que a distância Sol – Terra varia durante o ano, a radiação solar que chega até a o topo da atmosfera terrestre também varia entre 1.325 W/m² e 1.420 W/m². Diversas pesquisas realizadas estudaram esta variação e, em virtude da evolução dos instrumentos utilizados para sua estimativa, foi possível estabelecer um valor constante da radiação solar que atinge o topo da atmosfera, para efeito de cálculo. A “constante solar” é definida como a energia incidente por unidade de tempo e área em uma superfície localizada fora da atmosfera da Terra. O valor da constante solar G_{SC} recomendado por Duffie e Beckmann (1991), considerando uma distância média entre a Terra e o Sol, é:

$$G_{SC} = 1.367 \text{ W/m}^2.$$

A energia solar incidente pode ser absorvida, refletida e transmitida. A parcela absorvida é a que mais interessa, por ser responsável pelo fornecimento de energia nos processos de fotoconversão e termoconversão.

É, principalmente, a temperatura da superfície do Sol que caracteriza o espectro da radiação solar. A luz visível é apenas uma pequena faixa no espectro. Entretanto, essa

pequena faixa do espectro é responsável pela maior parte do calor produzido. Uma porção menor do calor gerado é oriunda da banda de onda longa da radiação infravermelha e também de uma pequena fração do final banda de radiação ultravioleta. A luz visível com comprimentos de onda entre 0,4 μm e 0,75 μm tem 46% de participação no espectro a radiação infravermelho tem 47% e a ultravioleta somente 7%. (Figura 24)

A atmosfera terrestre reduz a quantidade da radiação que chega até a superfície terrestre. Ozônio, água, vapor d'água e CO_2 absorvem radiação de determinados comprimentos de onda. A redução significativa na faixa do ultravioleta e do infravermelho é resultado desta absorção.

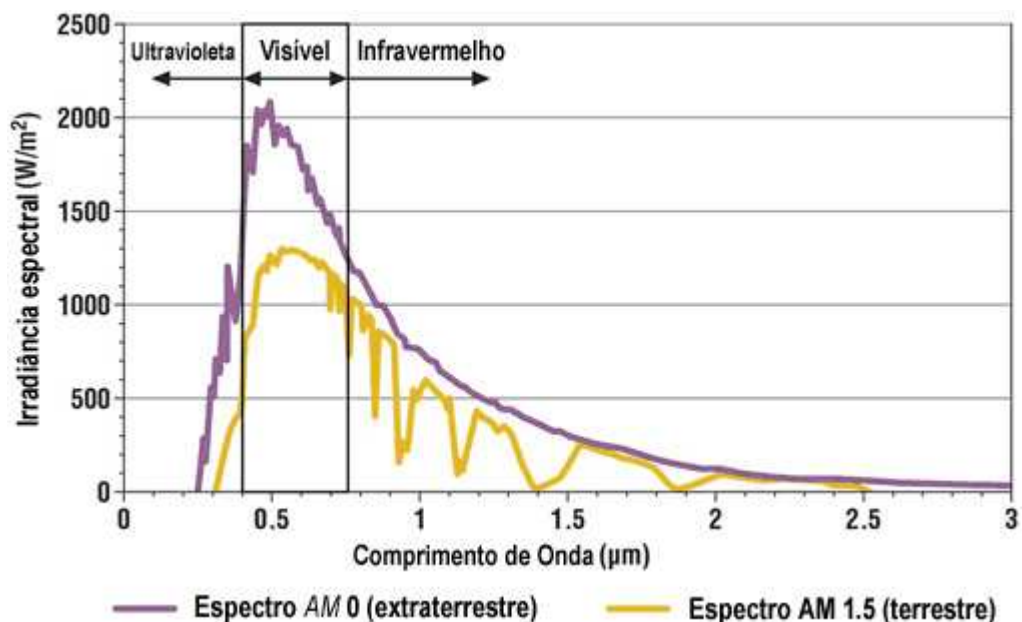


Figura 24 – Espectro da radiação solar extraterrestre e terrestre.

Fonte < <http://www.jxj.com> > acesso em 15 de agosto de 2003.

A orientação da radiação solar extraterrestre é bem definida na direção Sol – Terra. Fora da atmosfera terrestre a radiação não sofre desvios significativos e seus raios são virtualmente paralelos. A radiação solar global pode ser compreendida como tendo duas contribuições:

$$G = G_D + G_B \quad (4.1)$$

sendo:

G_D – Radiação solar difusa: é a parcela da radiação solar que, ao atravessar a atmosfera, é espalhada por poeira ou refletida por algum dos constituintes da atmosfera;

G_B – Radiação solar direta: é a parcela da radiação solar que atravessa a atmosfera sem sofrer desvio na sua direção original.

A mesma convenção adotada por Duffie e Beckmann (1991) para as medidas da radiação será utilizada. De acordo com a convenção, G representa medidas instantâneas, I e H representam valores integrados em médias horária e diária respectivamente.

Caso a superfície receptora esteja inclinada em relação à horizontal, uma terceira componente se destaca: é a radiação refletida pelo ambiente do entorno. Este coeficiente de reflexão é denominado “albedo”.

Ao atravessar a atmosfera terrestre, a radiação solar é atenuada / desviada, sendo inferior ao valor da constante solar. Latitude, estações do ano, hora do dia e condições do céu são os principais elementos que influenciam na alteração da trajetória da radiação. Tomando como referência a Terra e não mais o Sol, pode-se observar de acordo com a Figura 25, que, em determinadas épocas do ano, a espessura da camada de ar atmosférica (AM) varia, alterando também o valor da radiação incidente. Ao fixar o sistema de coordenadas na Terra, pode-se concluir que a trajetória do Sol realizada ao longo do ano fica compreendida entre os trópicos de Câncer e Capricórnio.

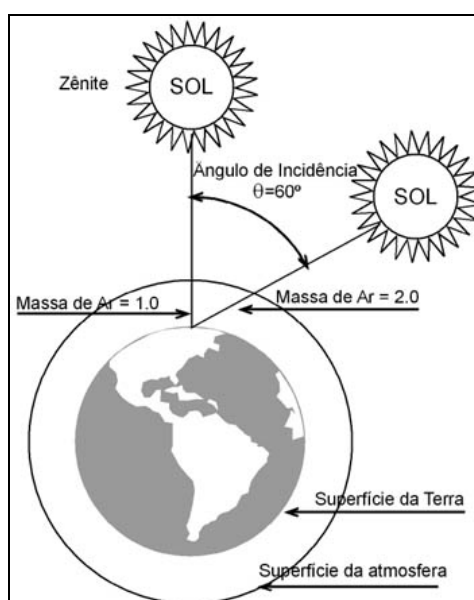


Figura 25 – Coeficiente de “massa de ar”

Ilustração: Antônio Bosco Oliveira Júnior.

A radiação solar é medida utilizando-se piranômetros (para radiação global) e pireliômetros (para a radiação direta). A radiação difusa pode ser obtida subtraindo-se a radiação direta da radiação global ou utilizando suportes móveis para geração de sombra no piranômetro, como mostra a Figura 26. Ainda nos dias de hoje, no Brasil, são poucas as estações meteorológicas que possuem instrumentos adequados para a medição das componentes da radiação solar. Em muitos casos são utilizados heliógrafos que medem somente o número de horas de insolação, mas não a sua intensidade. Na Figura 26 o pireliômetro está localizado à direita. A medição da radiação difusa é feita através da utilização de um elemento fixado a um suporte que faz sombra sobre a cúpula do piranômetro.



Figura 26 – Piranômetros e pireliômetros medindo a radiação global, difusa e direta.

Fonte: Quaschnig, Volker (2003)

4.6.1 – GEOMETRIA SOLAR E MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR.

Conhecer a intensidade da radiação solar incidente nas placas de um conjunto de coletores solares e a temperatura ambiente é essencial para a determinação do desempenho do conjunto. Em virtude da dificuldade na obtenção de dados meteorológicos e do número insuficiente de estações meteorológicas no Brasil, faz-se necessário o uso de dados gerados por modelos empíricos.

Efetuados os cálculos, tem-se em mãos a quantidade de energia em média horária incidente sobre o plano do coletor, sendo possível, então, a partir da escolha do modelo do coletor, determinar a sua produção mensal de energia. O diagrama esquemático mostrado na Figura 27 ilustra um dos modelos de cálculo utilizados. (Guimarães, 1995)

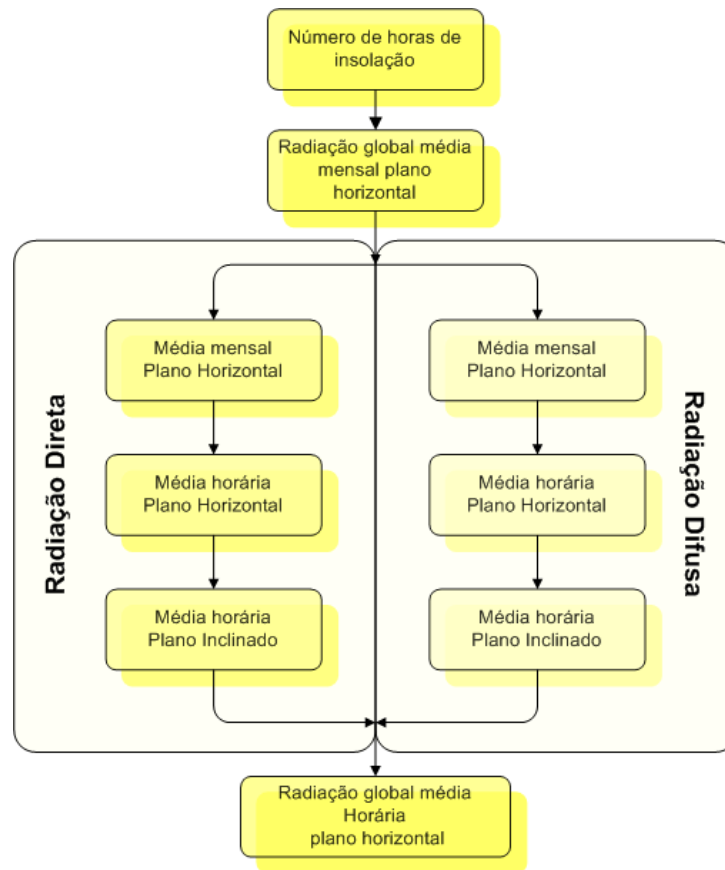


Figura 27 – Modelo de estimativa da radiação solar

Fonte: Guimarães (1995).

Em todos os modelos estudados, a hora solar é utilizada como referência. A hora solar varia de acordo com a localidade e também com o dia do ano. Ela baseia-se no movimento angular do Sol através do céu, sendo considerado o meio-dia solar o instante em que o Sol cruza o meridiano do observador. “A hora solar é o tempo medido em relação ao meio dia solar cujo valor é utilizado em todas as relações trigonométricas da geometria solar...” PEREIRA et al. (2003; p. 57). A diferença em minutos entre a hora solar e a hora padrão pode ser obtida pela equação 4.2.

$$HoraSolar - HoraPadrão = 4(L_{ST} - L_{LOC}) + E \quad (4.2)$$

sendo:

L_{ST} – longitude do local de medição da hora padrão (no caso de algumas regiões do Brasil, Brasília, cuja longitude é 45°);

L_{LOC} – longitude da localidade para a qual os cálculos estão sendo feitos.

Para converter a hora padrão em hora solar é preciso aplicar duas correções, a primeira relativa à diferença de longitude entre os meridianos do observador e o meridiano da cidade de referência. O Sol leva 4 minutos para percorrer 1° de longitude. A segunda correção é a da chamada equação de tempo, que leva em consideração perturbações na velocidade de rotação da Terra, o que afeta o tempo no qual o Sol cruza o meridiano do observador. A equação de tempo é dada por:

$$E = 229,2 \cdot [0,000075 + 0,001868 \cdot \cos(B) - 0,032077 \cdot \text{sen}(B) - 0,014615 \cdot \cos(2B) - 0,04089 \cdot \text{sen}(2B)] \quad (4.3)$$

sendo:

$$B = (n - 1) \frac{2\pi}{365} \quad (4.4)$$

onde:

n – dia do ano variando de 1 a 365.

A equação do tempo, calculada com valores para o dia médio de cada mês, está representada no gráfico da Figura 28.

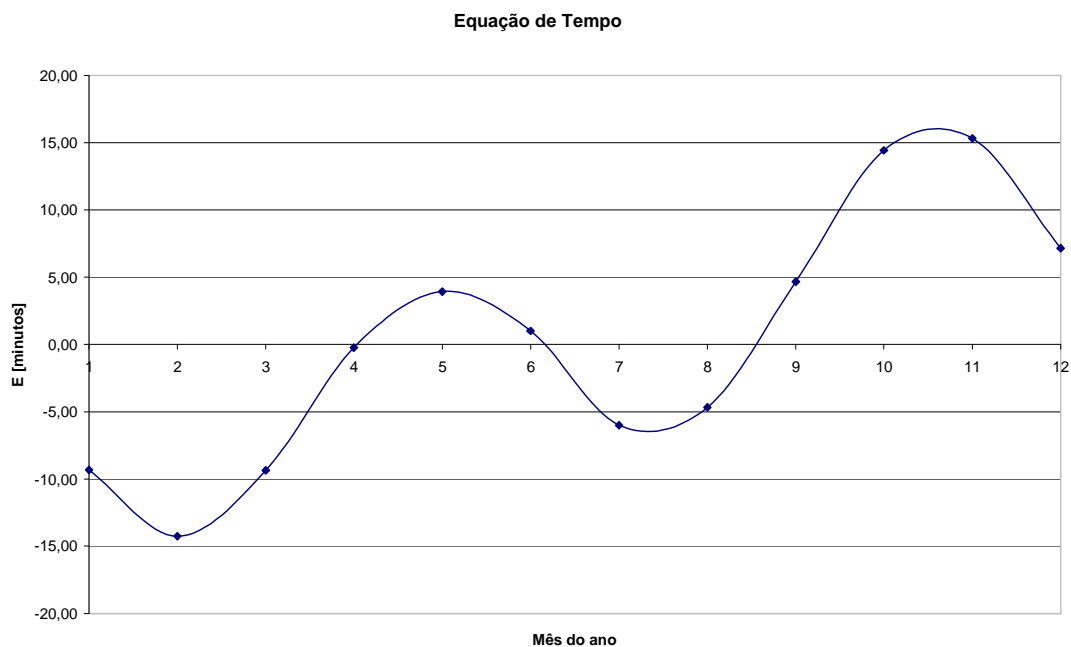


Figura 28 – Equação do tempo para correção da hora padrão.

Anteriormente aos testes do Inmetro, o cálculo da energia produzida pelos coletores solares era mais complexo, pois envolvia a geometria do coletor, bem como de seus componentes,

para que fosse possível saber a sua produção de energia. Atualmente, os softwares de dimensionamento de instalações solares térmicas podem ser simplificados sem envolver parâmetros geométricos do coletor, mas sim dados fornecidos pelos testes de certificação. Entretanto, os softwares de design de coletores são de extrema importância para o modelamento dos coletores solares, permitindo aos fabricantes e aos institutos de pesquisa avaliar a eficiência dos equipamentos antes mesmo de serem produzidos. Em projeto de um coletor solar realizado na Resolver Engenharia foi possível, por meio de modelamento matemático, definir parâmetros ótimos para um coletor solar. Uma vez que o modelo foi construído e avaliado conforme as normas do Inmetro, foi verificada a proximidade de valores dos cálculos teóricos do modelo com os valores obtidos em teste.

Hoje, com os dados fornecidos pelos testes do Inmetro, é possível comparar os diversos tipos e modelos de coletores solares. Uma vez que o Inmetro definiu como referência o mês de setembro para a cidade de Belo Horizonte, considerando a inclinação dos coletores igual a 25°. Deve-se sempre levar em consideração a localidade onde será instalado o sistema de coletores, devido ao fato de que os coletores se comportam diferentemente dependendo da cidade na qual são instalados.

Para efetuar os cálculos, é necessário conhecer a orientação da radiação solar em relação a um plano sobre a superfície da Terra. A Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol e seu eixo é inclinado em aproximadamente 23,5° com relação ao eixo polar. A variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora ao longo dos dias é devida à inclinação do eixo da Terra em relação à sua órbita.

ϕ : Latitude – o ângulo que parte do Equador, caminhando por um meridiano até o ponto desejado ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$);

δ : Declinação Solar – posição angular do Sol ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo). A declinação solar pode ser obtida pela equação de Cooper expressa da seguinte maneira:

$$\delta = 23,45^\circ \operatorname{sen}\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (4.5)$$

A Tabela 11 auxilia na localização do valor de n e é recomendada para o dia médio² de cada mês. Para o caso de cálculos efetuados em ano bissexto, a partir de Março deve ser acrescido de 1 o valor de n , desta maneira ocorre uma pequena variação nos valores da declinação.

| Mês | Enésimo dia do mês | Dia médio do mês | | δ – declinação |
|-----------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------------|
| | | Data | Enésimo dia do ano | |
| Janeiro | I | 17 | 17 | -20,92 |
| Fevereiro | 31 + i | 15 | 46 | -12,95 |
| Março | 59 + i | 16 | 75 | -2,42 |
| Abril | 90 + i | 15 | 105 | 9,41 |
| Mai | 120 + i | 15 | 135 | 18,79 |
| Junho | 151 + i | 10 | 162 | 23,09 |
| Julho | 181 + i | 17 | 198 | 21,18 |
| Agosto | 212 + i | 16 | 228 | 13,45 |
| Setembro | 243 + i | 15 | 258 | 2,22 |
| Outubro | 273 + i | 15 | 288 | -9,60 |
| Novembro | 304 + i | 14 | 318 | -18,91 |
| Dezembro | 334 + i | 10 | 344 | -23,05 |

Tabela 11 – Dia médio recomendado para cálculo da declinação.

Fonte: DUFFIE; BECKMAN (1991; p. 12).

β : Ângulo de inclinação da superfície – Ângulo entre o plano da superfície e a horizontal.

A figura 29 mostra alguns dos ângulos solares.

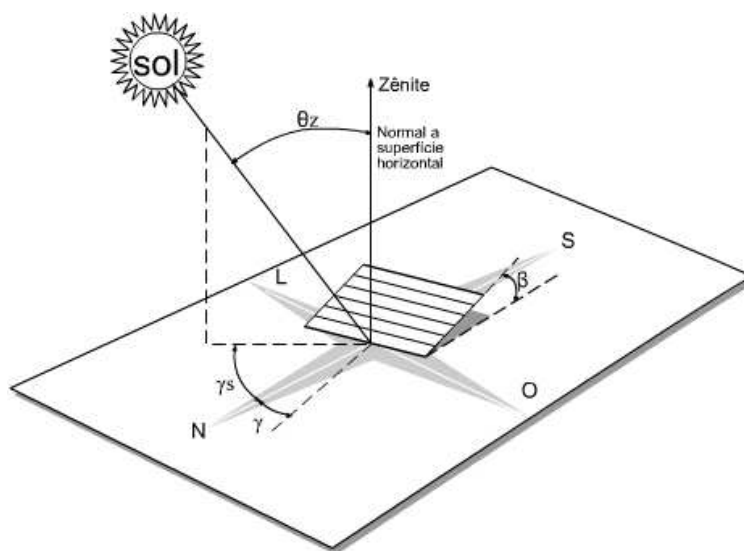


Figura 29 – Ângulos solares

Ilustração: Antônio Bosco Oliveira Júnior

² O dia médio é o dia no qual a radiação solar extraterrestre está mais próxima da radiação média no mês.

γ : Ângulo azimutal de superfície – ângulo entre a projeção da normal à superfície e o plano do meridiano local. $\gamma = 0$ para o Sul, $\gamma < 0$ a leste do Sul, $\gamma > 0$ a oeste do Sul. O valor de γ varia na faixa de $(-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ)$.

ω : Ângulo horário – deslocamento do Sol em relação ao meridiano local. Como a Terra completa 360° em 24 horas, temos um deslocamento de $15^\circ/\text{hora}$. Quando $\omega = 0$: 12 horas, ω é positivo no período da tarde e negativo no período da manhã.

θ : Ângulo de incidência da radiação direta – ângulo entre a radiação direta e a normal à superfície inclinada. Varia de $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

θ_Z : Ângulo zenital – ângulo formado entre os raios solares e a vertical ao plano horizontal. Varia entre 0° e 90° e é calculado pela seguinte equação:

$$\cos \theta_Z = \text{sen} \delta \text{sen} \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (4.6)$$

O pôr e o nascer do Sol são representados por $-\omega_s$ e $+\omega_s$. Na hora do pôr e no nascer do Sol, o ângulo zenital é igual a 90° ; então a equação torna-se:

$$\begin{aligned} \cos \omega_s &= -\tan \phi \tan \delta \\ \omega_s &= \arcsin(-\tan \phi \tan \delta) \end{aligned} \quad (4.7)$$

α_s : Ângulo de altitude solar – ângulo entre os raios solares e sua projeção em um plano horizontal. É o complemento do ângulo zenital.

O ângulo de incidência da radiação solar direta é descrito por:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \text{sen} \delta \text{sen} \phi \cos \beta - \text{sen} \delta \cos \phi \text{sen} \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \text{sen} \phi \text{sen} \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \text{sen} \beta \text{sen} \gamma \text{sen} \omega \end{aligned} \quad (4.8)$$

Quando $\beta = 0^\circ$ a superfície está na posição horizontal e o ângulo de incidência coincide com o ângulo zenital. A equação 4.8 torna-se:

$$\cos \theta_Z = \text{sen} \delta \text{sen} \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (4.9)$$

γ_s : Ângulo de azimute solar – é formado entre a projeção no plano horizontal da direção dos raios solares e a direção norte-sul. Para a correta determinação do ângulo de azimute solar é preciso identificar o quadrante em que o Sol se encontra. DUFFIE E BECKMANN (1991) apresentam o procedimento para a correta determinação do ângulo. A equação 4.10 abaixo representa o ângulo de azimute solar:

$$\gamma_s = C_1 C_2 \gamma_s^* + C_3 \left(\frac{1 - C_1 C_2}{2} \right) 180 \quad (4.10)$$

| | | |
|---|--|--|
| $C_1 = \begin{cases} 1 & \text{se } \omega \leq \omega_{tw} \\ 1 & \text{se } \omega > \omega_{tw} \\ 1 & \text{se } \delta > \phi \end{cases}$ | $C_2 = \begin{cases} 1 & \text{se } (\phi - \delta) \geq 0 \\ -1 & \text{se } (\phi - \delta) < 0 \end{cases}$ | $C_3 = \begin{cases} 1 & \text{se } \omega \geq 0 \\ -1 & \text{se } \omega < 0 \end{cases}$ |
|---|--|--|

$$\cos \omega_{tw} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi}$$

*

γ_s é chamado de pseudo ângulo azimutal de superfície e é calculado pela equação:

$$\begin{aligned} \text{sen } \gamma_s^* &= \frac{\text{sen } \omega \cos \delta}{\text{sen } \theta_z} \text{ ou} \\ \tan \gamma_s^* &= \frac{\text{sen } \omega}{\text{sen } \delta \cos \omega - \cos \phi \tan \delta} \end{aligned} \quad (4.11)$$

A partir da equação de regressão do tipo Angstrom, citada por DUFFIE; BECKMAN (1991), surgiram os principais modelos propostos para a determinação da radiação solar global diária em média mensal no plano horizontal. Entretanto, esta formulação considera os dias claros. PAGE et al. (1964) propuseram um novo modelo no qual a radiação extraterrestre \overline{H}_o substitui a radiação em dias claros \overline{H}_c .

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H}_c} = a + b \frac{\overline{n}}{\overline{N}} \quad (4.12)$$

sendo:

\overline{H} : radiação global diária – média mensal em superfície horizontal;

\overline{H}_c : radiação global diária – média mensal, para condições de céu claro, na localidade e mês em questão;

a, b: constantes empíricas dependentes da localidade e da estação do ano;

\overline{n} : número de horas de insolação diária – média mensal;

\overline{N} : número teórico de horas de insolação diária – média mensal.

DUFFIE; BECKMAN (1991) apresentam o cálculo do número teórico de horas (N) de insolação:

$$N = \frac{2}{15} \arccos(-\tan\phi \tan\delta) \quad (4.13)$$

A equação modificada Angstrom então se torna:

$$\frac{\bar{H}}{H_o} = a + b \frac{\bar{n}}{N} \quad (4.14)$$

A equação 4.15 a seguir apresentada por Duffie e Beckmann (1991) permite a determinação de \bar{H}_o , a radiação extraterrestre incidente em uma superfície horizontal:

$$H_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi d}{365}\right) \right) (\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \omega_s \sin\phi \sin\delta) \quad (4.15)$$

Em 1965, Bennett propôs um novo modelo utilizado com sucesso no hemisfério norte, considerando também os efeitos relativos à altitude local e época do ano, além dos efeitos de duração do brilho solar e da radiação extraterrestre.

$$\frac{\bar{H}}{H_o} = a + b \frac{\bar{n}}{N} + c h \quad (4.16)$$

sendo:

a,b,c: coeficientes determinados a partir de dados observados;

h_{est} – altitude da estação (km).

Bennett desenvolveu o seu modelo tomando como base 41 estações meteorológicas dos Estados Unidos entre 1950 e 1962. As estações encontravam-se em latitudes e altitudes variando entre 25° 48'N a 48° 11'N 0 a 2066 metros.

| Mês | a | b | C |
|-----------|-------|--------|--------|
| Janeiro | 0,225 | 0,4812 | 0,0007 |
| Fevereiro | 0,221 | 0,5026 | 0,0006 |
| Março | 0,221 | 0,5142 | 0,0005 |
| Abril | 0,188 | 0,5574 | 0,0005 |
| Mai | 0,197 | 0,5423 | 0,0004 |
| Junho | 0,235 | 0,478 | 0,0004 |
| Julho | 0,264 | 0,4386 | 0,0004 |
| Agosto | 0,291 | 0,3768 | 0,0006 |
| Setembro | 0,26 | 0,4242 | 0,0006 |
| Outubro | 0,235 | 0,4744 | 0,0005 |
| Novembro | 0,207 | 0,4816 | 0,0007 |
| Dezembro | 0,237 | 0,4343 | 0,0007 |

Tabela 12 – Coeficientes empíricos de correlação de Bennett modificada

Fonte: Nunes et al. (1976)

Após o trabalho de adaptação para o hemisfério Sul de Nunes et al. (1976), Pereira (1991) validou o modelo para Belo Horizonte e Januária, MG. A Tabela 12 mostra a relação dos coeficientes a, b e c de correlação da fórmula de Bennett.

O índice de claridade é a razão entre a radiação solar horária total em uma superfície horizontal e a radiação horária no topo da atmosfera. Baseados neste índice, os modelos mais usualmente utilizados decompõem a radiação solar global em direta e difusa.

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_o} \quad (4.17)$$

Em 1960, Liu e Jordan propuseram um modelo que se baseou no índice de claridade em média mensal:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1,390 - 4,027(\bar{K}_T) + 5,531(\bar{K}_T)^2 - 3,108(\bar{K}_T)^3 \quad (4.18)$$

sendo:

\bar{H}_d – a radiação difusa em média mensal.

A radiação direta \bar{H}_b é obtida subtraindo-se a radiação difusa da radiação solar global. Para avaliar o comportamento dos conjuntos de coletores, será necessário obter dados solarimétricos horários. Estudos estatísticos da distribuição temporal da radiação global em superfícies horizontais levaram à formulação do coeficiente r_t , definido como a razão entre a radiação horária e a diária.

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (4.19)$$

sendo:

I – radiação global horária;

H – radiação global diária.

Collares-Pereira e Rabl (1979) apresentaram a seguinte expressão para r_t :

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (4.20)$$

$$a = 0,409 + 0,5016 \text{ sen } (\omega_s - 60) \quad (4.21)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \text{ sen } (\omega_s - 60)$$

De forma análoga, podemos utilizar a expressão que estima a radiação difusa horária quando esta é conhecida.

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} \quad (4.22)$$

$$r_d = \frac{\pi \text{ COS } \omega - \text{COS } \omega_s}{24 \text{ sen } \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \text{ COS } \omega_s} \quad (4.23)$$

sendo:

I_d – radiação difusa horária;

H_d – radiação difusa diária.

Em geral, as baterias dos coletores solares são instaladas em planos inclinados em relação à horizontal, portanto é preciso saber a radiação incidente no plano do coletor. A equação geral da radiação incidente em média horária no plano inclinado é dada por:

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d,iso} + I_{T,d,cs} + I_{T,d,hz} + I_{T,refl} \quad (4.24)$$

sendo:

I_T – radiação solar global horária no plano inclinado;

$I_{T,b}$ – radiação direta horária na superfície horizontal;

$I_{T,d,iso}$ – radiação difusa parte isotrópica– recebida uniformemente de toda a abóbada celeste;

$I_{T,d,cs}$ – radiação difusa circumsolar – resultante de espalhamentos da radiação concentrada ao redor do Sol;

$I_{T,d,hz}$ – radiação difusa banda do horizonte – concentra-se próxima ao horizonte, mais pronunciada em dias claros;

$I_{T,refl}$ – radiação refletida da vizinhança.

De acordo com Pereira (1998), a distribuição da radiação difusa sob a abóbada celeste é função da nebulosidade e da claridade atmosférica, ambas altamente variáveis levando em consideração a necessidade da decomposição da radiação difusa em três partes: difusa isotrópica, difusa circumsolar e difusa banda do horizonte. Liu e Jordan (1963) propuseram um modelo chamado difusa isotrópico, levando em consideração o chamado céu

isotrópico, no qual toda a radiação difusa é tida como isotrópica, anulando assim os termos $I_{T,d,cs}$ e $I_{T,d,hz}$.

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (4.25)$$

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (4.26)$$

sendo:

R_b – definido como a razão entre os cossenos do ângulo de incidência da radiação direta e do ângulo zenital;

ρ_g – refletância da vizinhança para radiação difusa.

CAPÍTULO 5 – COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DISTRITAL

O homem moderno tem apresentado consumo crescente de energia, sendo parte desta energia consumida na forma de energia térmica, seja para utilização em processos industriais seja para o banho nas residências. De acordo com Macintyre (1997), podem-se dividir as instalações de água quente em:

- Instalações prediais – estão compreendidas sob essa designação as instalações que servem as peças de utilização, aparelhos sanitários ou equipamentos, visando a higiene e o conforto dos usuários;
- Instalações industriais – nestas, a água quente atende a exigências das operações inerentes aos processos empregados na indústria.

Diversos modelos de aquecedores de água, geradores de vapor, bombas, modelos de tubulação e equipamentos de controle estão disponíveis no mercado. A seleção destes equipamentos deve observar uma série de critérios tentando conjugar as melhores características técnico-ambientais e sócio-econômicas (ver capítulo 7). O aquecimento de água, independente do tipo de instalação a ser atendida, pode ser classificado como:

- *Individual* – quando o sistema alimenta somente um aparelho, a exemplo de aquecedores a gás instalados em um banheiro, um chuveiro elétrico ou um aquecedor de passagem elétrico utilizado na cozinha para aquecimento de água da torneira;
- *Central privado* – o sistema alimenta vários aparelhos de uma só unidade (casa ou apartamento). Exemplos: um conjunto de coletores solares ou de aquecedores elétricos em uma casa que atenderá somente à esta residência;
- *Central coletivo* – o sistema alimenta vários aparelhos em várias unidades (casas e ou apartamentos).

Os tipos de instalações a serem estudados nesta dissertação são os de instalações prediais com sistemas de aquecimento de água central coletivo.

5.1 – GERADORES DE VAPOR / CALDEIRAS DE ÁGUA A ALTA TEMPERATURA

No apêndice C são descritos sucintamente diferentes equipamentos e sistemas que podem fazer parte de uma instalação de aquecimento central coletivo.

5.2 – COLETORES SOLARES TÉRMICOS

Os equipamentos convencionais: caldeiras, aquecedores de acumulação e passagem há muito incluem em seu descritivo técnico uma informação essencial, a eficiência. No caso dos coletores solares planos esta eficiência varia com a posição do Sol durante os dias do ano sendo assim necessário que se conheçam as equações para determinação da eficiência térmica dos coletores planos fechados e do sistema térmico coletor solar / reservatório térmico.

5.2.1 – EFICIÊNCIA TÉRMICA DE COLETORES SOLARES PLANOS FECHADOS

“A transmissão, reflexão e a absorção da radiação solar pelos vários componentes de um coletor solar são importantes na determinação do desempenho do coletor. A transmitância (τ), reflectância (ρ) e a absortância (α) são funções da incidência da radiação, espessura, índice de refração e coeficiente de extinção do material. Geralmente o índice de refração e o coeficiente de extinção do material de cobertura são dependentes do comprimento de onda da radiação”. (Duffie e Beckmann, 1991:216)

A eficiência térmica de um Coletor Solar Plano (CSP) pode ser definida como a razão entre o ganho de calor útil pelo fluido e a radiação multiplicada pela taxa de energia solar incidente no plano do coletor. A eficiência pode ser expressa pela equação 5.1 a seguir.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{G.A_{ext}} \quad (5.1)$$

sendo:

\dot{Q}_u – taxa de calor útil transferido para o fluido [W];

G – radiação solar global instantânea incidente no plano do coletor [W/m²];

A_{ext} – área externa do coletor [m²]. Para simplificação considera-se que a área externa também inclui a moldura que suporta a cobertura.

A taxa de calor útil fornecido ao fluido de trabalho é dado por:

$$\dot{Q}_u = \dot{m} \cdot c_p (T_{sai} - T_{ent}) \quad (5.2)$$

sendo:

\dot{m} – vazão mássica de água através do coletor solar [kg/s];

c_p – calor específico da água a pressão constante, igual à 4,18 kJ/kg°C na faixa de operação do CSP;

T_{sai} – temperatura da água à saída do coletor [°C];

T_{ent} – temperatura da água à entrada do coletor [°C].

A equação 5.1 pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c_p (T_{sai} - T_{ent})}{G \cdot A_{ext}} \quad (5.3)$$

Tem-se que parte da radiação solar global (G) incidente sobre a superfície externa da cobertura sofre reflexão ($\rho_c G$) e absorção ($\alpha_c G$), sendo que somente a fração transmitida ($\tau_c G$) atingirá a placa absorvedora do coletor solar. Desta energia, apenas a fração ($\alpha_p \tau_c G$) será absorvida pela placa, sendo responsável pelo aumento de sua temperatura. A Figura 30 mostra um esquema simplificado da trajetória dos raios solares dentro de um coletor solar plano.

A radiação absorvida pela placa por unidade de área da placa coletora plana é dada simplificada pela expressão:

$$S = \tau_c \alpha_p G \quad (5.4)$$

sendo:

S – radiação absorvida pela placa por unidade de área [W/m²];

τ_c – transmissividade da cobertura;

α_p – absorvidade da placa.

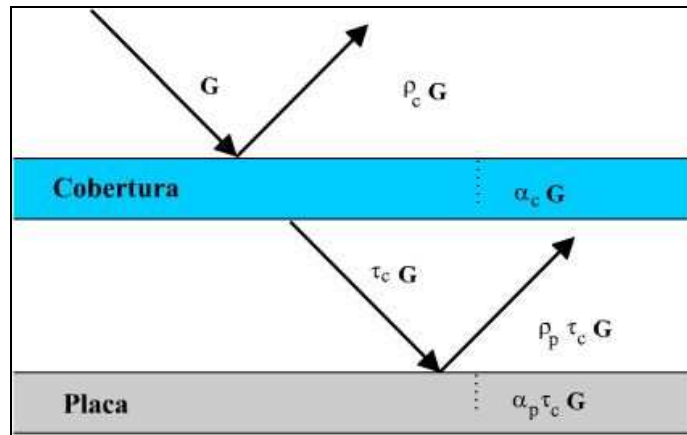


Figura 30 – Esquema simplificado da trajetória dos raios solares dentro do coletor solar plano.
 Fonte: Pereira (2002)

Os produtos da transmitância-absortância ($\tau\alpha$) devem ser considerados como representativos das propriedades combinadas.

A eficiência de um Coletor Solar Plano Fechado (CSPF) está relacionada com a intensidade da radiação solar incidente na sua superfície de absorção, aos materiais utilizados em sua confecção e às suas propriedades. Por isto é tão importante a escolha, por parte dos fabricantes, de coberturas com elevadas transmissividades e de placas absorvedoras pintadas com tintas de alta absorvidade. A Figura 31 mostra um exemplo do balanço de energia no coletor solar por meio do diagrama de Sankey.

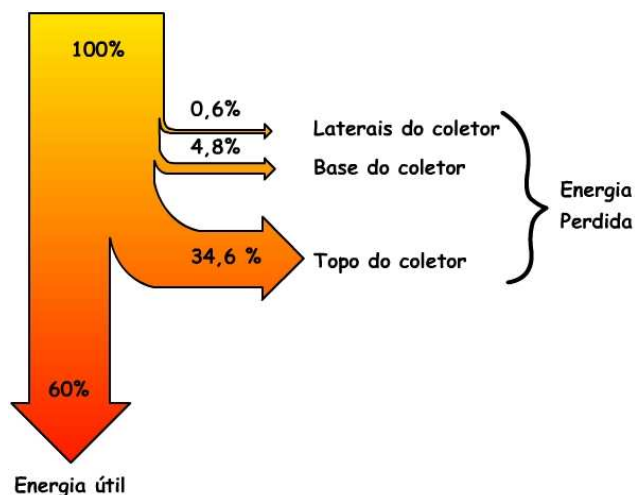


Figura 31 – Balanço de energia no coletor solar plano em condições pré-definidas de operação.
 Fonte: Pereira (2002)

Fazendo o balanço térmico do coletor tem-se: (Pereira, 2002)

$$\left[\begin{array}{c} \text{Energia absorvida} \\ \text{pela placa} \end{array} \right] = \left[\text{Energia útil} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Energia perdida} \\ \text{pelo topo} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Energia perdida} \\ \text{pela base} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Energia perdida} \\ \text{pela lateral} \end{array} \right] \quad (5.5)$$

Equacionando o balanço então se pode escrever:

$$S = q''_{\text{útil}} + q''_{\text{topo}} + q''_{\text{base}} + q''_{\text{lat}} \quad (5.6)$$

Como a taxa de transferência de calor (Q) é igual ao produto do fluxo de calor (q) pela área da placa (A_p):

$$Q = q'' \cdot A_p \quad (5.7)$$

Neste trabalho a área da placa (A_p) foi adotada como área de referência e a área da cobertura (A_{tr}) é igual à área da placa. Reescrevendo, então, a equação 5.6 tem-se:

$$S \cdot A_{tr} = Q_u + Q_{\text{topo}} + Q_{\text{base}} + Q_{\text{lat}} \quad (5.8)$$

sendo:

A_{tr} – área transparente da cobertura, área envidraçada;

Q_u – energia útil cedida ou absorvida pelo coletor

Q_{topo} – energia cedida ou absorvida pelo topo do coletor;

Q_{base} – energia cedida ou absorvida pela base do coletor;

Q_{lat} – energia cedida ou absorvida pelas laterais do coletor.

As perdas de um coletor solar térmico plano ocorrem pelo topo, pela base e pelas laterais.

A soma das perdas é chamada de Q_{per} e pode ser escrita como:

$$Q_{\text{per}} = Q_{\text{topo}} + Q_{\text{base}} + Q_{\text{lat}} \quad (5.9)$$

Logo, a equação 5.6 torna-se:

$$Q_u = A_{tr} \cdot S - Q_{\text{per}} \quad (5.10)$$

A energia térmica perdida pelo coletor para vizinhança por condução, convecção e radiação é representada pelo coeficiente global de perdas U_L vezes a diferença entre a temperatura da placa absorvedora da temperatura ambiente.

$$Q_{\text{per}} = U_L A_{tr} (T_{pa} - T_{amb}) \quad (5.11)$$

sendo:

T_{pa} – temperatura da placa absorvedora;

T_{amb} – temperatura ambiente;

U_L – coeficiente global de perdas.

As equações para o cálculo de U_L estão disponíveis em Pereira (2002 parte B p18.).

Substituindo-se 5.11 em 5.10 e explicitando-se A_{tr} tem-se:

$$Q_u = A_{tr} [S - U_L (T_{pa} - T_{amb})] \quad (5.12)$$

De acordo com Duffie e Beckmann (1991), a temperatura da placa absorvedora é de difícil cálculo ou medição, uma vez, que ela tem ligação direta com os materiais utilizados, a radiação solar incidente e as condições de entrada da água. É introduzido então o fator de remoção, que relaciona o ganho real de energia útil do coletor dividido pelo ganho útil máximo hipotético se toda a superfície coletora estiver na temperatura do fluido que entra no coletor. O fator de remoção pode ser avaliado experimental ou analiticamente.

$$F_R = \frac{Q_u}{Q_{u(máx)}} \quad (5.13)$$

onde:

$$Q_{u(máx)} = A_{tr} [S - U_L (T_{ent} - T_{amb})] \quad (5.14)$$

Q_u será máximo quando toda superfície da placa estiver na temperatura de entrada do fluido no coletor, pois as perdas de calor seriam mínimas. A expressão algébrica do fator de remoção de calor é:

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p (T_{sai} - T_{ent})}{A_{tr} [S - U_L (T_{ent} - T_{amb})]} \quad (5.15)$$

Então, combinando a equação 5.12 com a equação 5.2 tem-se:

$$Q_u = A_{tr} F_R [S - U_L (T_{ent} - T_{amb})] \quad (5.16)$$

A expressão para o cálculo analítico do fator de remoção é dada por Duffie e Beckmann (1991) pela equação:

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p}{A_{tr} U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_{tr} U_L F'}{\dot{m} c_p} \right) \right] \quad (5.17)$$

Onde:

F' – fator de eficiência do coletor solar, determinado pelos parâmetros de projeto, e calculado por:

$$F' = \frac{1}{U_L} \frac{1}{W \left[\frac{1}{U_L [d + (W - d) F]} + R'_{cont} + \frac{1}{\pi d_i h_{fi}} \right]} \quad (5.18)$$

onde:

d – diâmetro externo dos tubos;

F – eficiência das aletas, considerando a aleta reta de perfil retangular;

W – distância entre os tubos;

d_i – diâmetro interno dos tubos;

δ_p – espessura da placa;

R'_{cont} – resistência térmica de contato entre a placa absorvedora (aletas) e os tubos, por unidade de comprimento, na direção do escoamento do fluido. Pereira (2002);

h_{fi} – coeficiente de transferência de calor por convecção entre a superfície interna dos tubos e o fluido de trabalho; é calculado com base nas equações clássicas da transferência convectiva de calor para escoamento interno, Incropera (1992).

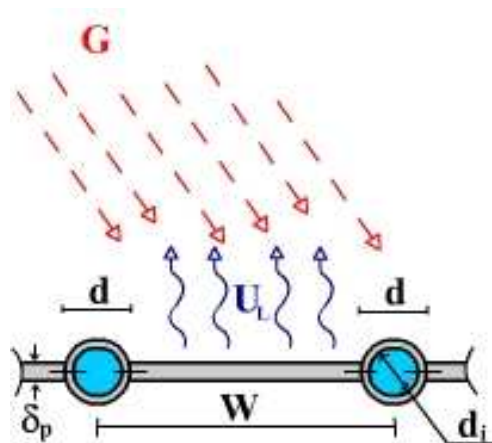


Figura 32 – Placa absorvedora do coletor solar plano.

Ilustração: Guilherme Carvalho Velloso Costa

Para o cálculo da eficiência da aleta, são utilizadas equações clássicas de transferência de calor Incropera, 1992. Consideram-se para o referido cálculo condições de regime permanente na metade das distâncias W . Neste ponto o fluxo líquido de calor é nulo e pode-se então classificar a aleta como uma aleta de ponta adiabática. De acordo com Pereira (2002), a análise pela primeira lei da termodinâmica não nos permite identificar pontos de otimização do coletor solar avaliado. Para isto é necessário introduzir o cálculo da eficiência térmica pelo método das perdas. Para tanto se substitui, na equação 5.1, a equação 5.16, considerando-se a equação 5.4 e obtém-se:

$$\eta = \frac{A_{tr}}{A_{ext}} \left[F_R (\tau_c \cdot \alpha_p) \cdot G - F_R \cdot U_L (T_{ent} - T_{amb}) \right] \quad (5.18)$$

ou ainda:

$$\eta = \frac{A_{tr}}{A_{ext}} \left[F_R (\tau_c \cdot \alpha_p) - \frac{F_R \cdot U_L (T_{ent} - T_{amb})}{G} \right] \quad (5.19)$$

sendo:

A_{ext} – área externa do coletor, incluindo-se a moldura que suporta o vidro.

Esta equação é denominada equação da eficiência térmica instantânea de coletores solares planos.

Utilizando as equações acima, é possível estimar a eficiência de um coletor solar teoricamente, ou utilizar valores fornecidos de testes realizados em laboratório. A utilização de métodos teóricos de cálculo é muito importante nos projetos de melhoramento da eficiência de coletores solares. Seus dados são inseridos em um software, que por sua vez calcula a eficiência média do coletor, permitindo assim o desenvolvimento de produtos cada vez mais eficientes e com melhor razão custo / benefício. Dentre os softwares que permitem este tipo de desenvolvimento encontra-se o SISCOS desenvolvido pelo Green em um projeto para a FAPEMIG (Pereira, 1998). Desta maneira, fica mais fácil o trabalho do “projetista solar”, pois ele pode, através de modelos matemáticos, estimar a eficiência do seu coletor antes mesmo da fabricação.

Devido à grande diversidade de modelos de coletores e dos materiais utilizados para sua fabricação, tornou-se necessária a criação de critérios que permitissem comparar diferentes modelos de coletores independentemente do material utilizado.

Com intuito de permitir aos consumidores a escolha de coletores solares que apresentem a melhor razão custo / benefício, os fabricantes reuniram-se com representantes do Inmetro, Green, e ABRVA e assim iniciar o Programa Brasileiro de Etiquetagem para coletores solares térmicos.

De acordo com informações constantes no portal do Inmetro, o Programa Brasileiro de Etiquetagem visa a prover os consumidores de informações que permitam-lhes avaliar e otimizar o consumo de energia dos equipamentos eletrodomésticos, selecionar produtos de maior eficiência em relação ao consumo, e melhor utilizar eletrodomésticos, possibilitando economia nos custos de energia.

Esses critérios tornaram-se realidade com a elaboração de procedimentos baseados em normas estrangeiras e nacionais, que são os elementos por trás do resultado mais visível, que é a etiqueta do Inmetro.

A etiqueta do Inmetro traz uma orientação para os consumidores a respeito dos modelos de coletores solares disponíveis no mercado e a sua produção média mensal de energia. Entretanto, esta informação é útil apenas para uma comparação inicial entre os diversos produtos disponíveis no mercado nacional. O GT-SOL (grupo de trabalho em energia solar), coordenado pelo Inmetro, definiu como referência para o cálculo de eficiência e de produção média mensal de energia, o mês de setembro para a cidade de Belo Horizonte, considerando a inclinação dos coletores igual a 25°. A Figura 33 mostra a etiqueta do Inmetro.

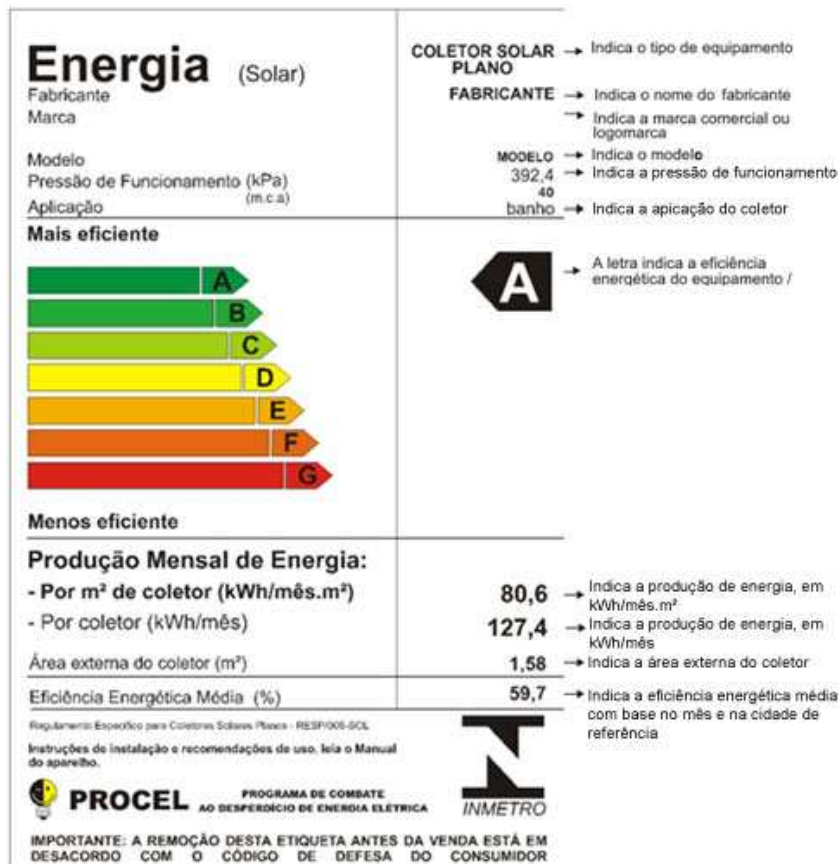


Figura 33 – Etiqueta do Inmetro

Fonte: Inmetro (01/01/2005)

A classificação de um coletor solar depende de seu desempenho nos testes definidos pelo GT-SOL / Inmetro. A norma (ANSI / ASHRAE 96 –1986 RA91) utilizada no teste de eficiência térmica instantânea fixam as seguintes exigências:

1. ângulo de incidência da radiação solar direta inferior a 30°;
2. radiação solar incidente no plano do coletor superior a 630 W/m²;
3. vazão mássica do fluido de trabalho igual a 0,02 kg/s por m² de área externa do coletor;
4. velocidade do vento no plano do coletor (plano médio) menor do que 4,5 m/s;
5. regime quase-permanente.

Como consequência da primeira condição acima, o produto transmitância – absorptância ($\tau_c \alpha_p$) é conhecido como produto $(\tau_c \alpha_p)_n$, evidenciando a incidência praticamente normal

da radiação direta. Pereira (2002) –Parte B. Devido ao fato das normas fixarem a condição do ângulo de incidência, torna-se necessária a aplicação de um fator de correção para o ângulo de incidência, pois nas instalações o ângulo será, em partes do dia, maior do que 60°. Este fator é obtido por um ensaio que tem por exigências:

1. ângulo de incidência da radiação solar direta variando entre 0 e 60°;
2. a diferença entre a temperatura do fluido de trabalho na entrada do coletor e a temperatura ambiente deve ser inferior a 1°C;
3. vazão mássica do fluido de trabalho igual a 0,02 kg/s por m² de área externa do coletor;
4. velocidade do vento no plano do coletor (plano médio) menor do que 4,5 m/s;
5. regime quase-permanente.

A exigência da condição 2 torna praticamente nulo o segundo termo da equação 5.19, sendo possível então reescrevê-la:

$$\eta_{\theta} = \frac{A_{tr}}{A_{ext}} \left[F_R (\tau_c \cdot \alpha_p) \right]_{\theta} \quad (5.20)$$

sendo que o subscrito θ indica que os valores de eficiência térmica e do produto $(\tau_c \alpha_p)$ são determinados para ângulos de incidência entre 0 e 60°. O fator de correção para o ângulo de incidência $K_{\tau\alpha}$ é definido como sendo a razão da eficiência medida para um determinado ângulo θ e o valor máximo obtido para $\theta = 0^\circ$.

$$K_{\tau\alpha} = \frac{(\tau_c \alpha_p)_{\theta}}{(\tau_c \alpha_p)_n} \quad (5.21)$$

Uma expressão geral é sugerida por Souka e Safwat (1966) para o cálculo do $K_{\tau\alpha}$ no CSP.

$$K_{\tau\alpha} = 1 + b_0 \left(\frac{1}{\cos(\theta)} - 1 \right) \quad (5.22)$$

onde o parâmetro b_0 varia entre 0,055 e 0,222. De acordo com Pereira (2002), o fator de correção para o ângulo de incidência aplicado à equação 5.19 corrige o valor da eficiência térmica do coletor para ângulos de incidência superiores a 30°. A equação 5.19 pode então ser reescrita.

$$\eta = \frac{A_{tr}}{A_{ext}} \left[F_R K_{\tau\alpha} (\tau_c \cdot \alpha_p)_n - \frac{F_R U_L (T_{ent} - T_{amb})}{G} \right] \quad (5.23)$$

Depois de cumpridas todas as etapas dos testes realizados no Green Solar para classificação dos coletores solares, os fabricantes e os demais associados da ABRAVA recebem a curva de eficiência e os seguintes dados dos coletores testados: área externa do coletor, produção média mensal de energia, eficiência energética média, o fator $F_R U_L$, o fator $F_R \tau_c \alpha_p$, o fator K e a faixa de classificação. A Figura 34 abaixo mostra a curva de eficiência de um CSP.

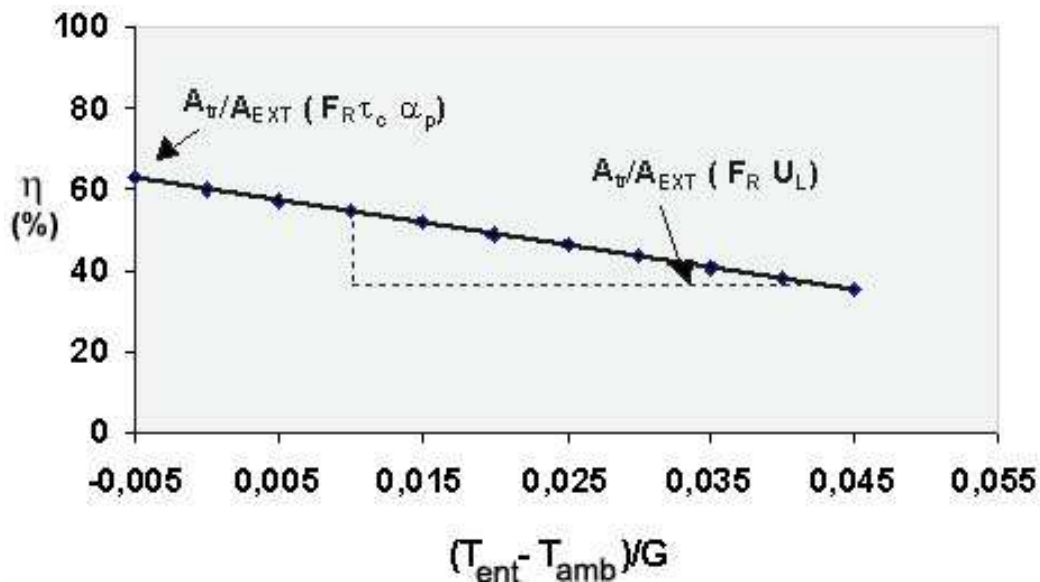


Figura 34 – Curva genérica de eficiência térmica instantânea de coletores solares.

Fonte: Pereira (2002) parte B.

No eixo das abscissas tem-se o termo $(T_{ent} - T_{amb})/G$ e nas ordenadas a eficiência η . Desta maneira, a inclinação da reta representa o parâmetro $\frac{A_{tr}}{A_{ext}} (F_R U_L)$ e a interceptação da reta com o eixo das ordenadas representa $\frac{A_{tr}}{A_{ext}} (F_R \tau_c \alpha_p)$. Estes valores são obtidos nos testes do grupo 2, eficiência térmica instantânea, constante de tempo e fator de correção para o ângulo de incidência.

5.2.2 – PRODUÇÃO MENSAL MÉDIA DE ENERGIA POR COLETOR SOLAR

Para determinar a produção mensal de energia por coletor solar em média mensal é necessário considerar que a energia produzida pelo coletor solar durante uma hora é equivalente ao produto de sua eficiência térmica pela energia incidente no plano do coletor durante este mesmo período. O valor horário é multiplicado por 30 para obtenção da energia gerada no decorrer de um mês, em cada intervalo de tempo. A soma dos valores horários para as i horas do dia, com nível aceitável de radiação solar, fornece a produção mensal de energia. Pereira (2002) Parte B. A equação 5.24 a seguir correlaciona a eficiência, a radiação direta e a difusa, e a área externa do coletor.

$$E_{Mensal} = \sum_{i=1}^9 30 \cdot \eta (I_{dir} + I_{dif}) \cdot 1h \cdot \frac{1}{1000} \cdot A_{ext} \quad (5.24)$$

onde:

i – índice que varia de 1 a 9, correspondendo ao período entre 8 e 17 horas.

Duffie; Beckman (1991) orientam que, nas análises econômicas do desempenho de sistemas de aquecimento a longo prazo, é conveniente expressar a contribuição da energia solar em relação à carga total em termos de fração. Ou seja, é importante conhecer a demanda que será suprida pela energia fornecida pelo Sol. Para tanto é apresentado a seguir o *método da carta f*.

5.2.3 – O MÉTODO DA CARTA – F

O método da Carta – f permite o cálculo da fração solar, ou seja, a porcentagem da demanda total de energia que é suprida pela energia solar. Este método foi desenvolvido por Beckman et al. (1977) como resultado de diversas simulações matemáticas. A fração solar é determinada mês a mês e é definida como a razão entre a energia fornecida pelo sistema de aquecimento solar ($Q_{útil}$) e a demanda mensal de energia (L_{men}), ou seja:

$$f_{anual} = \frac{Q_{útil}}{L_{men}} \quad (5.25)$$

Simulações detalhadas foram utilizadas para o desenvolvimento dos seguintes parâmetros adimensionais X e Y:

$$X = \frac{A_C F_R U_L (T_{ref} - \overline{T_{amb}}) \Delta t_i}{L_{men}} \quad (5.26)$$

$$Y = \frac{A_C F_R (\tau_c \alpha_p)_\theta H_T N_i}{L_{men}} \quad (5.27)$$

sendo:

A_C – área total de coletores solares [m²];

$\overline{T_{amb}}$ – temperatura ambiente média para o mês em questão [°C];

T_{ref} – temperatura de referência determinada empiricamente e igual a 100 °C;

Δt_i – duração do mês [s];

L_{men} – demanda mensal de energia [J];

H_T – radiação solar diária em média mensal [J/m²];

N_i – número de dias do mês.

O subscrito θ indica que os valores calculados são determinados para ângulos de incidência entre 0 e 60°. Para a determinação da temperatura ambiente em média horária, utiliza-se o modelo recomendado pela ASHRAE, possuindo como dados de entrada apenas as temperaturas máxima e mínima para o mês a ser calculado.

$$\overline{T_{amb}} = T_{max} - \frac{\Delta T}{2} + \frac{\Delta T}{2} \cos \left[\frac{15(HS - 14)\pi}{180} \right] \quad (5.28)$$

sendo:

$\Delta T = T_{max} - T_{min}$;

HS: hora solar.

Duffie; Beckman (1991) recomendam que, quando a informação a respeito do produto $(\tau_c \alpha_p)_\theta$ não estiver disponível, pode-se adotar o valor obtido por ensaios de laboratórios credenciados de acordo com a expressão abaixo:

$$(\tau_c \alpha_p)_{m\acute{a}x} \equiv 0,96 (\tau_c \alpha_p)_\theta \quad (5.29)$$

A determinação da fração solar pode ser feita através de ábacos como o constante de Duffie, Beckman (1991) ou pela expressão:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (5.30)$$

Entretanto, a adoção deste modelo deve estar condicionada ao atendimento das restrições colocadas por Duffie e Beckmann (1991), tabela 13.

| | | | | |
|-----|---|------------------|---|-------------------------|
| 0,6 | < | $(\tau\alpha)_n$ | < | 0,9 |
| 5 | < | F_{RAc} | < | 120 m ² |
| 2,1 | < | U_L | < | 8,3 W/m ² °C |
| 30 | < | β | < | 90° |
| 83 | < | $(UA)_{res.}$ | < | 667 W/°C |

Tabela 13 – Faixa de valores válidos para a aplicação do modelo da Carta – F

Fonte: Duffie, Beckman (1991).

A Carta – f foi desenvolvida considerando-se um reservatório com capacidade de 75 litros por metro quadrado de área coletora. Nem todas as instalações, entretanto, trabalham com esta relação. Para tanto, Duffie; Beckman (1991) desenvolveram uma equação de correção onde o volume padrão é igual a 75 l/m² e é dada por:

$$X_{cor1} = X \left[\frac{\text{relação (volume/área) atual}}{\text{volume padrão}} \right]^{-0,25} \quad (5.31)$$

É necessário que seja feita uma segunda correção, pois o sistema para o qual foi baseado o cálculo tinha em sua composição trocadores de calor e aquecimento do ar, que não são típicos da realidade brasileira. Neste estudo somente é abordado o aquecimento de água; para isto Duffie, Beckman (1991) propuseram a seguinte equação de correção:

$$X_{cor2} = X_{cor1} \left[\frac{11,6 + 3,86T_{rede} + 1,18T_{min} - 2,32T_{amb}}{100 - T_{amb}} \right] \quad (5.32)$$

sendo:

T_{rede} – temperatura da água vinda da rede pública [°C];

T_{min} – temperatura mínima da água quente (desejável) [°C].

De acordo com Pereira (2001), a fração solar anual F é definida como a razão entre a soma das contribuições mensais do aquecimento solar e a demanda anual de energia que seria necessária para fornecer o mesmo nível de conforto e pode ser obtida através da equação 5.33 a seguir.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_{men(i)} L_{men(i)}}{\sum_{i=1}^{12} L_{men(i)}} \quad (5.33)$$

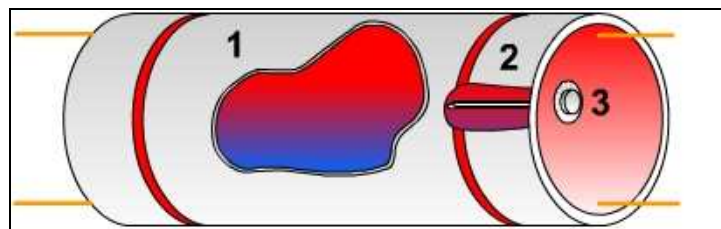
onde:

$f_{men(i)}$ – fração solar mensal do mês i ,

$L_{men(i)}$ – Demanda de água quente mensal do mês i .

5.3 – RESERVATÓRIO TÉRMICO

O reservatório térmico é utilizado para o armazenamento da água quente. São tanques que podem ser feitos de diversos materiais e em diversos formatos. Os reservatórios térmicos de menor porte são em geral compostos por um cilindro interno (normalmente feito em aço-inoxidável ou cobre), isolamento e proteção externa. Para a proteção externa devem ser utilizadas capas metálicas. A Figura 35 ilustra um reservatório térmico com aquecimento auxiliar elétrico.



1. Estratificação do reservatório 2. Resistência de aquecimento auxiliar 3. Termostato de controle

Figura 35 – Reservatório térmico.

Fonte: Coleção vendendo energia solar com qualidade – RESOLVER Engenharia.

A estratificação do reservatório ocorre devido à variação da densidade da água com a temperatura. Ao entrar no reservatório com temperatura mais baixa do que a água que se encontra no seu interior, a água tende a se posicionar abaixo da camada mais quente. Este fenômeno denomina-se estratificação por que a água se dispõe no interior do reservatório como que em camadas de acordo com suas densidades (ou temperaturas).

Para a seleção de um reservatório térmico devem ser levados em consideração os seguintes aspectos:

- reservatório único ou múltiplo;
- reservatório pressurizado ou não;

- trocador de calor interno ou externo;
- material de isolamento e revestimento do reservatório;
- finalidade do uso da água;
- limitações impostas pela disponibilidades de equipamentos no mercado;
- acessibilidade, espaço físico disponível e localização deste espaço.

A seleção de um reservatório térmico é um dos elementos mais importantes para o bom funcionamento do sistema como um todo. Deve-se levar em consideração as perdas de energia no reservatório térmico, que, dependendo de como foi projetado / construído, são elevadas. De acordo com Pereira (2002), o coeficiente de perda de calor do reservatório térmico é calculado de acordo com a Norma ISO 9459, pela equação:

$$U_s = \frac{\rho \cdot C_p \cdot V_u}{\Delta t} \cdot \ln \left(\frac{T_i - T_{amb}}{T_f - T_{amb}} \right) \quad (5.34)$$

U_s – coeficiente de perda de calor (W/°C);

V_u – capacidade volumétrica útil do tanque (m³);

ΔT – período de tempo de resfriamento (segundos);

T_i e T_f – temperatura da água no início e no final do período de resfriamento respectivamente (°C);

T_{amb} – temperatura ambiente média durante o resfriamento(°C).

O coeficiente de perda de calor é usado para calcular a perda percentual de energia diária do reservatório, através da equação:

$$\frac{Q_{RT}}{Q_i} = 1 - \exp \left(- \frac{U_s \cdot \Delta t}{\rho \cdot C_p \cdot V_{útil}} \right) \quad (5.35)$$

A razão Q_{RT}/Q_i representa a perda percentual de energia diária do reservatório térmico. Devido à característica intermitente da radiação solar, faz-se necessária a utilização de um sistema de *backup* que possa suprir as necessidades do sistema devido à alternância entre dias e noites, dias nublados e chuvosos. Maiores informações podem ser obtidas na Norma ISO 9459.

Em sistemas de pequeno porte geralmente o *backup* é elétrico, mas também tem sido utilizado o gás natural nas regiões onde ele está disponível.

5.4 – SISTEMA DE BOMBEAMENTO E DISTRIBUIÇÃO

A bomba é uma máquina geratriz hidráulica que transforma trabalho mecânico recebido de um motor em energia hidráulica.

Em geral, a especificação de uma bomba, o equipamento principal em um sistema de bombeamento, depende do conhecimento de duas grandezas:

- vazão a ser recalçada e
- altura manométrica da instalação.

Neste estudo serão consideradas somente bombas centrífugas. Entretanto as equações apresentadas nesta seção são igualmente válidas para outros modelos de bomba. As bombas centrífugas apresentam vantagens em relação a alguns outros modelos de bombas pela capacidade de operar em uma larga faixa de vazão. Para que uma bomba seja corretamente selecionada, devem ser seguidos alguns passos. O diagrama seqüencial de cálculo da Figura 36 apresenta um esquema para facilitar a coleta / cálculo dos dados para posterior seleção da bomba.

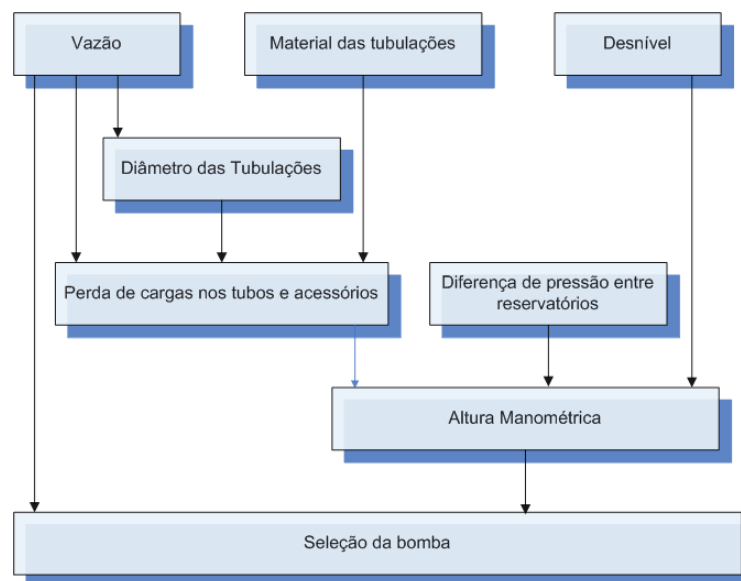


Figura 36 – Seqüência de operações para cálculo e escolha de uma bomba.

Fonte: Carvalho (1995).

5.5 – OUTROS COMPONENTES

Registro misturador solar.

O registro misturador solar permite a instalação de sistemas de aquecimento solar em residências já construídas e sem rede hidráulica específica para água quente. (Figura 37) O funcionamento do registro é simples, para regulação da temperatura da água, basta aumentar ou diminuir a abertura da haste metálica que abre o registro liberando a água quente proveniente do reservatório térmico.

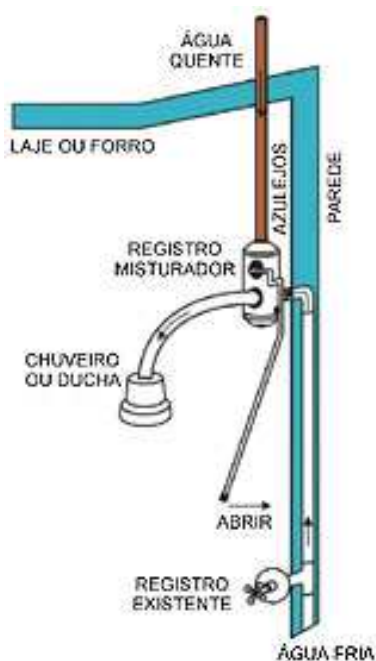


Figura 37 – Registro misturador solar.

Fonte: Soletrol. Disponível em <<http://www.soletrol.com.br>>.

Unidade de controle de temperatura

Geralmente conectada à entrada de vapor de uma serpentina de aquecimento, mantém a temperatura dentro da faixa desejada, mediante a abertura e fechamento de uma válvula solenóide comandada por termostato. Aplicado no aquecimento de fluidos entre os quais água e óleo combustível pesado para facilidade de manutenção, o sistema é dotado de um desvio (*by-pass*). (Figura 38)

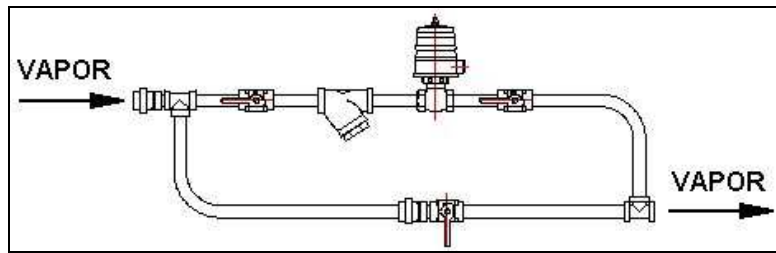


Figura 38 – Válvula de controle

Fonte : Aalborg Industries S.A. Disponível em <<http://www.aalborg-industries.com.br>>.

Válvulas de retenção

Indicadas para impedir refluxo em tubulações de vapor, água, óleos leves e outros fluidos. É de construção simples, tem peso e tamanho reduzidos. A montagem é feita entre flanges, padrão ANSI ou DIN. Admite qualquer posição de instalação, permitindo melhor leiaute para a tubulação. É de fácil instalação e manutenção (Figura 39).

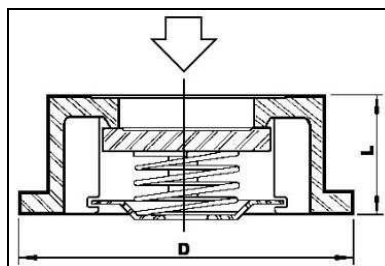


Figura 39 – Válvula de retenção (vista em corte)

Fonte : Aalborg Industries S.A. Disponível em <<http://www.aalborg-industries.com.br>>.

Válvula de descarga rápida

Tem por finalidade eliminar os sólidos acumulados no fundo de uma caldeira. O funcionamento é manual ou automático (Figura 40). A válvula automática permite ajustar a duração da descarga e o intervalo entre as descargas.



Figura 40 – Válvula de descarga rápida.

Fonte : Aalborg Industries S.A. Disponível em <<http://www.aalborg-industries.com.br>>.

Bomba de óleo a engrenagens

A bomba de óleo é própria para óleo leve e óleo pesado (Figura 41). O acionamento é direto por meio de motor elétrico, através de acoplamento elástico.



Figura 41 – Bomba de óleo a engrenagens.

Fonte : Aalborg Industries S.A. Disponível em <<http://www.aalborg-industries.com.br>>.

Tanque de armazenamento para óleo combustível

Destinado ao armazenamento de produtos que devem ser mantidos aquecidos, formato cilíndrico–horizontal (Figura 42). Pode vir de fábrica com serpentina de aquecimento a vapor , tem pintura externa à base de betume

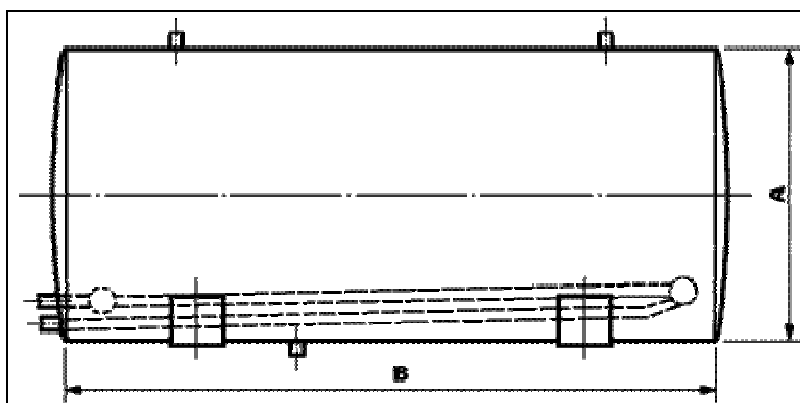


Figura 42 – Tanque de armazenamento de óleo combustível.

Fonte : Aalborg Industries S.A. Disponível em <<http://www.aalborg-industries.com.br>>.

CAPÍTULO 6 – DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DISTRITAL PARA O BRASIL

O presente trabalho tem por objetivo permitir que engenheiros projetistas de sistemas de aquecimento tenham uma ferramenta simples para dimensionamento de sistemas de aquecimento de água de grande porte.

Diversos são os equipamentos disponíveis no mercado que podem atender às necessidades de projeto de um sistema de aquecimento de água, daí a dificuldade na sua seleção.

A partir da década de 1970, com a intensificação das pesquisas em energia solar, o coletor solar térmico tornou-se uma nova e excelente opção. A gratuidade da energia solar, o avanço das tecnologias, a constante redução do preço dos coletores solares e a preocupação dos governos a respeito da finitude de recursos energéticos tradicionais são fatores que têm impulsionado mercados e consumidores a buscar a energia solar térmica como alternativa às tecnologias já existentes de geração de calor.

Para a implantação de um sistema de aquecimento, seja ele predial ou industrial, é necessária a elaboração de um projeto. De acordo com Woiler e Mathias (1992) um projeto pode ser entendido como um conjunto de informações, que são coletadas e processadas, de modo que simulem uma dada alternativa de investimento para testar sua viabilidade. Os principais aspectos de um projeto de acordo com autores como Simonsen e Flanzer (1974), Woiler e Mathias op. Cit (1992); e Camargo (1998) são:

- econômicos;
- financeiros;
- jurídicos e legais;
- técnicos;
- ambientais;
- administrativos e contábeis.

Os projetos nascem de uma oportunidade de negócio, política pública específica, incentivos fiscais, pressão interna, procura externa. Entretanto, sem uma forte base técnica o projeto não se sustenta.

Não é proposta deste trabalho fornecer uma ferramenta de cálculo que abranja todas as etapas de um projeto detalhado, como também não é possível esgotar todos os detalhes relativos a uma instalação de grande porte. Os objetivos aqui, conforme seção 1.1 são:

- estabelecer um modelo e uma metodologia para avaliar a implantação de sistemas distritais de aquecimento de água de grande porte, em particular de sistemas solares térmicos, sob os pontos de vista técnico, sócio–econômico e ambiental;
- elaborar um software simples para avaliação comparativa de sistemas de aquecimento distrital solar de grande porte e outros sistemas de aquecimento (gás natural, eletricidade da rede, biomassa, óleo combustível e diesel);
- aplicar o modelo e a metodologia a pelo menos um estudo de caso.

6.1 – ESTRUTURA DE CÁLCULO

A estrutura de cálculo mostrada a seguir contempla os equipamentos e suprimentos de energia mostrados na Figura 17, aqui repetida. Serão abordados na estrutura de cálculo sistemas utilizando coletores solares, caldeiras e aquecedores de acumulação e passagem.

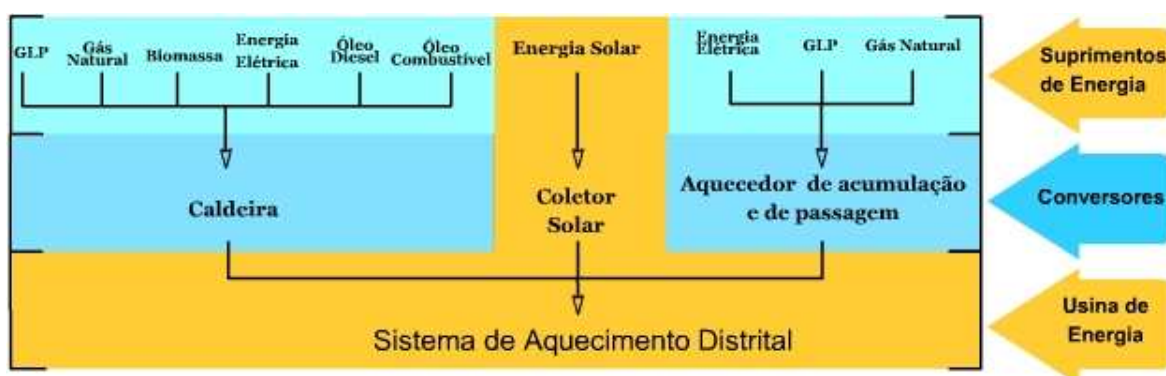


Figura 43 – Estrutura de cálculo – Suprimentos de energia, conversores e usina de energia.

O diagrama da Figura 44 ilustra todo o processo de cálculo mostrando os passos a serem seguidos. Cada um dos passos listados será detalhado em seguida.

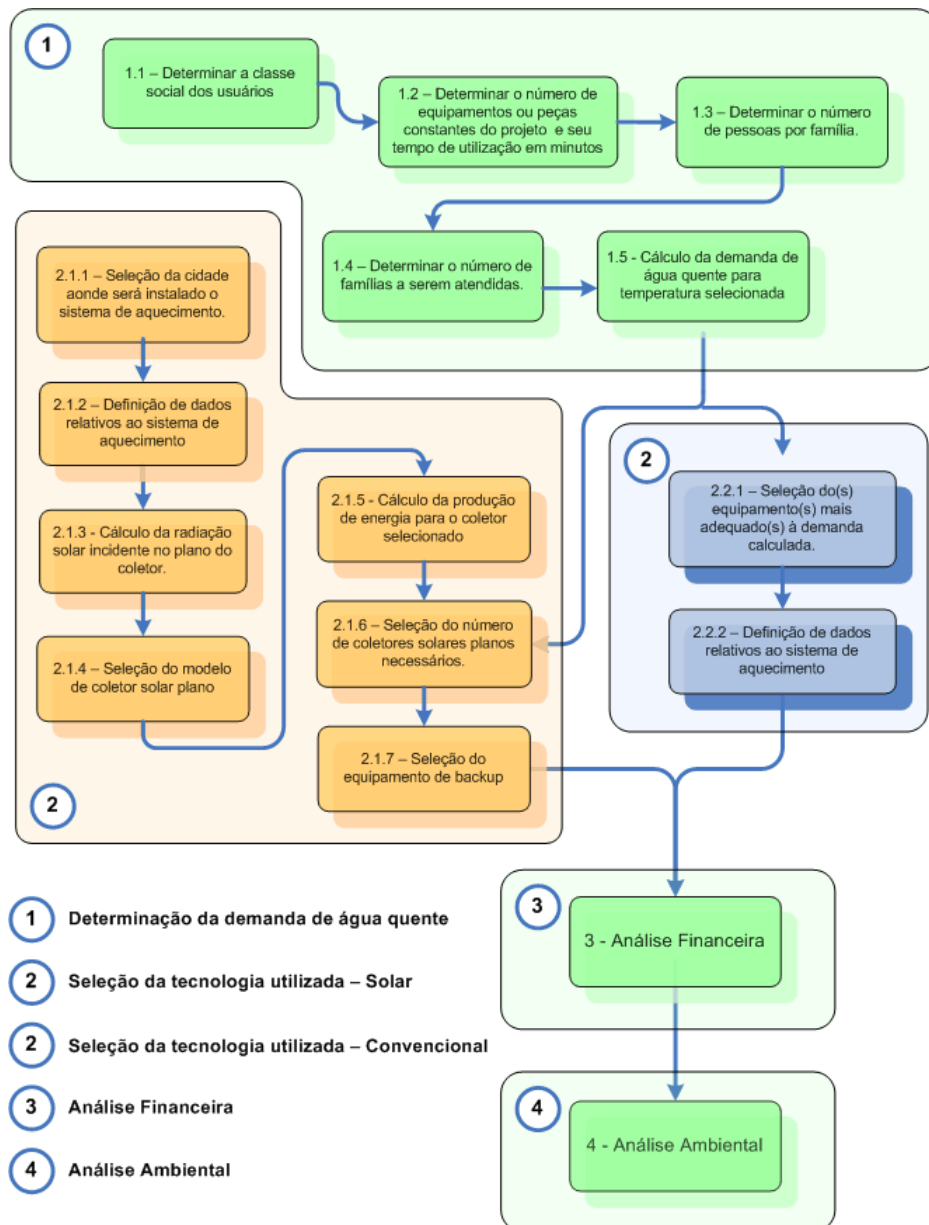


Figura 44 – Passos para projeto de sistema de aquecimento.

6.1.1 – DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA QUENTE

A determinação da demanda de água quente deve seguir as orientações dispostas na Norma Brasileira de Instalação Predial de Água Quente – NB 128 ou experiência anterior. Entretanto, de acordo com Pereira (2002), o valor de consumo por pessoa proposto para o chuveiro é bastante controverso, pois no caso de casas populares, são instalados chuveiros de potência de até 4.400W e a vazão do banho é limitada pelo próprio equipamento em 3 litros/minuto. Em razão das considerações acima, o valor utilizado neste

trabalho para a classe E foi de 3,0 litros/minuto. O diagrama da Figura 45 mostra os passos para a determinação da demanda de água quente.

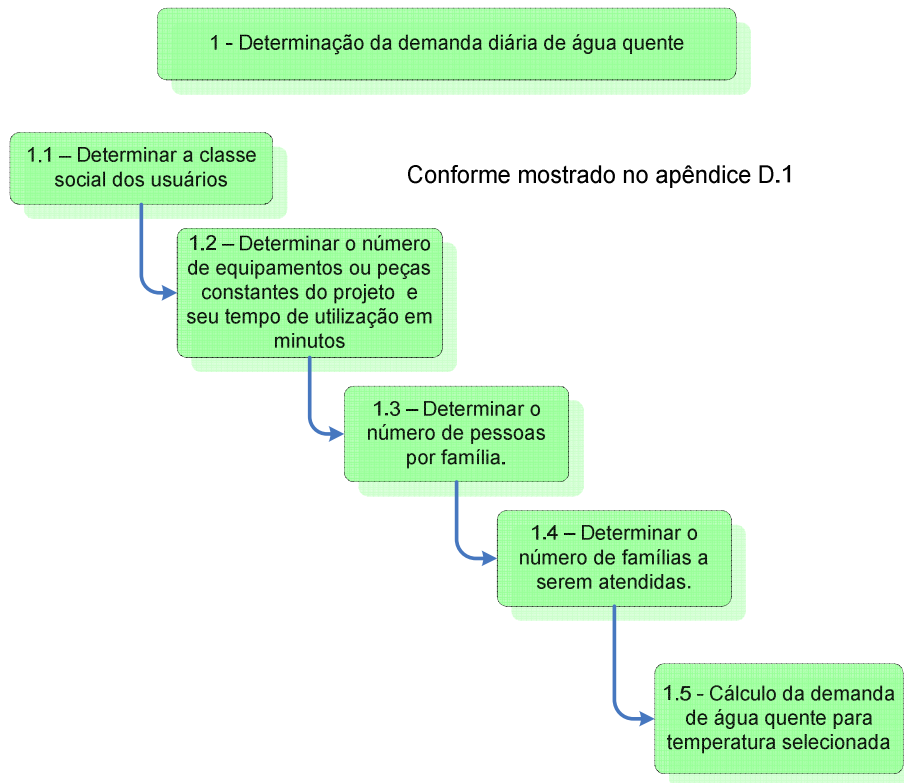


Figura 45 – Cálculo da demanda de água quente diária.

Uma vez determinada a demanda de água quente é preciso selecionar a tecnologia de aquecimento a ser utilizada.

6.1.2 – SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS

O diagrama da Figura 46 mostra os passos para cálculo dos sistemas que utilizam coletores solares planos.

A seleção do equipamento de *backup* é feita levando-se em consideração que para o caso de dias com nebulosidade elevada ou chuva por dias seguidos o *backup* deve atender 100% da demanda. De acordo com recomendações da Norma NBR-7198, o cálculo do *backup* é feito levando-se em conta que 1/3 do volume seja aquecido na temperatura desejada em duas horas.

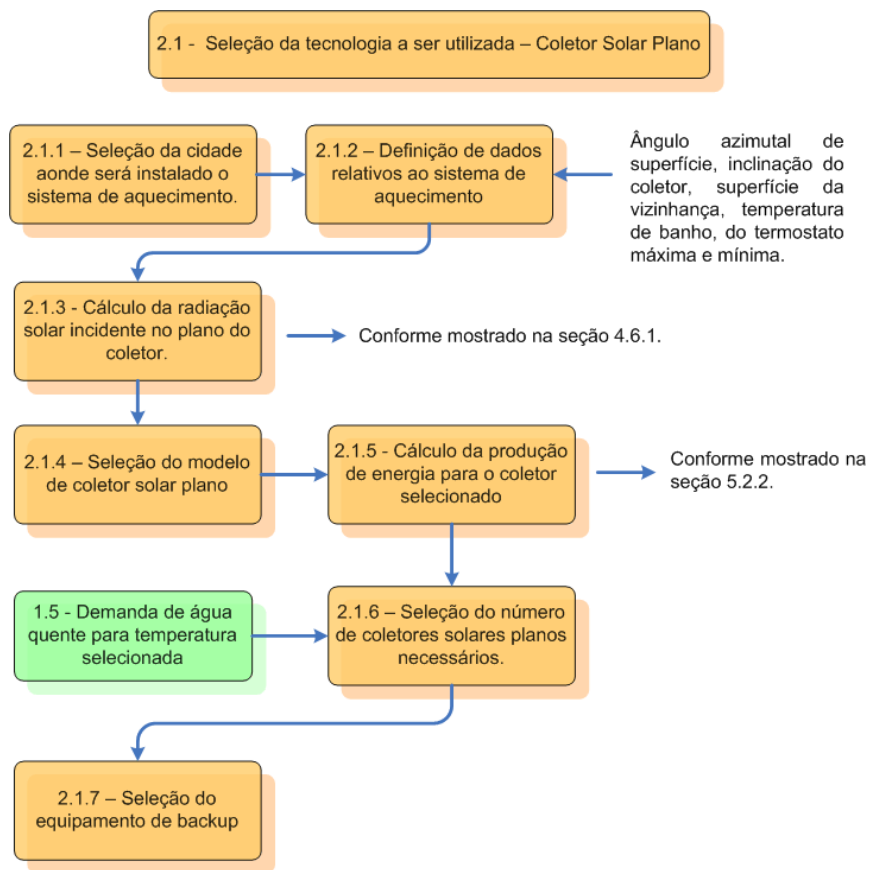


Figura 46 – Estrutura de cálculo utilizando-se coletores solares térmicos.

No caso de sistemas de aquecimento distrital aonde não são utilizados coletores solares térmicos, é alterada a maneira de se fazer o cálculo da potência térmica do equipamento de aquecimento (Figura 47) .

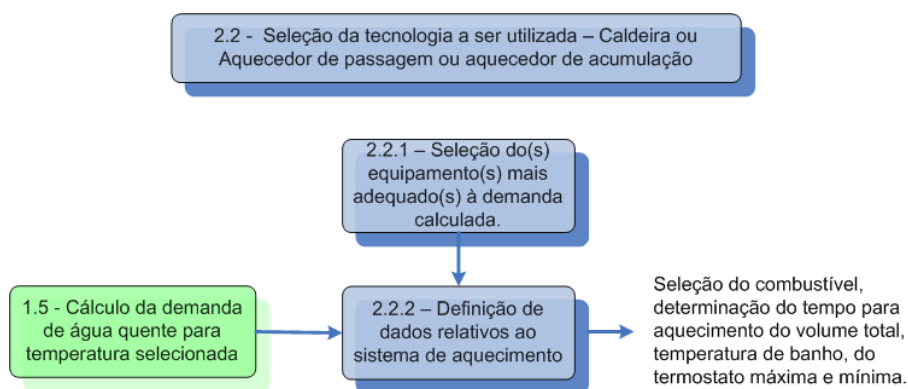


Figura 47 – Estrutura de cálculo utilizando-se equipamentos aquecedores de água.

Deve-se seguir as orientações contidas na NBR-7198 e que serão descritas resumidamente a seguir. Macyntire, (1995).

1. calcula-se o consumo diário de água quente;
2. determina-se a capacidade do reservatório de água quente, levando em consideração os seguintes critérios:
 - a. a água do reservatório de água quente deve ser aquecida de um gradiente de temperatura de 50 °C;
 - b. é preciso calcular o volume teórico do reservatório de água quente. A relação apresentada na equação 6.1 a seguir permite este cálculo.

$$V_{Tr} = C.D_T \quad (6.1)$$

sendo:

V_{Tr} – volume teórico do reservatório de água quente;

D_T – demanda total de água quente;

C – fração de consumo. Os valores são listados a seguir:

| | |
|-----------------------------|------|
| para residências grandes | 1/3; |
| apartamentos para 5 pessoas | 1/5; |
| apartamentos muito grandes | 1/7. |

- c. Calcula-se o volume real do reservatório multiplicando-se o volume teórico por 1,33.

O gráfico da Figura 48 permite a seleção de caldeiras que produzem até 837.360 kJ/h. É uma maneira rápida de selecionar a capacidade da caldeira sem efetuar cálculos mais elaborados.

De acordo com Macintyre (1997) é possível utilizar um método clássico para cálculo da potência térmica da caldeira adotando-se a seguinte regra prática: O reservatório térmico é dimensionado com capacidade suficiente para a utilização de todos os aparelhos instalados, como se funcionassem apenas uma vez cada um.

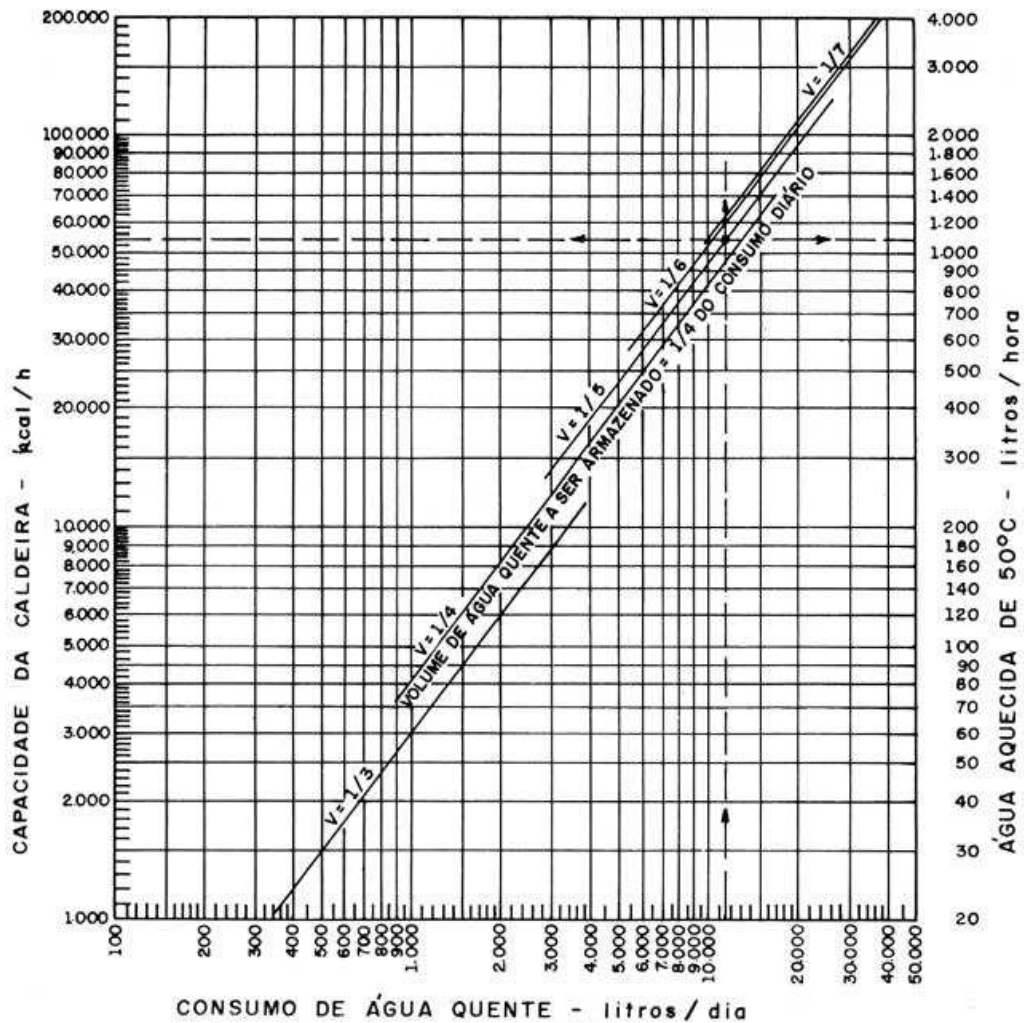


Figura 48 – Capacidade de caldeiras. Volume de reservatório de água quente.

Fonte: Macintyre (1997).

A equação das misturas de um mesmo líquido nos dá:

$$T_s V_s + T_i V_i = T_m V_m \quad (6.2)$$

onde:

T_s – temperatura da água quente do reservatório térmico;

V_s – volume de água quente do reservatório térmico;

T_i – temperatura da água fria;

V_i – volume de água fria a ser misturada;

T_m – temperatura da água no ponto de consumo;

V_m – volume de água morna.

Para chegar a tal equação, deve-se fazer um balanço de energia e considerando-se que o fluido em questão está na mesma fase (líquido comprimido), que $cp_i = cp_s = \text{constante}$ e que $v_s = v_m = v_i = \text{constante}$. Considerando-se que durante a mistura não há realização de trabalho temos que a quantidade de calor cedida é igual à quantidade de calor fornecida conforme mostra a equação 6.3

$$Q_{m-i} = Q_{s-m} \quad (6.3)$$

Logo,

$$m_i cp_i (T_m - T_i) = m_s cp_s (T_s - T_m) \quad (6.4)$$

Desenvolvendo a equação 6.4 tem-se:

$$m_i T_m + m_s T_m = m_s T_s + m_i T_i \quad (6.5)$$

Agrupando os termos em função da temperatura tem-se que:

$$T_m (m_i + m_s) = m_s T_s + m_i T_i \quad (6.6)$$

Mas,

$$m_s = \frac{V_s}{v_s}; m_m = \frac{V_m}{v_m}; m_i = \frac{V_i}{v_i} \quad (6.7)$$

Levando os termos da equação 6.7 à equação 6.6 tem-se:

$$T_m \left(\frac{V_i}{v_i} + \frac{V_s}{v_s} \right) = T_s \cdot \frac{V_s}{v_s} + T_i \cdot \frac{V_i}{v_i} \quad (6.8)$$

Como $v_s = v_m = v_i = \text{constante}$ logo:

$$T_m (V_i + V_s) = T_s \cdot V_s + T_i \cdot V_i \quad (6.9)$$

Mas,

$$V_m = V_s + V_i \quad (6.10)$$

Levando os termos da equação 6.10 à equação 6.9 tem-se:

$$T_m V_m = T_s V_s + T_i V_i \quad (\text{c.q.d}) \quad (6.11)$$

Entretanto, o volume a ser determinado é o V_s , pode-se então inverter a ordem de raciocínio e substituir a equação 6.12 na equação 6.11

$$V_i = V_m - V_s \quad (6.12)$$

Tem-se:

$$T_s V_s + T_i V_m - T_i V_s = T_m V_m \quad (6.13)$$

Isolando o termo V_s tem-se:

$$V_s = \frac{V_m \cdot (T_m - T_i)}{(T_s - T_i)} \quad (6.14)$$

Depois de calculado o volume do reservatório térmico, é feito o cálculo da potência da caldeira em kcal/hora, incluindo-se um fator para perdas, sugerido por Macintyre (1997) de 15%. A potência necessária pode ser então determinada como mostra a equação 6.15 a seguir.

$$P = \frac{V_s \cdot (T_m - T_i)}{\Delta t} \quad (6.15)$$

sendo:

P – potência calorífica;

Δt – intervalo em horas para aquecimento de V_s .

Depois de realizado este cálculo, é possível, então, selecionar um ou mais modelos de equipamentos de acordo com os dados constantes nos catálogos dos fabricantes.

6.1.3 – ANÁLISE FINANCEIRA

A análise financeira deve levar em consideração o gasto com combustível, o investimento inicial e o custo de manutenção do sistema. As equações utilizadas estão na seção A.4 – Fundamentos de Matemática Financeira. O consumo de combustível pode ser estimado de acordo com:

$$\eta_{cald} = \frac{P}{Cn.PCI} \quad (6.16)$$

sendo:

P – potência térmica [kcal/h];

Cn – consumo do combustível em unidades compatíveis com às da potência térmica e do PCI;

PCI – poder calorífico do combustível utilizado.

Os dados dos combustíveis, sua composição, seu PCI, e seu preço foram mostrados nas seções anteriores (capítulo 5, seções 5.1 a 5.6). As Tabelas 14 e 15 sintetizam as informações utilizadas para o cálculo. É importante lembrar que os valores do Gás Natural e da eletricidade variam com o consumo e a tabela a seguir valores de referência. Os dados completos estão no anexo A.

| Combustível | PCI / Potência | | Preço | | Estado |
|------------------|----------------|-------------------|-------|----------------|-----------------|
| | Valor | Unidade | Valor | Unidade | Comercialização |
| Óleo Diesel | 50.786 | kJ/l | 1,72 | Litro | Líquido |
| Óleo Combustível | 40.541 | kJ/kg | 1,10 | kg | Líquido |
| Lenha | 13.816 | kJ/m ³ | 81 | m ³ | Sólido |
| Gás Natural | 37.652 | kJ/m ³ | 1,30 | m ³ | Gasoso |
| GLP | 46.042 | kJ/kg | 2,35 | kg | Gasoso |
| Eletricidade | – | W | 0,16 | kWh | – |

Tabela 14 – Dados dos suprimentos de energia utilizados na planilha de cálculo coletados durante o mês de Novembro de 2005.

| Combustível | Composição média % massa – Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos | | | | | | | | | | |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|----------------|------------|-----------|-------------|------------|---------------------|
| | C [%] | H [%] | O [%] | S [%] | N [%] | Cinzas – Z [%] | Metano [%] | Etano [%] | Propano [%] | Butano [%] | CO ₂ [%] |
| Óleo Diesel | 85,56 | 13,37 | 0,00 | 1,07 | 0,00 | 0,00 | – | – | – | – | – |
| Óleo Combustível | 81,90 | 11,10 | 1,80 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | – | – | – | – | – |
| Lenha | 50,29 | 6,44 | 41,36 | 0,00 | 0,41 | 1,50 | – | – | – | – | – |
| Gás Natural | – | – | – | – | 1,42 | – | 91,80 | 5,58 | 0,97 | – | – |
| GLP | – | – | – | – | 1,42 | – | 0,00 | 3,10 | 48,60 | 46,40 | 0,08 |
| Eletricidade | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |

Tabela 15 – Composição média dos suprimentos de energia utilizados na planilha de cálculo.

6.2 – ASPECTOS AMBIENTAIS DAS INSTALAÇÕES DE AQUECIMENTO DISTRITAL

De acordo com Garcia (2004) ainda não é possível mapear a exata interação do aumento da emissão dos poluentes atmosféricos com os verões mais quentes e invernos mais frios na Europa e no mundo. Os efeitos em questão são o aquecimento global e o efeito estufa, e resta pouca dúvida, entretanto de que o clima mais quente tem a ver com o fato de a humanidade despejar cada vez mais dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, com a queima de combustíveis fósseis. Apesar de o Brasil ser responsável por uma parcela pequena das emissões globais de CO₂ ele se inclui na lista dos 10 maiores emissores.

De acordo com Márcio Santilli do Instituto Socioambiental, cerca de dois terços das emissões brasileiras de CO₂ vêm do desmatamento.

Sabe-se que a implantação de um sistema de aquecimento distrital utilizando coletores solares ou algum outro tipo de equipamento (caldeiras, aquecedores) trará algum tipo de impacto ambiental. Entretanto, nenhuma pesquisa ou trabalho científico tem se ocupado deste tema tão pertinente. No caso da utilização de coletores solares, é preciso ressaltar que o nível de emissão é zero, entretanto durante o processo de fabricação e instalação a emissão de material particulado, CO₂, NO_x e SO_x ocorre. A Tabela 16 mostra dados de emissão durante a fabricação de coletores.

| Emissões durante a fabricação | Emissões [kg/TJ] |
|-------------------------------|------------------|
| CO ₂ | 3.580 – 10.502 |
| SO ₂ | 27 – 78 |
| NO _x | 12 – 35 |
| material particulado | 0,8 – 2,4 |

Tabela 16 – Tabela de emissão de poluentes atmosféricos quando da produção e utilização de coletores solares.

Fonte: Atlas web site. **Solar Thermal Heating**. Disponível em
<http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/html/solarh.html>.

A utilização da biomassa (quando a matéria prima vier de regiões de reflorestamento) em termos da emissão de gás carbônico é ecologicamente justificável, uma vez que apresenta balanço de emissão praticamente nulo e a emissão de SO_x é desprezível. Uma vez que o custo médio da madeira de florestas energéticas é baixo quando comparado ao custo dos processos envolvidos na coleta e preparação de alguns tipos de resíduos para queima, é possível supor que em um futuro próximo as florestas energéticas superarão a utilização de resíduos. Entretanto a utilização de resíduos apresenta uma possibilidade de utilização mais imediata uma vez que o material das florestas deve ser repostado e o tempo de reposição é relativamente longo. O Brasil atualmente é referência quando se trata da implantação, manejo e exploração de florestas de eucaliptos apresentando uma boa produtividade e ciclos de plantio cada vez menores graças a estudos realizados em empresas, universidades e entidades como a Embrapa.

A utilização do gás natural também apresenta características interessantes do ponto de vista ambiental. Dentre os combustíveis fósseis, é o menos poluente, pois emite quantidades bastante reduzidas de óxido de enxofre (o gás natural praticamente não contém enxofre) e particulados. Entretanto, as emissões de NO_x são bastante elevadas no caso de gás natural e que, entretanto, não são controladas pelos órgãos ambientais no Brasil, pois não há legislação adequada no país. Como a combustão de GN não exige sistemas de lavagem nem produz cinzas, não é necessário ser considerada a poluição de solo e de águas, apenas a atmosférica.

6.3 – USO DA TERRA

“A cidade moderna é o produto de um processo de desenvolvimento extremamente longo. (...) A cidade tornou-se o foco central da atividade econômica e social e de influência na moderna sociedade urbana. Em razão desta importância contemporânea, não é surpreendente que os pesquisadores procurassem construir um quadro adequado dos conhecimentos adquiridos, de modo a facilitar a compreensão e o planejamento da cidade. Esta tarefa tem ocupado um grande número de especialistas provindos de ampla gama de campos das ciências sociais e ambientais. Nenhuma disciplina pode

querer monopolizar o estudo da cidade, pois os problemas urbanos fluem através de muitas das divisões tradicionais da investigação acadêmica. De modo semelhante, nenhuma metodologia predomina sozinha na análise urbana, porque há a necessidade de se adotar ampla variedade de abordagens para se analisar as complexidades da vida urbana. E é na natureza interdisciplinar dos problemas urbanos que a cidade oferece as maiores dificuldades para o analista. Os progressos na compreensão urbana requerem a fusão de ensinamentos derivados de muitas disciplinas, onde cada uma trata o estudo da cidade através de perspectivas nitidamente distintas.(CLARK,1985, p. 17 e 18)

A instalação de uma usina de energia, mesmo que de tamanho reduzido, em um bairro tipicamente residencial traz à luz alguns aspectos que devem ser analisados. O primeiro a ser analisado é o aspecto financeiro. O custo de se instalar uma usina de energia, mesmo que de tamanho reduzido em áreas densamente povoadas esbarra em um obstáculo, o custo do terreno. Em alguns casos o preço do terreno é elevado e representaria na construção da usina de energia parcela significativa em seu investimento inicial. Entretanto quando se trata da construção deste tipo de estrutura em conjuntos habitacionais, o custo do terreno normalmente é reduzido, pois os terrenos nos quais estes conjuntos são construídos já pertencem ao governo local na maioria dos casos. No caso da vila avaliada no estudo de caso, o terreno foi desapropriado pela prefeitura a um valor muito baixo, cerca de R\$ 1,12 reais o m² e o valor atual do m² é de R\$ 16,00.

O que tem sido feito em muitas localidades na Europa, é incorporar as baterias de coletores solares ao telhado, otimizando-se assim a utilização do terreno. Para que se possa utilizar o telhado como área para instalação dos coletores solares é preferível que o conjunto habitacional em questão esteja ainda sendo projetado para que se busque melhor orientação do telhado em relação ao Sol.

Outro aspecto a ser avaliado é o da degradação do solo quando do vazamento de algum combustível armazenado na usina de energia. Os combustíveis de maneira geral possuem regulamentação para que sejam estocados minimizando-se assim problemas decorrentes de vazamentos de combustível.

Conforme disse Clark,(1985) é preciso que as áreas técnicas que lidam com a questão do urbano estejam atentas às tecnologias que vem surgindo. As equipes devem trabalhar juntas buscando melhores soluções para atender as necessidades da população.

6.4 – PLANILHA DE CÁLCULO

Sabendo-se que um dos objetivos deste trabalho é permitir o acesso à planilha por usuários com pouca familiaridade no ambiente de informática, é necessário elaborar uma interface simples, objetiva e atraente. A planilha foi elaborada no Microsoft Excel 2003 por permitir uma agilidade na montagem de equações matemáticas de relativa complexidade, sem a necessidade de um conhecimento profundo de linguagens de programação para tal. O Microsoft Excel, bem como outros produtos do pacote Office, permitem a utilização de recursos utilizando-se a linguagem Basic (VBA). A planilha desenvolvida neste trabalho também utilizou-se destes recursos, de tal maneira que é preciso “ativar” a utilização de código VBA, o que será explicado na seção 6.4.2

6.4.1 – ESTRUTURA DA PLANILHA

O conhecimento das características de consumo variáveis com o nível de conforto, as condições climáticas locais e o levantamento dos pontos de utilização são elementos que devem ser corretamente definidos para que a instalação não seja bem dimensionada.

6.4.2 – GUIA DE UTILIZAÇÃO

A utilização da planilha elaborada não pressupõe nenhum conhecimento prévio do software MS Excel, no entanto é importante que o usuário tenha em mente alguns conceitos básicos, como o de diretório, e que saiba utilizar o mouse corretamente. A planilha de cálculo e as planilhas de apoio devem ser copiadas para o *drive* C da unidade de disco rígido do computador do usuário. Este procedimento pode ser feito de duas formas, a primeira utilizando-se de linhas de comando do *Prompt* de comando, e a segunda utilizando-se Windows Explorer.

Siga os passos listados abaixo para instalação da planilha no seu computador.

1. Insira o *CD* ou o disquete que contém a planilha na sua respectiva unidade.
2. Para utilizar o *Prompt* de comando, clique no menu Iniciar > programas > Acessórios > *Prompt* de comando, conforme ilustra a Figura 49.

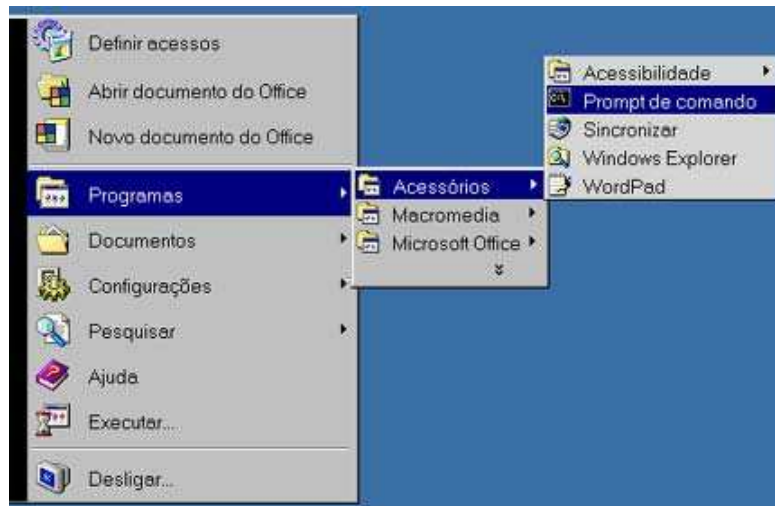


Figura 49 – Chamada do prompt de comando.

Será aberta a janela de *Prompt* de comando conforme mostrado na Figura 50.

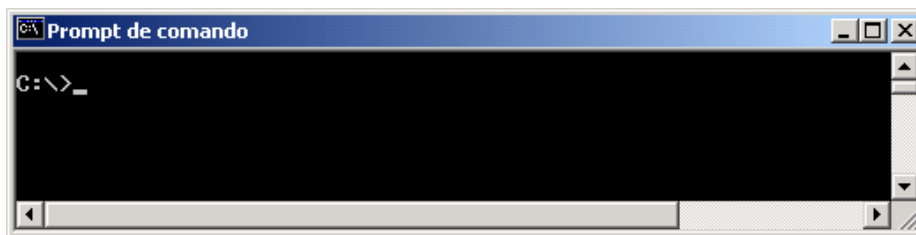


Figura 50 – Janela do prompt de comando.

3. Digite *cd* e tecla *Enter* ↵;
4. Digite *md Siadi* e tecla *Enter* ↵;
5. Digite *copy x:\Siadi*. * c:\Siadi*. Lembrando que a letra x é a unidade do CD-ROM da máquina a ser utilizada. O último comando listado acima copiará todos os arquivos necessários à utilização da planilha no já criado diretório Siadi;
6. Para conferir os arquivos copiados, digite *cd Siadi* e tecla *Enter* ↵;
7. Agora digite *dir *.** e tecla *Enter* ↵. Os arquivos copiados serão listados no diretório Siadi. Caso algum problema tenha ocorrido, siga novamente os passos listados acima, pulando os passos que tenham sido completados com sucesso;
8. Caso os passos listados acima tenham sido executados com sucesso digite *Exit* e tecla *Enter* ↵ para fechar a janela de *Prompt* de comando.
9. Localize o arquivo Siadi.xls e dê um clique duplo para que ele seja executado.

Ao abrir o arquivo no Excel a seguinte tela lhe será apresentada.

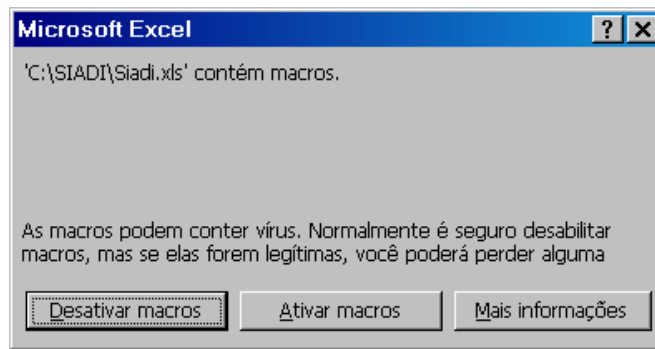


Figura 51 – Habilitação de macros do Microsoft Excel.

Clique na opção ativar macros, caso contrário alguns dos cálculos realizados na planilha não poderão ser efetuados. Uma vez aberta a planilha, certifique-se de localizar a pasta de trabalho inicial chamada “01 – Demanda de água quente”. Para que fosse de fácil identificação do usuário os pontos de inserção de informação, de resultados obtidos de calculos ou de dados advindos de um “banco de dados”, foi elaborada uma “legenda”. As cores das células da planilha foram alteradas de forma a indicar se a célula é de inserção de dados ou de resultados, etc.

| | |
|--|-------------------------|
| | Constantes |
| | Entrada de dados |
| | Resultados |
| | Fonte de dados |
| | Gráficos |
| | Cálculos Intermediários |

Tabela 17 – Legenda dos elementos da planilha de cálculo.

6.4.2.1 – UTILIZANDO A PLANILHA DE CÁLCULO.

A planilha de cálculo foi elaborada de modo que houvesse um número reduzido de entrada de dados para facilitar a sua utilização. É importante diferenciar pasta de trabalho de planilha. A planilha é um conjunto de pastas de trabalho e a pasta de trabalho é o local onde são inseridos os dados e realizados os cálculos. Os cálculos realizados na planilha de cálculo, bem como suas formulas estão integralmente listados no presente trabalho.

Algumas das pastas de trabalho utilizadas nesta planilha estão protegidas contra alteração de seus campos, isto foi feito com o intuito de proteger a integridade dos cálculos. Uma

vez que diversos cálculos são dependentes de valores anteriormente calculados, a alteração de alguma das fórmulas acarretaria em erros. As pastas de trabalho desta ferramenta de cálculo estão interligadas entre si para que parâmetros de cálculo necessários em etapas diferentes estejam disponíveis.

A seguir serão enunciadas as pastas de trabalho de maior importância e dado, um pequeno resumo de cada uma de suas funcionalidades. Também será mostrado quando pertinente, uma tela com os dados que devem ser fornecidos (entrada de dados) e resultados. Dentre os resultados serão listados os que são importantes para a análise global. Será listado também, a fonte de dados, ou seja, a origem dos dados utilizados no cálculo da planilha em questão. Para que se inicie a simulação é preciso selecionar a pasta de trabalho 01– demanda de água quente e que inserir as informações nas células de entrada de dados que tem a cor mostrada na Tabela 17.

01–Demanda Água Quente – recebe os dados de entrada para o início do cálculo. Nesta pasta de trabalho é calculada a demanda de água quente que deverá ser aquecida em um dia (Figura 52).

Entrada de dados: Classe social, o número de banheiras, bidês, chuveiros, lavadora de louças, lavabos, tanques (lavanderia), pias de cozinha, temperatura máxima da água, temperatura mínima da água, temperatura de banho, temperatura de termostato, número de pessoas por família, número de famílias.

Resultados: demanda diária de água quente.

Fonte de dados: base de dados da própria planilha

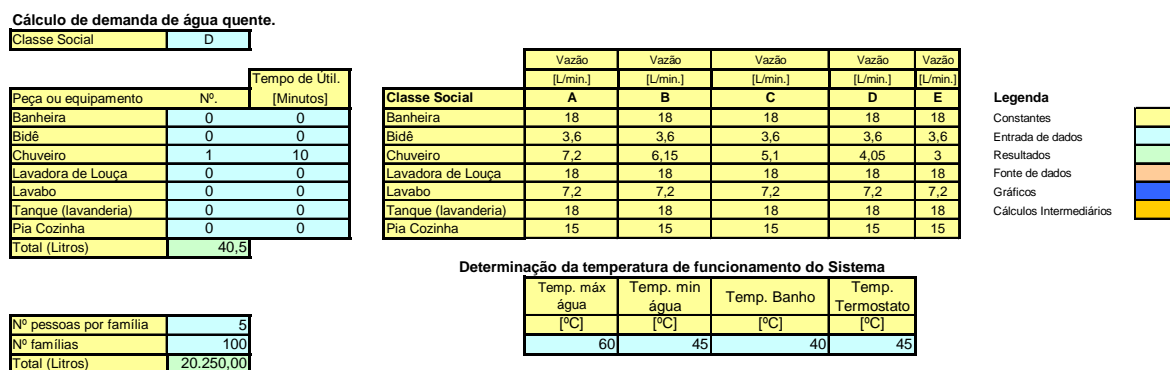


Figura 52 – Pasta de trabalho 01–Demanda Água Quente

Primeiramente são fornecidos dos dados relativos aos cálculos para o sistema de aquecimento distrital solar e posteriormente os dados para o sistema de aquecimento convencional. Depois de inseridos os dados na pasta de trabalho 01–Demanda de água quente, o passo seguinte é fornecer os dados relativos à localidade, posicionamento do coletor e o modelo de coletor a ser utilizado na pasta de trabalho.

02–Dados Aquecimento Solar – nesta pasta de trabalho são definidos os dados para o cálculo da produção de energia de um coletor solar para os dados de entrada fornecidos (Figura 53).

Entrada de dados: Cidade de cálculo, ângulo azimutal de superfície, inclinação do coletor solar, reflectividade da vizinhança, modelo do coletor solar a ser utilizado nos cálculos.

Resultados: Produção de energia.

Fonte de dados: 15–Cidades, 18–Coletor solar, 17–Produção Coletor solar.

| Dados de entrada para simulação do sistema de aquecimento Solar | | | |
|---|---------------------|---------------|--------------------|
| 29/11/2005 11:12 | | Id da cidade | |
| Cidade | Belo Horizonte / MG | 229 | |
| Latitude - f [°] | -19,91 | | |
| Longitude [°] | -43,93 | | |
| Altitude [km] | 0,85002 | | |
| Dados da Instalação | | | |
| Azimutal de Sup. () [°] | 180 | | |
| Incl. Coletor - j ^o | 30 | | |
| Reflectividade Viz. j _g ^o | Grama | | |
| Valor | 0,20000 | | |
| Coletor Solar | | | |
| Coletor Solar | M3-B | | |
| Fabricante | Fabricante B | | |
| Área Externa (m ²) | 2,98 | | |
| FrUL | 5,0220 | | |
| Fr | 0,6670 | | |
| K | 0,1238 | | |
| Ef. Energética média [%] | 56,70 | | |
| Classificação | B | | |
| Preço | R\$ 475,08 | | |
| Produção de Energia | | | |
| | Diária [kW/h] | Mensal [kW/h] | Média Anual [kW/h] |
| Janeiro | 6,31 | 195,66 | 218,45 |
| Fevereiro | 6,77 | 189,70 | 218,45 |
| Março | 7,95 | 246,38 | 218,45 |
| Abril | 8,28 | 248,36 | 218,45 |
| Mai | 7,77 | 240,96 | 218,45 |
| Junho | 7,56 | 226,83 | 218,45 |
| Julho | 7,78 | 241,23 | 218,45 |
| Agosto | 7,98 | 247,25 | 218,45 |
| Setembro | 7,48 | 224,37 | 218,45 |
| Outubro | 6,85 | 212,21 | 218,45 |
| Novembro | 5,97 | 179,07 | 218,45 |
| Dezembro | 5,46 | 169,36 | 218,45 |
| Total Anual | | 2621,37 | [kW/h] |

Figura 53 – Pasta de trabalho 02–Dados do Aquecimento Solar

03–Dim. Solar – esta pasta de trabalho é o ponto central do cálculo do sistema de aquecimento solar. É preciso decidir o número de coletores solares a serem utilizados bem como o equipamento de *backup* (Figura 54).

Entrada de dados: Número de coletores solares, seleção equipamento de *backup*.

Resultados: Número de coletores solares utilizados, demanda total de energia, fração solar, consumo mensal de combustível; emissão de material particulado, SO_x, NO_x, CO₂ e CO.

Fonte de dados: 01–Demanda Água Quente, 02–Dados Aquecimento Solar, 12–Combustíveis, 14–Equipamentos, 17–Produção coletores solar.

| Número coletores | Sugeridos Met. Dir. | Decisão Projeto |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| | 89 | 90 |
| Equipamento de backup | Caldeira - Lenha | |
| Supr. energia sistema de backup | Caldeira - Elétrica | |
| PCI | Caldeira - Diesel | |
| Preço do suprimento de energia | Caldeira - Óleo Combustível | |
| Eficiência média do Equipamento | Caldeira - Gás Natural | |
| Consumo Anual | Caldeira - GLP | |
| Despesa anual com Lenha | Caldeira - Lenha | |
| | Aquecedor - Gás Natural | |
| | Aquecedor - GLP | |
| Material Particulado | 7,65E-10 | [kg/J] |
| SOx | 1,00E-11 | [kg/J] |
| NOx | 7,00E-11 | [kg/J] |
| CO ₂ | 5,50E-08 | [kg/J] |
| CO | 5,77E-09 | [kg/J] |

Figura 54 – Detalhe da pasta de trabalho 03–Dim. Solar

04–Custos Solar – Pasta de trabalho que congrega o custo de instalação do sistema de aquecimento distrital solar.

Entrada de dados: número de reservatórios térmicos 5.000 l, número de reservatórios de combustível, número de horas de mão de obra, número de bombas, custo com eletrônica do sistema, custo dos tubos e conexões, custo do terreno.

Resultados: custo total do sistema de aquecimento distrital solar, custo por família

Fonte de dados: 02–Dados Aquecimento Solar, 03–Dim. Solar

05–Financiamento Solar – possibilita o cálculo do financiamento do projeto e sistema de aquecimento solar distrital (Figura 55).

Entrada de dados: Tipo do financiamento, número de anos do financiamento, taxa de desconto, taxa de juros do banco, TJLP, taxa de administração, carência e o período de carência.

Resultados: Valor das prestações, total pago, valor futuro, valor futuro descontado, total de juros pagos,

Fonte de dados: – 04–Custos Solar.

06–Fluxo Caixa Solar – Pasta de trabalho para o cálculo do pay–back do sistema de aquecimento distrital solar

Entrada de dados: Taxa de inflação dos 10 primeiros anos, preço da energia elétrica.

Resultados: Pay–back simples e Pay–back descontado

Fonte de dados: 03–Dim. Solar, 05–Finaciamento Solar, 12–Combustíveis

| Fluxo de Caixa Solar + Caldeira - Lenha | | |
|---|-------|--------------------|
| Dados para cálculo | | |
| Taxa de Inflação | | Preço En. Elétrica |
| Tx. De inflação - Ano 1 | 0% | R\$ 0,157 |
| Tx. De inflação - Ano 2 | 7,20% | R\$ 0,168 |
| Tx. De inflação - Ano 3 | 7,20% | R\$ 0,180 |
| Tx. De inflação - Ano 4 | 7,20% | R\$ 0,193 |
| Tx. De inflação - Ano 5 | 7,20% | R\$ 0,207 |
| Tx. De inflação - Ano 6 | 7,20% | R\$ 0,222 |
| Tx. De inflação - Ano 7 | 7,20% | R\$ 0,238 |
| Tx. De inflação - Ano 8 | 7,20% | R\$ 0,255 |
| Tx. De inflação - Ano 9 | 7,20% | R\$ 0,273 |
| Tx. De inflação - Ano 10 | 7,20% | R\$ 0,293 |
| Manutenção (% do investimento) | 3,00% | |
| Taxa de Juros (a.m) | 1,52% | |
| Custo Fixo Manutenção (a.a.) | R\$ | (2.596,19) |
| Pay-back simples (anos) | | 4,07 |
| Pay-Back descontado (anos) | | 7,04 |

Figura 55 – Detalhe da pasta de trabalho 06–Fluxo de Caixa Solar

07–Dim Convencional – esta pasta de trabalho é o ponto central do cálculo do sistema de aquecimento distrital convencional. É preciso decidir o intervalo de tempo para o qual o volume de água deverá ser aquecido e o equipamento a ser utilizado para o aquecimento.

Entrada de dados: intervalo de aquecimento, equipamento a ser utilizado.

Resultados: Demanda total de energia, consumo mensal de combustível; emissão de material particulado, SO_x, NO_x, CO₂ e CO.

Fonte de dados: 01–Demanda Água Quente, 02–Dados Aquecimento Solar, 12–Combustíveis, 14–Equipamentos.

08–Custos Sist. Convenc – Pasta de trabalho que congrega o custo de instalação do sistema de aquecimento distrital convencional.

Entrada de dados: número de reservatórios térmicos 5.000 l, número de reservatórios de combustível, número de horas de mão de obra, número de bombas, custo com eletrônica do sistema, custo dos tubos e Conexões, custo do terreno.

Resultados: custo total do sistema de aquecimento distrital solar, custo por família

Fonte de dados: 07–Dim Convencional,

09–Finaciamento Sist. Conv. – possibilita o cálculo do financiamento do projeto do sistema de aquecimento distrital convencional.

Entrada de dados: Tipo do financiamento, número de anos do financiamento, taxa de desconto, taxa de juros do banco, TJLP, taxa de administração, carência e o período de carência.

Resultados: Valor das prestações, total pago, valor futuro, valor futuro descontado, total de juros pagos,

Fonte de dados: – 08–Custos Sist. Convenc.

10–Fluxo Caixa Convencional – Pasta de trabalho para o cálculo do pay–back do sistema de aquecimento distrital convencional (Figura56).

Entrada de dados: Taxa de inflação dos 10 primeiros anos, preço da energia elétrica.

Resultados: Pay–back simples e Pay–back descontado

Fonte de dados: 07–Dim Convencional, 09–Finaciamento Sist. Conv., 12–Combustíveis

| Fluxo de Caixa Caldeira - Lenha | | |
|---------------------------------|-------|--------------------|
| Dados para cálculo | | |
| Taxa de Inflação | | Preço En. Elétrica |
| Tx. De inflação - Ano 1 | 0% | R\$ 0,157 |
| Tx. De inflação - Ano 2 | 7,20% | R\$ 0,168 |
| Tx. De inflação - Ano 3 | 7,20% | R\$ 0,180 |
| Tx. De inflação - Ano 4 | 7,20% | R\$ 0,193 |
| Tx. De inflação - Ano 5 | 7,20% | R\$ 0,207 |
| Tx. De inflação - Ano 6 | 7,20% | R\$ 0,222 |
| Tx. De inflação - Ano 7 | 7,20% | R\$ 0,238 |
| Tx. De inflação - Ano 8 | 7,20% | R\$ 0,255 |
| Tx. De inflação - Ano 9 | 7,20% | R\$ 0,273 |
| Tx. De inflação - Ano 10 | 7,20% | R\$ 0,293 |
| Manutenção (% do investimento) | 3,00% | |
| Taxa de Juros (a.m) | 1,52% | |
| Custo Fixo Manutenção (a.a.) | R\$ | (1.693,71) |
| Pay-back simples (anos) | | 4,40 |
| Pay-Back descontado (anos) | | 7,20 |

Figura 56 – Detalhe da pasta de trabalho 06–Fluxo de Caixa Convencional

11–Comparativo Custos – Pasta de trabalho que congrega informações sobre os sistemas que estão sendo calculados. Comparando o custo de utilização de uma ou outra tecnologia em relação ao consumo de combustível e também em relação ao tempo de retorno do investimento.

Entrada de dados: –

Resultados: Economia com o combustível utilizado, Pay–back

Fonte de dados: 03–Dim. Solar, 05–Finaciamento Solar, 06–Fluxo Caixa Solar, 07–Dim Convencional, 09–Finaciamento Sist. Conv, 10–Fluxo Caixa Convencional.

12–Combustíveis – Pasta de trabalho que reúne os dados relacionados com os combustíveis estudados no presente trabalho. Estão armazenadas informações do tipo, valor do combustível, PCI, composição média dos combustíveis e faixa de preço de combustíveis por utilização e classe social.

Entrada de dados: PCI/potência dos combustíveis, preço por unidade de combustível

Resultados: valor do combustível por faixa de utilização ou classe social quando for o caso.

Fonte de dados: 01–Demanda Água Quente, 03–Dim. Solar, 07–Dim Convencional,

13–Comparativo Emissões – Pasta de trabalho que agrupa os gráficos de emissão de material particulado, SO_x, NO_x, CO₂ e CO.

Entrada de dados:

Resultados: Gráficos de material particulado, SO_x, NO_x, CO₂ e CO

Fonte de dados: 03–Dim. Solar, 07–Dim Convencional

14–Equipamentos – Pasta de trabalho que serve como fonte de dados para 03–Dim. Solar e 07–Dim Convencional. Estão listados também alguns equipamentos e suas respectivas capacidades de produção de água quente/vapor

Entrada de dados: –

Resultados: –

Fonte de dados: 12–Combustíveis

15–Cidades – Pasta de trabalho que serve de fonte de dados para os cálculos da produção de energia do coletor solar. Possui cadastradas 203 cidades em todo o Brasil, com dados de latitude, longitude, altitude.

Entrada de dados: –

Resultados: –

Fonte de dados: –

16–Radiação Solar – Pasta de trabalho na qual são feitos os cálculos da energia solar incidente no plano do coletor mês a mês.

Entrada de dados: –

Resultados: Radiação solar incidente no plano do coletor mês a mês.

Fonte de dados: 02–Dados Aquecimento Solar.

17–Produção Coletor Solar – Pasta de trabalho na qual são feitos os cálculos relativos à produção de energia mês a mês do coletor solar plano selecionado na planilha, 02–Dados Aquecimento Solar

Entrada de dados: –

Resultados: produção mensal de energia de um coletor solar.

Fonte de dados: 02–Dados Aquecimento Solar, 16–Radiação Solar.

18–Coletores Solares – Abriga os dados relativos aos coletores solares utilizados neste trabalho, traz informações como área do coletor, eficiência térmica, preço por coletor.

Entrada de dados: –

Resultados: –

Fonte de dados: –

As pastas de trabalho listadas a seguir contém gráficos com os resultados calculados nas pastas de trabalho citadas acima.

20–Prod. Energia Coletor

21–Demanda de Energia

22–Área Coletora

23–Demanda x Produção

24–Custos Solar x Convencional

25–Emissões – Mat. Part.

26–Emissões – SO_x

27–Emissões – NO_x

28–Emissões – CO₂

29–Emissões – CO

As planilhas relacionadas aos equipamentos convencionais apresentam telas semelhantes aonde devem ser informados os dados pedidos para que seja possível acompanhar as comparações entre as tecnologias através dos gráficos e Tabelas disponíveis nas pastas de trabalho listadas acima. Nas pastas de trabalho: 12–Combustíveis, 14–Equipamentos, 15–Cidades, 18–Coletores Solares, devem ser sempre atualizados os valores que tem variação com o tempo como o preço dos equipamentos, dos combustíveis. É possível também acrescentar itens a estas planilhas complementando ainda mais esta ferramenta de cálculo.

CAPÍTULO 7 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

7.1 – SELEÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Inicialmente, o conjunto habitacional a ser analisado seria o conjunto Sapucaias em Contagem/MG, composto por 578 casas construídas em sistema de mutirão. O interesse em relação a este conjunto habitacional surgiu em virtude de já ter sido executado um estudo preliminar e posterior implantação de sistemas unifamiliares de aquecimento solar em 100 casas. Estes estudos fizeram parte do Programa Eletrobrás Solar, de iniciativa do Green Solar e com financiamento da Eletrobrás / Procel. O projeto permitiu verificar a redução no consumo de energia elétrica, variando em média de 30 a 40%. Daí então o interesse em dar continuidade a esse estudo, avaliando a instalação de um sistema de aquecimento unifamiliar em comparação ao sistema de aquecimento distrital.

Entretanto, foi impossível conseguir acesso às plantas topográficas do terreno, uma vez que a Prefeitura Municipal de Contagem não as possuía.

Surge então como alternativa a URBEL / SMHB–BH que foi procurada por ser o órgão responsável por projetos e construções de conjuntos habitacionais em Belo Horizonte. Conforme informado pelos arquitetos e engenheiros da SMHB, não existem conjuntos com tais características, pois o investimento inicial para a instalação do sistema de aquecimento solar ultrapassou a meta de gastos por unidade familiar; contudo alguns dos conjuntos foram preparados arquitetonicamente (orientação em relação ao norte, área disponível no telhado) para receber o sistema de aquecimento.

Após algumas visitas à unidade da SMHB e conversas com a Arquiteta Adriana Duval e a engenheira Margareth Jardim, foram selecionados três conjuntos habitacionais: Granja de Freitas III e IV e Jardim Leblon.

O conjunto habitacional Granja de Freitas IV é constituído de 50 casas geminadas com 100 unidades unifamiliares; o conjunto habitacional Jardim Leblon é constituído de 12 edifícios de quatro pavimentos abrigando 192 famílias e o conjunto habitacional Granja de Freitas III é constituído de 27 sobrados geminados abrigando 54 famílias.

O conjunto Granja de Freitas IV está localizado no Bairro Caetano Furquim e foi o conjunto selecionado para o cálculo em virtude de maior disponibilidade de informações. Ele foi construído, em regime de mutirão, para abrigar vítimas de danos das chuvas que ocorreram no ano de 2003. A Figura 57 mostra uma visão geral deste conjunto; uma planta ampliada do mesmo se encontra em anexo.

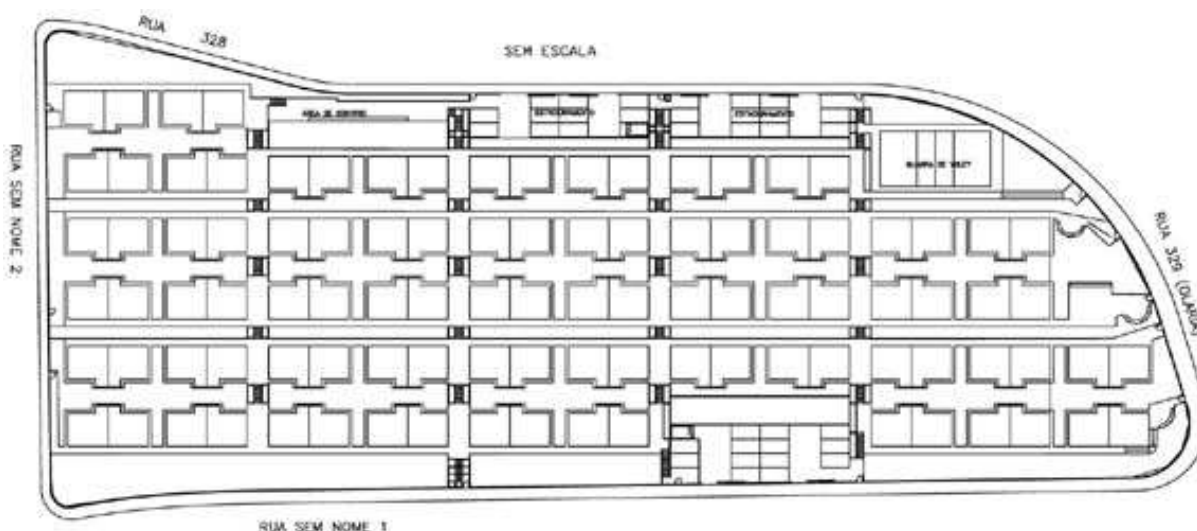


Figura 57 – Planta de implantação do conjunto habitacional Minas Solidária (Granja de Freitas IV).

Fonte: SMHB – Secretaria Municipal de Habitação.

O conjunto é composto por 100 residências, com média de 5 pessoas por residência, conforme informado pela SMHB. A rede de distribuição de água fria acompanha a direção das escadas.

7.2 – DEFINIÇÕES DO CASO EXEMPLO

Utilizando a planilha, foi definida a classe social do conjunto habitacional a ser atendido, o número de equipamentos ou peças constantes do projeto e seu tempo de utilização. Determinou-se o número de pessoas por família e, finalmente, o número de famílias a serem atendidas, tendo sido calculado um consumo de 40,5 litros de água quente por pessoa, por dia, considerando-se a existência de um chuveiro e tempo médio de banho de 10 minutos. Como o conjunto é composto por 100 residências unifamiliares, chega-se a uma demanda total diária de 20.250 litros por dia (40,5x5x100).

Depois de calculada a demanda de água quente, é preciso selecionar, no caso do aquecimento solar, a cidade para a qual será feito o cálculo, definir parâmetros como o material circunvizinho à instalação dos coletores solares, a inclinação dos coletores em relação ao solo e a sua orientação em relação ao azimute solar. A Tabela 18 mostra os dados da instalação.

| Cidade – Belo Horizonte | |
|--------------------------|-----------|
| UF | MG |
| φ(Latitude) | -19,91 |
| Longitude local | -43,93 |
| Altitude (km) | 0,850 |
| Material da Vizinhança | Gramma |
| Inclinação dos Coletores | 30° |

Tabela 18 – Dados relativos à cidade de Belo Horizonte

Todos os dados dos coletores solares aqui utilizados são advindos de modelos disponíveis no mercado. No entanto, os nomes dos fabricantes foram omitidos com o objetivo de tornar imparcial o estudo realizado. Uma lista com os nomes dos fabricantes associados à ABRAVA e participantes do Programa Brasileiro de Etiquetagem para coletores solares térmicos encontra-se no Anexo D. O coletor solar a ser utilizado nos cálculos é o de modelo M3-B do fabricante B, cujos dados encontram-se na Tabela 19. Os dados dos demais coletores cadastrados encontram-se no Anexo D. A escolha do coletor solar deve ser feita observando-se a produção de energia mensal, o preço do coletor e sua relação de área x produção de energia.

| Modelo | Área Externa do coletor [m ²] | Prod. Mensal de Energia [kWh/mês] | Eficiência Energética média [%] | Faixa de Classificação | Preço | Preço do kwh |
|--------|--|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------|--------------|
| M3-B | 2,98 | 236,00 | 56,70 | B | R\$ 475,08 | 2,01 |

Tabela 19 – Dados do coletor solar utilizado nos cálculos.

Para prosseguir no cálculo tanto do sistema de aquecimento solar ou do sistema convencional é preciso que sejam determinadas as temperaturas de funcionamento do sistema de aquecimento. A temperatura de armazenamento (temperatura máxima de água) é de 60°C, a temperatura de termostato é de 45 °C e a temperatura pra banho é de 40°C.

7.3 – CÁLCULO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir desses dados é possível calcular a radiação teórica incidente e a produção mensal de energia. Esta produção é relativa a um coletor. Os cálculos aqui apresentados foram feitos a partir das equações presentes na planilha de cálculo e apresentadas no decorrer do texto.

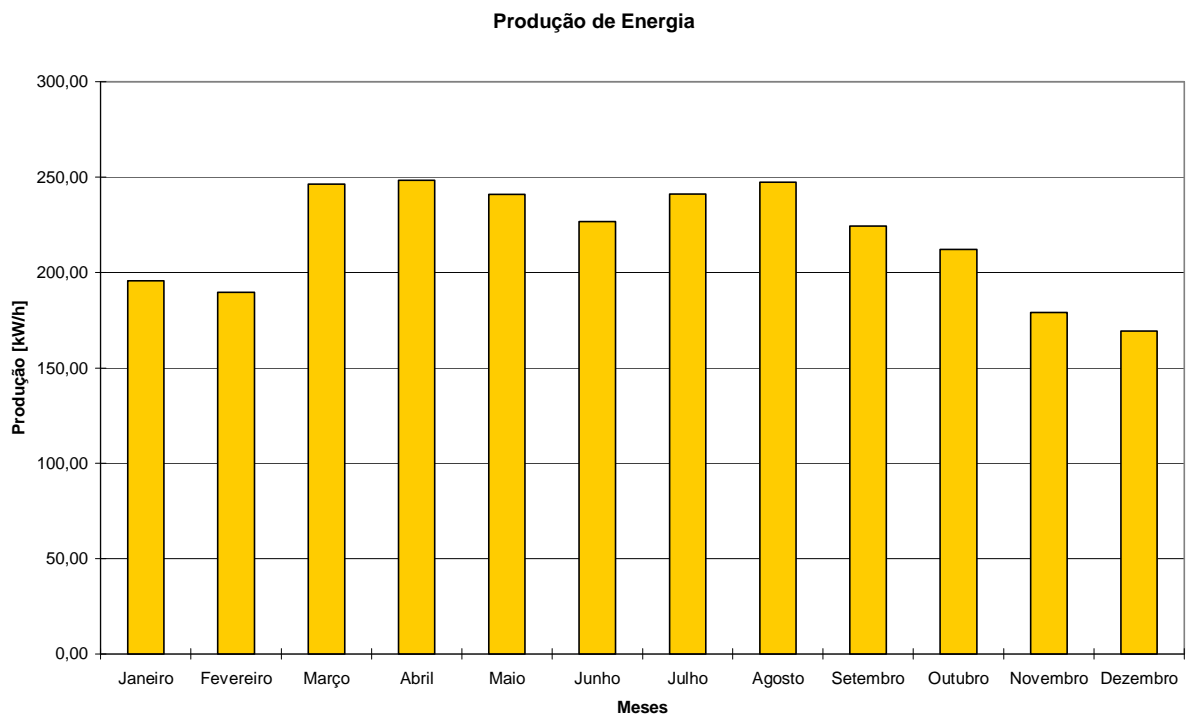


Figura 58 – Produção mensal de energia e média mensal para uma residência unifamiliar.

A produção média de energia (Figura 58) é calculada com base nos dados fornecidos no relatório do Inmetro feito pelo Green Solar. A média mensal de produção é de 218,45 kWh/mês. A energia necessária para o aquecimento do volume total de água mensalmente é mostrada na Tabela 20.

| Mês | Nº Dias | Temp. Amb. Média [°C] | L – Mensal [kWh/mês] |
|-----------|---------|-----------------------|----------------------|
| Janeiro | 31 | 23,50 | 26.604,39 |
| Fevereiro | 28 | 23,90 | 23.766,44 |
| Março | 31 | 23,70 | 26.458,62 |
| Abril | 30 | 22,40 | 26.522,10 |
| Mai | 31 | 20,50 | 28.791,06 |
| Junho | 30 | 19,20 | 28.779,30 |
| Julho | 31 | 18,85 | 29.993,72 |
| Agosto | 31 | 20,45 | 28.827,50 |
| Setembro | 30 | 21,70 | 27.015,86 |
| Outubro | 31 | 22,60 | 27.260,39 |
| Novembro | 30 | 22,85 | 26.204,68 |
| Dezembro | 31 | 22,85 | 27.078,17 |
| Média | | | 27.275,19 |

Tabela 20 – Demanda mensal de energia.

Devem ser levadas em consideração as perdas do reservatório térmico aprovado também pelo Inmetro. O gráfico da Figura 59 mostra a demanda de energia e as perdas do reservatório, que, para efeito de simplificação de cálculo, foi considerado como sendo um reservatório térmico único.

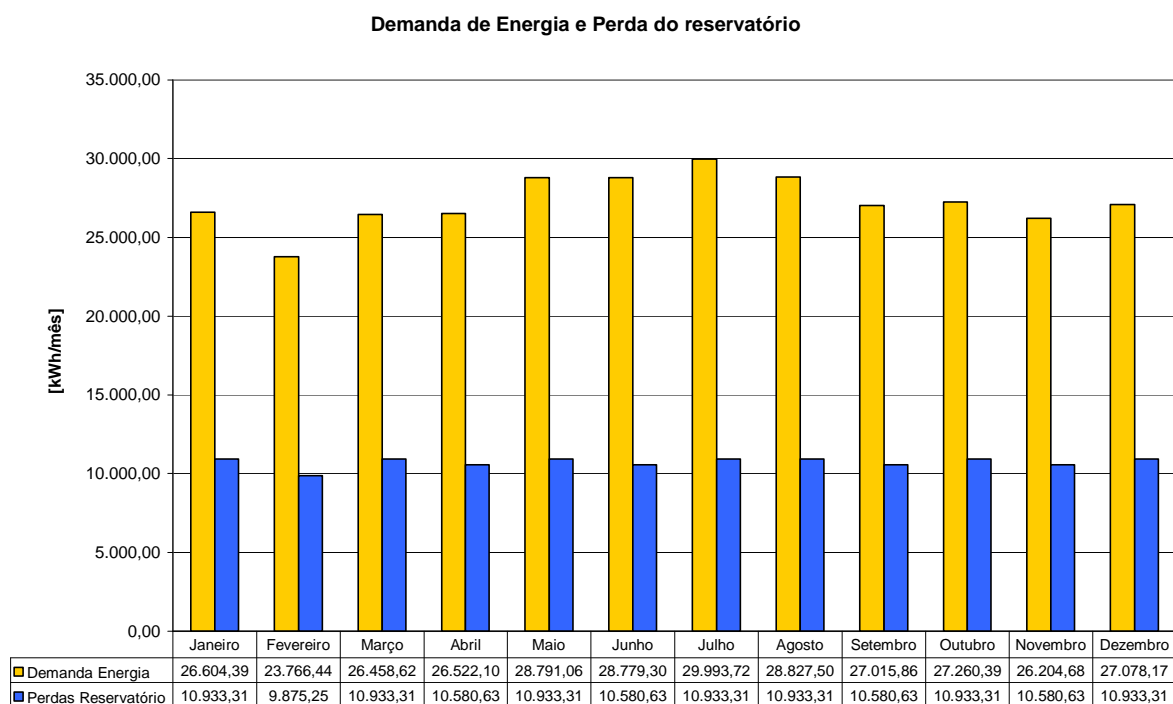


Figura 59 – Demanda de energia + perdas reservatório.

Após definir o modelo do coletor e a cidade na qual será realizado o cálculo, é preciso simular o número de coletores necessários. Normalmente, não se dimensiona um sistema

de aquecimento com coletores solares que atenda a 100% da demanda de água quente. Em primeiro lugar, porque isto é impossível em algumas regiões, devido à elevada nebulosidade. Além disso, porque o custo da instalação seria muito elevado. É necessário fazer um pequeno estudo para verificar qual é a melhor relação de área a ser utilizada. Em geral, adota-se uma fração solar de 70% para iniciar os cálculos (Método da Carta F seção 5.2.3). A alteração deste índice dependerá do custo dos equipamentos, do espaço para instalação das baterias de coletores, entre outros fatores.

O número de coletores escolhidos é o principal fator de ajuste, pois ao se aumentar o número de coletores, eleva-se a independência do sistema em relação a outras fontes de energia. Para que seja evidenciada a importância da determinação do número de coletores solares, foi feita uma variação com o número de coletores utilizados, conforme mostra a Tabela 21. Uma vez que o valor do coletor solar selecionado para o cálculo é de R\$ 475,08, pode-se então verificar que um aumento no número de coletores (acrécimo de 35 coletores) possibilita uma economia anual de R\$ 7.358,87. O custo inicial para o acréscimo no número de coletores seria de R\$ 16.627,80, donde se conclui que em cerca de 4 anos o custo deste acréscimo seria pago.

| Nº Coletores | Fração Solar | Solar + Backup Elétrico |
|--------------|--------------|-------------------------|
| 70 | 68,70% | R\$ 15.452,70 |
| 75 | 71,42% | R\$ 14.106,05 |
| 80 | 73,92% | R\$ 12.866,76 |
| 85 | 76,21% | R\$ 11.729,39 |
| 90 | 78,31% | R\$ 10.688,60 |
| 95 | 80,23% | R\$ 9.739,17 |
| 100 | 81,97% | R\$ 8.875,94 |
| 105 | 83,54% | R\$ 8.093,83 |

Tabela 21 – Estudo da relação entre o número de coletores, fração solar e custo com o combustível do sistema de backup.

Para o conjunto habitacional em estudo, o número de coletores a serem utilizados é de 90 (fração solar de 78,31%), inclinados 30° em relação ao solo. A definição da área coletora necessária durante o ano se justifica pela variação da radiação na cidade de Belo Horizonte e, também, pela área disponível para instalação dos coletores solares. O gráfico da Figura 60 mostra os valores da área necessária em função da área coletora definida. É importante lembrar que muitas vezes a área coletora é limitada pela área de instalação disponível.

Área Coletora Necessária X Decisão de Projeto

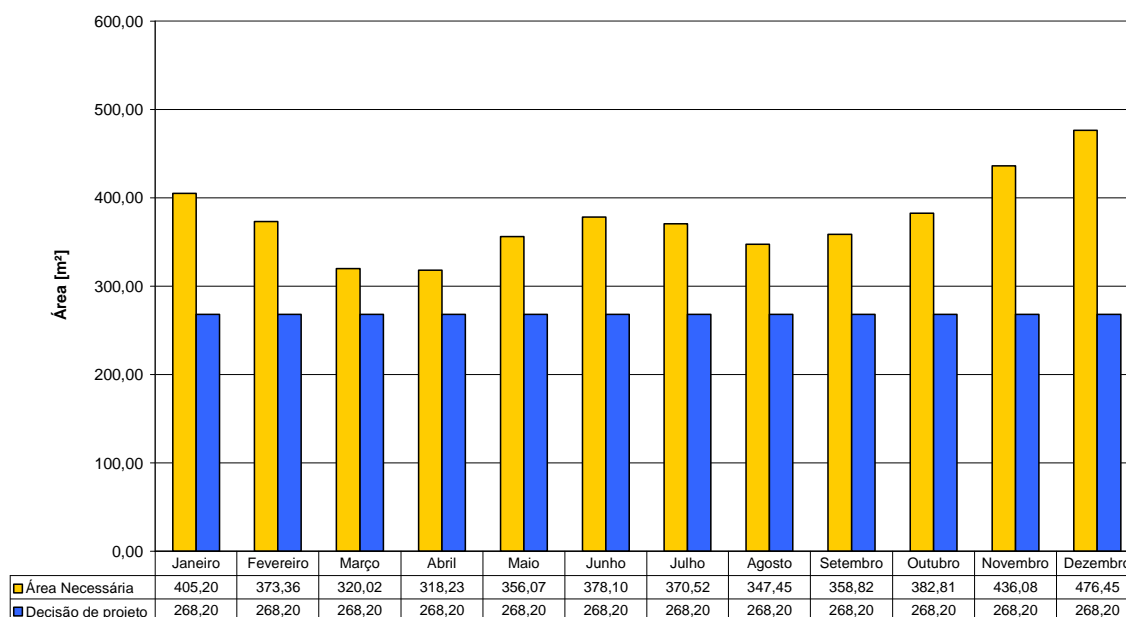


Figura 60 – Área coletora necessária x decisão de projeto.

O gráfico da Figura 61 mostra comparativamente a produção de energia do sistema de aquecimento solar dimensionado e a demanda de energia necessária ao longo do ano.

Demanda de Energia X Produção de Energia

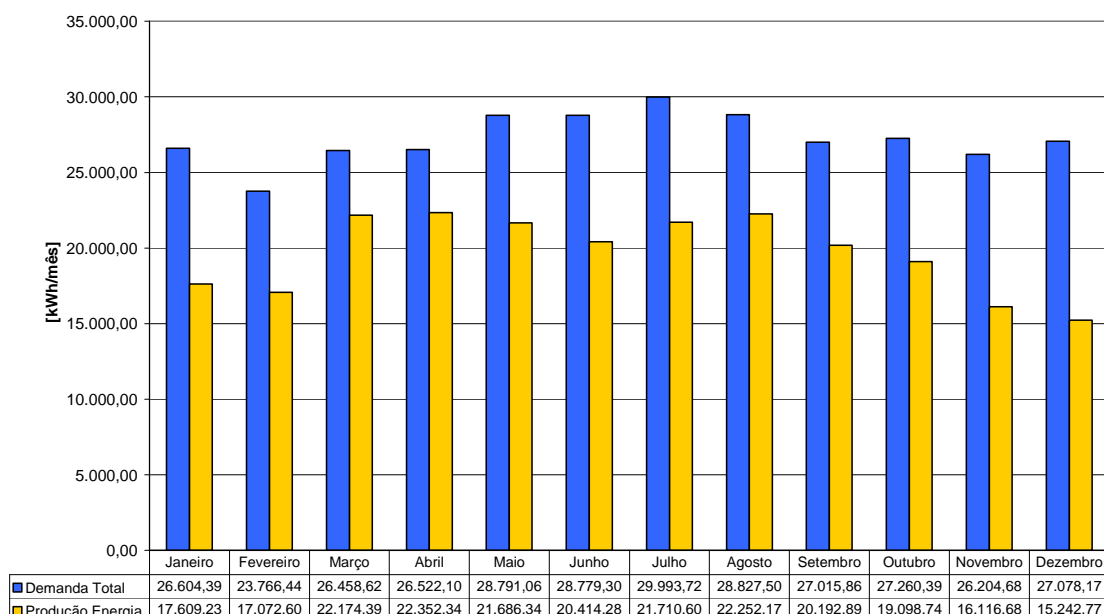


Figura 61 – Produção mensal de energia.

Percebe-se pela análise dos gráficos, que será necessário a utilização de um sistema de *backup* para suprir a demanda de energia que não foi totalmente atendida pela utilização

dos coletores solares. Ao selecionar o sistema de *backup*, é possível verificar a economia do sistema de aquecimento solar como um todo. Uma vez que um dos objetivos do trabalho é estabelecer uma comparação entre o sistema de aquecimento solar térmico e o sistema de aquecimento convencional, é preciso que sejam definidos o intervalo de aquecimento em horas e o equipamento a ser utilizado. Após a seleção destes parâmetros o cálculo é realizado, levando-se em consideração a eficiência do equipamento e o combustível utilizado para seu funcionamento. Realizados os cálculos dos dois sistemas é possível então proceder à comparação do sistema de aquecimento solar mais o *backup* versus sistema de aquecimento convencional.

Devido ao grande número de combinações, serão mostrados o melhor e o pior caso e os demais dados estão disponíveis no Apêndice D. O pior caso é a utilização de caldeira elétrica e solar com *backup* de energia elétrica (Tabela 22). No caso do consumo de energia elétrica é preciso ressaltar que, dependendo do valor do kWh, o preço varia, mesmo para a população de baixa renda. O valor de referência para uma residência de baixa renda com consumo inferior a 90 kWh mensal é de R\$ 0,156534 (Cemig) . O valor das tarifas utilizadas no presente trabalho está nas Tabelas 77, 78 e 79 do anexo C. No caso da energia elétrica, a medida que o consumo aumenta, a tarifa de energia também aumenta. Em uma residência de baixa renda com consumo superior a 180 kWh por mês vai pagar o valor de R\$ 0,5642. Uma diferença de R\$ 0,0374 em relação aos R\$ 0,6016 cobrados para uma residência normal Todos os valores de tarifa de energia citados acima são relativos a Novembro de 2005.

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Elétrica | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Elétrica | Economia | % |
|--------------|--|---|---------------------|----------------|
| Janeiro | R\$ 1.801,48 | R\$ 1.074,58 | R\$ 726,89 | 40,35% |
| Fevereiro | R\$ 1.617,35 | R\$ 856,35 | R\$ 761,00 | 47,05% |
| Março | R\$ 1.796,06 | R\$ 627,88 | R\$ 1.168,18 | 65,04% |
| Mai | R\$ 1.882,81 | R\$ 840,87 | R\$ 1.041,94 | 55,34% |
| Junho | R\$ 1.856,18 | R\$ 935,42 | R\$ 920,76 | 49,60% |
| Julho | R\$ 1.927,54 | R\$ 910,34 | R\$ 1.017,19 | 52,77% |
| Agosto | R\$ 1.884,16 | R\$ 798,28 | R\$ 1.085,88 | 57,63% |
| Setembro | R\$ 1.790,59 | R\$ 848,13 | R\$ 942,46 | 52,63% |
| Outubro | R\$ 1.825,88 | R\$ 1.001,09 | R\$ 824,78 | 45,17% |
| Novembro | R\$ 1.760,42 | R\$ 1.198,89 | R\$ 561,53 | 31,90% |
| Dezembro | R\$ 1.819,10 | R\$ 1.396,25 | R\$ 422,85 | 23,24% |
| Total | R\$ 21.733,77 | R\$ 11.072,99 | R\$ 9.473,46 | Média – 47% |

Tabela 22 – Comparativo de custos entre sistema utilizando caldeira elétrica e sistema solar com *backup* de caldeira elétrica.

O melhor caso, no aspecto econômico, caracteriza-se pela utilização da lenha tanto para o *backup* do solar como para alimentação da caldeira (Tabela 23).

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Lenha | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Lenha | Economia | % |
|--------------|-------------------------------------|--|---------------------|----------------|
| Janeiro | R\$ 1.222,51 | R\$ 729,23 | R\$ 493,28 | 40,35% |
| Fevereiro | R\$ 1.097,56 | R\$ 581,13 | R\$ 516,42 | 47,05% |
| Março | R\$ 1.218,83 | R\$ 426,09 | R\$ 792,74 | 65,04% |
| Maiο | R\$ 1.277,70 | R\$ 570,63 | R\$ 707,08 | 55,34% |
| Junho | R\$ 1.259,63 | R\$ 634,79 | R\$ 624,84 | 49,60% |
| Julho | R\$ 1.308,06 | R\$ 617,77 | R\$ 690,28 | 52,77% |
| Agosto | R\$ 1.278,62 | R\$ 541,73 | R\$ 736,89 | 57,63% |
| Setembro | R\$ 1.215,12 | R\$ 575,55 | R\$ 639,57 | 52,63% |
| Outubro | R\$ 1.239,07 | R\$ 679,36 | R\$ 559,71 | 45,17% |
| Novembro | R\$ 1.194,65 | R\$ 813,59 | R\$ 381,06 | 31,90% |
| Dezembro | R\$ 1.234,47 | R\$ 947,52 | R\$ 286,95 | 23,24% |
| Total | R\$ 14.748,90 | R\$ 7.514,32 | R\$ 6.428,85 | Média – 47% |

Tabela 23 – Comparativo de custos entre sistema utilizando caldeira a lenha e sistema solar com *backup* de caldeira a lenha.

Apesar de a lenha ser o energético mais barato dentre os relacionados neste trabalho, ela apresenta um PCI baixo e uma emissão de CO₂ alta quando comparada aos outros suprimentos de energia. Outro problema ligado à utilização de lenha é o custo de manutenção em funcionamento de um sistema alimentado a lenha. A exigência de operadores de caldeira 24 horas por dia inviabiliza a sua utilização, uma vez que os outros sistemas podem ser supridos por mecanismos automáticos. Um outro fator a se levar em conta também é o custo de armazenagem uma vez que para a utilização de lenha seriam necessários 7 m³ por mês de lenha em média. As figuras 62 a 66 mostram gráficos comparativos da emissão de Material Particulado, SO_x, NO_x, CO₂ e CO.

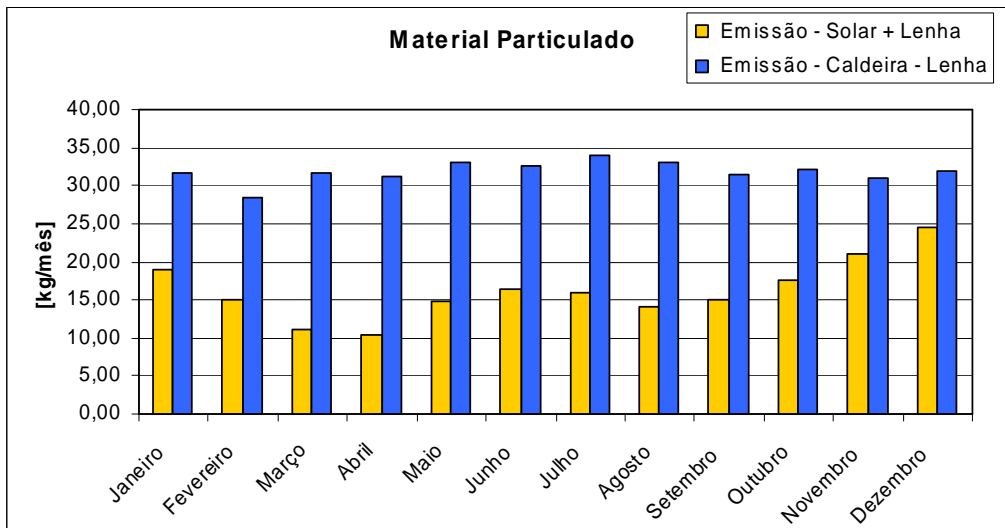


Figura 62 – Gráfico comparativo de emissão de material particulado

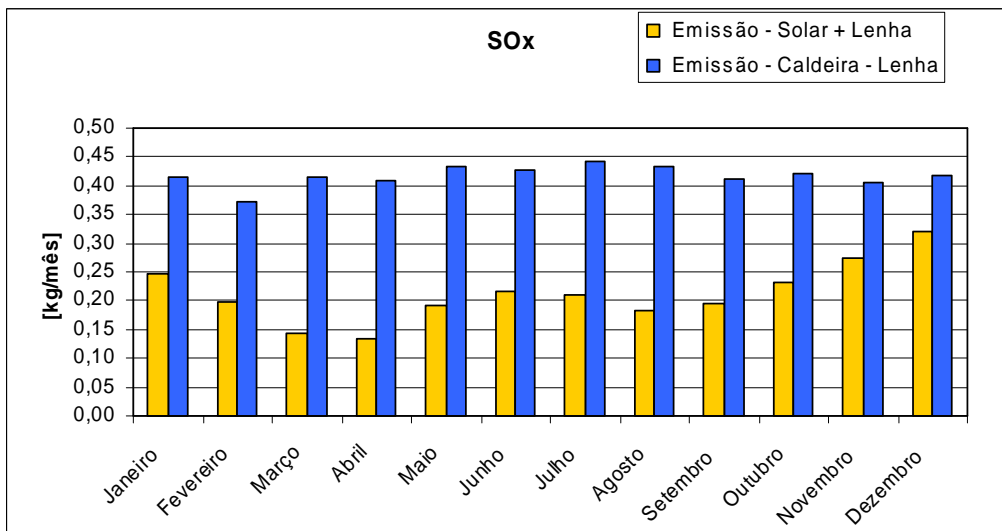


Figura 63 – Gráfico comparativo de emissão de SOx.

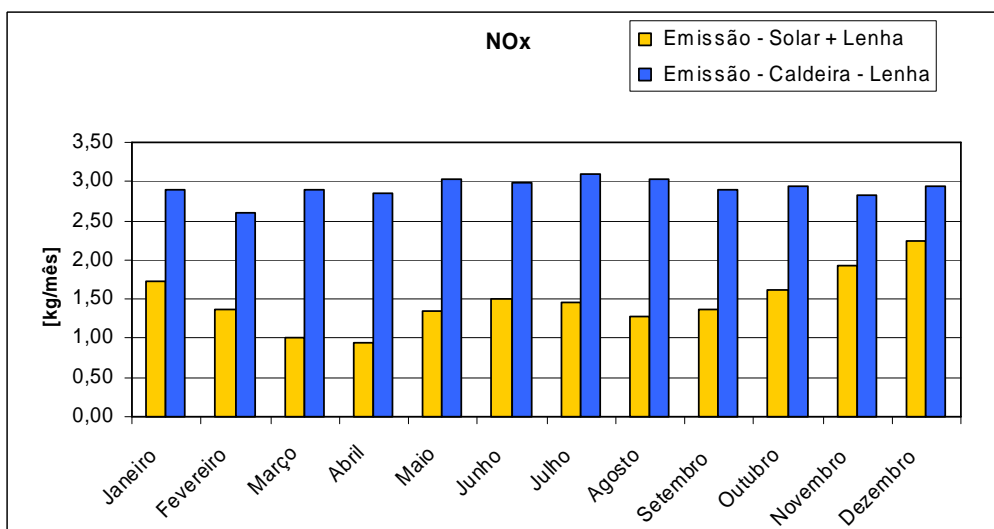


Figura 64 – Gráfico comparativo de emissão de NOx.

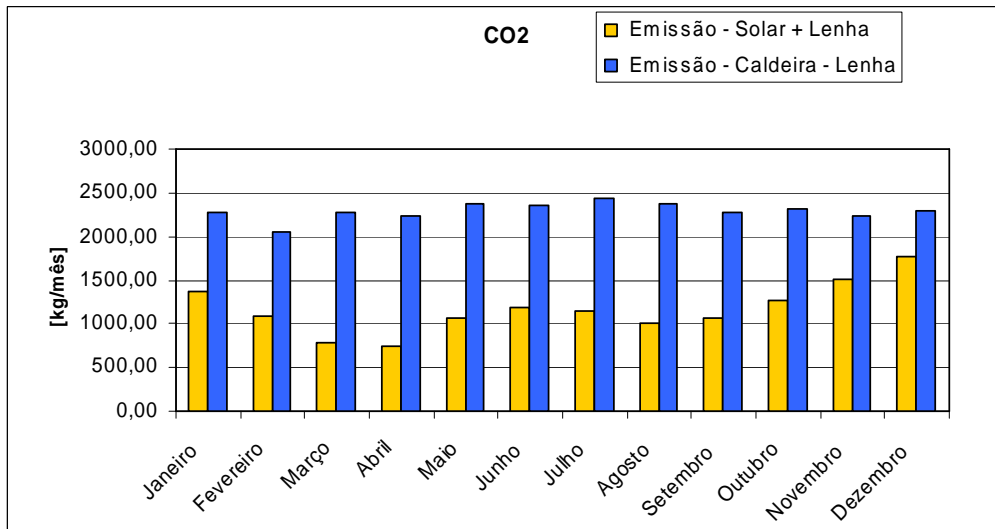


Figura 65 – Gráfico comparativo de emissão de CO₂

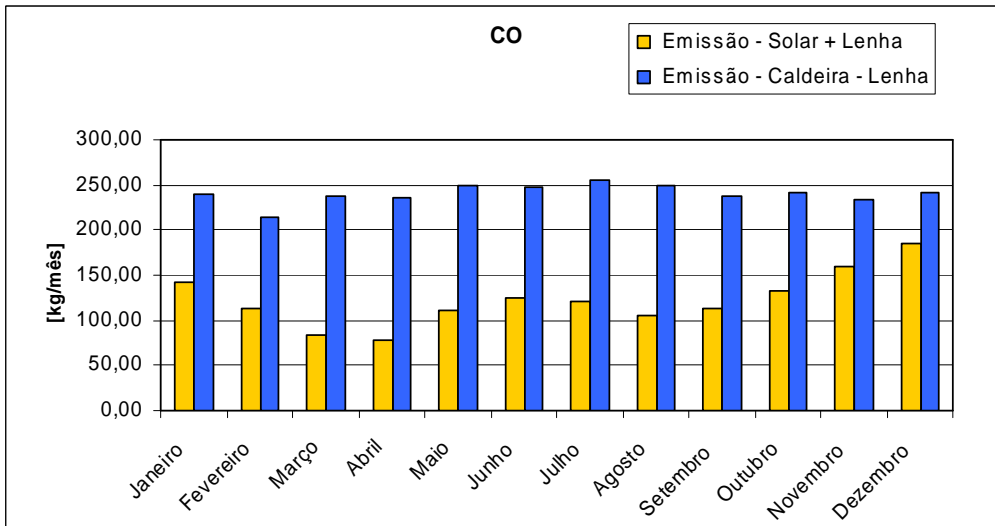


Figura 66 – Gráfico comparativo de emissão de CO.

Nota-se que o aspecto dos gráficos é o mesmo em virtude do valor da fração solar ser constante para todas as situações listadas acima e igual a 78,31%. Devido à sua baixa emissão de poluentes e o seu custo competitivo, o energético mais indicado para utilização no *backup* do sistema de aquecimento solar ou na caldeira é o gás natural. Entretanto, a disponibilidade de gás natural nos grandes centros ainda é restrita, pois a rede de distribuição não tem uma grande abrangência.

Um outro cálculo que também dever ser feito é o dos custos de utilização de chuveiro elétrico x solar com *backup* elétrico. A Tabela 24 mostra a demanda de energia mês a mês

e, também o valor do consumo mensal das duas tecnologias. Neste caso está se comparando somente valor de utilização e não custo de implementação da solução.

| Mês | Demanda Mensal Chuveiro [kWh/mês] | Custo mensal: chuveiro elétrico | Consumo Mensal: Solar + Elétrico [kWh/mês] | Custo mensal: Solar + elétrico | Economia |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------|------------------|
| Janeiro | 102,30 | R\$ 16,01 | 59,30 | R\$ 9,28 | R\$ 6,73 |
| Fevereiro | 92,40 | R\$ 14,46 | 46,54 | R\$ 7,28 | R\$ 7,18 |
| Março | 102,30 | R\$ 16,01 | 31,42 | R\$ 4,92 | R\$ 11,09 |
| Abril | 99,00 | R\$ 15,50 | 28,19 | R\$ 4,41 | R\$ 11,08 |
| Mai | 102,30 | R\$ 16,01 | 42,69 | R\$ 6,68 | R\$ 9,33 |
| Junho | 99,00 | R\$ 15,50 | 48,23 | R\$ 7,55 | R\$ 7,95 |
| Julho | 102,30 | R\$ 16,01 | 46,03 | R\$ 7,21 | R\$ 8,81 |
| Agosto | 102,30 | R\$ 16,01 | 39,97 | R\$ 6,26 | R\$ 9,76 |
| Setembro | 99,00 | R\$ 15,50 | 44,21 | R\$ 6,92 | R\$ 8,58 |
| Outubro | 102,30 | R\$ 16,01 | 54,11 | R\$ 8,47 | R\$ 7,54 |
| Novembro | 99,00 | R\$ 15,50 | 67,18 | R\$ 10,52 | R\$ 4,98 |
| Dezembro | 102,30 | R\$ 16,01 | 79,56 | R\$ 12,45 | R\$ 3,56 |
| Total | 1.204,50 | R\$ 188,55 | 587,42 | R\$ 91,95 | R\$ 96,59 |

Tabela 24 – Comparativo de custos entre utilização de chuveiro elétrico e sistema solar individual com backup elétrico.

Considerando-se que a potência do chuveiro é 4,4 kW, o consumo diário de energia é de $4,4\text{kW} \times 5(\text{pessoas}) \times 0,15\text{h} = 3,3$ kWh por dia. Multiplicando-se este valor pelo número de dias do ano, tem-se o consumo anual de 1.204,50 kWh/ano. Entretanto, neste caso, o custo de implantação do sistema de aquecimento solar individual é cerca de 30 vezes superior ao custo de um chuveiro.

Para que fosse feita uma comparação entre o sistema distrital de aquecimento solar + caldeira a lenha com a caldeira a lenha, foram levantados os custos referentes a sua implantação (Tabelas 25 e 26).

| itens | Quantidade | Preço unitário | Desconto ? | Valor Desconto | Preço unitário com desconto | Preço Total | Fornecedor |
|---|------------|----------------|------------|----------------|-----------------------------|---------------|-------------------|
| Coletor Solar | 90 | R\$ 475,08 | Sim | 10,00% | R\$ 427,57 | R\$ 38.481,48 | Fabricante B |
| Área mínima para instalação solar [m²] | 321,84 | R\$ 16,00 | Não | 93,00% | - | R\$ 5.149,44 | SMHB - Adriana |
| Reservatório Térmico 5000 L | 2 | R\$ 7.916,00 | Sim | 5,00% | R\$ 7.520,20 | R\$ 15.040,40 | Enalter |
| Reservatório Combustível | 0 | R\$ - | Não | 0,00% | - | R\$ - | |
| Mão de obra [h] | 30 | R\$ 30,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 900,00 | |
| Bomba | 2 | R\$ 1.200,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 2.400,00 | Grundfos - Dancor |
| Eletrônica | 2 | R\$ 800,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 1.600,00 | Kamstrup |
| Tubos e Conexões | 1 | R\$ 7.489,98 | Sim | 10,00% | R\$ 6.740,98 | R\$ 6.740,98 | Tigre |
| Caldeira - Lenha | 1 | R\$ 15.824,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 15.824,00 | Arauterm |
| Área necessária demais equipamentos [m²] | 360 | R\$ 16,00 | Sim | 93,00% | R\$ 1,12 | R\$ 403,20 | SMHB - Adriana |
| Outros - Especificar. | 0 | R\$ - | Não | 0,00% | - | R\$ - | |
| Custo capital total do sistema de aquecimento solar + Caldeira - Lenha | | | | | | R\$ 86.539,50 | |
| Custo capital do sistema de aquecimento solar + Caldeira - Lenha por residência | | | | | | R\$ 865,40 | |

Tabela 25 – Custo capital da instalação solar + caldeira a lenha de backup.

| itens | Quantidade | Preço unitário | Desconto ? | Valor Desconto | Preço unitário com desconto | Preço Total | Fornecedor |
|---|------------|----------------|------------|----------------|-----------------------------|---------------|-------------------|
| Caldeira - Lenha | 1 | R\$ 17.480,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 17.480,00 | Arauterm |
| Área necessária [m²] | 450 | R\$ 16,00 | Sim | 93,00% | R\$ 1,12 | R\$ 504,00 | SMHB - Adriana |
| Reservatório Água Quente - 5000 litros | 2 | R\$ 7.916,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 15.832,00 | Enalter |
| Reservatório Combustível | 1 | R\$ 1.100,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 1.100,00 | Depósito lenha |
| Mão de obra [h] | 60 | R\$ 180,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 10.800,00 | Arauterm |
| Bomba | 2 | R\$ 1.200,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 2.400,00 | Grundfos - Dancor |
| Eletrônica | 2 | R\$ 800,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 1.600,00 | Kamstrup |
| Tubos e Conexões | 1 | R\$ 7.489,98 | Sim | 10,00% | R\$ 6.740,98 | R\$ 6.740,98 | Tigre |
| Outros - Especificar. | 0 | R\$ - | Não | 0,00% | - | R\$ - | |
| Custo capital total do sistema de aquecimento convencional | | | | | | R\$ 56.456,98 | |
| Custo capital do sistema de aquecimento convencional por residência | | | | | | R\$ 564,57 | |

Tabela 26 – Custo capital da instalação de caldeira a lenha.

O custo total para instalação do sistema de aquecimento solar foi de R\$ 86.539,50. O custo por família é igual a R\$ 865,40. Já no sistema de aquecimento convencional, o custo foi de R\$ 56.456,98 e o custo por família foi de R\$ 564,57. Apesar destes resultados, é importante lembrar que o custo anual com a lenha no sistema de aquecimento solar é cerca de 40% menor do que o da caldeira. Entretanto há que se analisar o investimento inicial e também os custos de manutenção. Para fazer esta análise é preciso calcular o valor da prestação de cada um dos investimentos, uma vez que se considera que a obra seria paga pelos membros da comunidade. A taxa de juros utilizada é de 1,52 % ao mês, composta pela taxa de juros básica mais TJLP (taxa de juros de longo prazo). A Tabela 27 a seguir mostra o comparativo entre o solar térmico e o sistema convencional.

| Itens | Caldeira – Lenha | Solar + Caldeira – Lenha |
|----------------------------|------------------|--------------------------|
| Sistema de Financiamento | PRICE | PRICE |
| Taxa de Juros | 1,52% | 1,52% |
| Valor a ser financiado | R\$ 56.456,98 | R\$ 86.539,50 |
| nº Prestações | 120 | 120 |
| Valor das Prestações | R\$ 1.028,02 | R\$ 1.575,80 |
| Valor anual das prestações | R\$ 12.336,30 | R\$ 18.909,57 |
| Pay-back Simples (anos) | 4,40 | 4,07 |
| Pay-back descontado (anos) | 7,20 | 7,04 |

Tabela 27 – Comparativo de custos entre as duas tecnologias

O cálculo do pay-back é descrito na seção 6.1.3 – Análise financeira. A diferença de tempo entre o pay-back simples e o descontado pode ser explicada pelo fato de que no pay-back descontado, o cálculo do VPL leva em consideração o desconto simples. Isto significa dizer que pay-back descontado traduz melhor a realidade, uma vez que trabalha com os valores do fluxo de caixa atualizados no momento do pagamento. Apesar do montante a ser financiado no caso do sistema de aquecimento solar ser maior, o tempo para retorno de investimento é menor devido à uma maior economia em relação ao consumo de energia elétrica.

É interessante também comparar o custo de instalação do sistema de aquecimento solar individual frente ao sistema de aquecimento distrital. Foi estimado um custo de instalação de sistema individual de R\$ 1.300,00, constando de um coletor solar térmico, um reservatório térmico de 200 litros, um registro misturador de água e tubulação para interligação dos componentes. Multiplicando-se este valor pelo número de residências, chega-se a um custo total de R\$ 130.000,00. Uma vez que o custo total da instalação de aquecimento distrital foi de R\$ 86.539,50, observa-se que existe um valor para o qual a instalação centralizada torna-se mais atraente financeiramente que a instalação de sistemas individuais.

Para a escolha definitiva de uma tecnologia de aquecimento para um projeto de grande porte, devem então ser considerados todos os aspectos listados anteriormente, o técnico, o econômico e o ambiental.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES

Com base na discussão dos resultados apresentados no estudo de caso, podem-se extrair as seguintes conclusões e sugestões em relação aos objetivos propostos neste trabalho.

- O modelamento de um sistema, mesmo que simples, é tarefa das mais difíceis, uma vez que inúmeras variáveis estão envolvidas no processo. Muitas vezes, a obtenção de informações advindas de terceiros tornam o trabalho moroso e solitário. Apesar de todas as dificuldades encontradas, foi desenvolvida uma metodologia que permite avaliar a implantação de sistemas distritais de aquecimento de água de grande porte, em particular de sistemas térmicos solares sob o ponto de vista técnico, econômico e ambiental.
- A elaboração da planilha de cálculo, um dos produtos desta dissertação, permitirá a estudantes e profissionais selecionar tecnologias para instalações de aquecimento de grande porte de maneira mais fácil e sem profundos conhecimentos técnicos. É sabido que não basta a planilha, é preciso que se recorra à metodologia para obter embasamento teórico suficiente para a correta tomada de decisões.
- Com a aplicação da metodologia desenvolvida ao longo do trabalho foi possível avaliar, comparativamente, aspectos ligados a alternativas tecnológicas de instalações de sistemas de aquecimento de água de grande porte, incluindo aspectos econômicos, técnicos e ambientais.

Para a elaboração da metodologia foram selecionados os suprimentos de energia: óleo combustível, óleo diesel, gás natural, gás liquefeito de petróleo-GLP, biomassa, energia elétrica, energia solar. Uma análise cruzada foi feita experimentando os diversos suprimentos de energia em uma instalação convencional e em uma instalação com energia solar térmica.

O modelamento do sistema de aquecimento distrital e a elaboração da planilha de cálculo permitem dizer que foram atingidos os objetivos propostos nesta dissertação. Os resultados obtidos neste trabalho são fruto dos dados coletados e alimentados na planilha de cálculo.

Avaliando-se mais detidamente os cálculos da Granja de Freitas IV , vila selecionada para o estudo de caso, observou-se que existe um número de famílias, cerca de 260, para as

quais o sistema de aquecimento solar distrital torna-se mais competitivo do que a solução de aquecimento solar individual. Também o número de coletores escolhidos é elemento de grande importância. Diversas simulações foram realizadas e foi possível observar que ao se aumentar o número de coletores, eleva-se a independência do sistema em relação a outras fontes de energia, entretanto deve-se levar em consideração o aspecto econômico e avaliar o tempo de retorno do investimento no caso do acréscimo de coletores solares. Uma simulação foi feita variando-se o número de coletores utilizados e pode-se então verificar que um aumento no número de coletores (acrécimo de 35 coletores) possibilita uma economia anual de R\$ 7.358,87. O custo inicial para o acréscimo no número de coletores seria de R\$ 16.627,80, donde se conclui que em cerca de 4 anos o custo deste acréscimo seria pago.

Quando se fala em custo capital, ou seja, o investimento inicial para a instalação de ambas as soluções, vê-se que o sistema que utiliza coletores solares tem um custo capital de 34% maior que os sistemas convencionais, como por exemplo um sistema utilizando cadeira a gás natural. Mas é preciso avaliar este custo ao longo dos anos pois de acordo com o cálculo a diferença entre o gasto mensal com o combustível, em diversas situações, por exemplo na pior situação em termos financeiros, lenha (sistema com aquecimento solar) x GLP (sistema convencional) que é de 17 % em favor do sistema solar compensaria o custo capital em pouco mais de um ano de utilização.

Também foi possível, embora de modo preliminar, comparar quantitativamente a emissão de poluentes das soluções adotadas. Neste sentido é correto afirmar que apesar de ser o suprimento de energia mais caro, a energia elétrica, se não se fizer a análise de toda a cadeia energética, é o suprimento energético com fator de emissão zero. Próximo de zero também encontra-se o gás natural, e em um outro extremo o óleo combustível.

No aspecto econômico, a lenha, seja como *backup* para o sistema solar de aquecimento, ou para a utilização em caldeira sem uso da energia solar, é o combustível que apresenta menor custo por GJ produzido, mesmo possuindo uma eficiência de conversão menor do que caldeiras que utilizem outros combustíveis. Entretanto deve-se levar em consideração também o aspecto ambiental da utilização da lenha pois sabe-se que os mecanismos de controle para atestar se a madeira vem de uma floresta sustentável ou não são ainda muito fracos, o que leva muitas vezes à utilização de madeira de reservas nativas. Tomando-se

como padrão a utilização de madeira proveniente de florestas sustentáveis, observou-se que em números absolutos o sistema composto por coletores solares planos + caldeira alimentada a lenha é em média 47% mais barato do que um sistema composto de caldeira alimentada a lenha atendendo a mesma demanda. Então em cerca de 4 anos o sistema de aquecimento distrital solar justifica seu investimento frente ao sistema de aquecimento distrital convencional.

O uso de gás natural, por suas características físico-químicas e custo reduzido, é o mais indicado como *backup*; entretanto, o crescimento da rede de distribuição do gás natural na região metropolitana de Belo Horizonte e a comercialização do gás natural para aquecimento residencial ainda não são ações claramente definidas pela concessionária local, a Gasmig. Ainda avaliando o aspecto econômico é preciso levar em conta o custo de manutenção dos equipamentos, a sua depreciação e troca de parte do sistema.

O estudo de modelos de reservatórios de grande porte mais adequados é de suma importância, uma vez que cerca de 20% da energia armazenada é perdida na forma de calor. A tubulação também apresenta grande perda de energia e deve ser objeto de constantes estudos no sentido de se buscar a tecnologia mais eficiente.

Uma das idéias originais com relação ao software era a de ser possível que fosse feita a sua validação, comparando-o a uma obra de sistema de aquecimento distrital monitorada por sensores. Entretanto, não foi possível a realização de um projeto deste porte. Portanto, a validação do software não pode ser feita por completo. A parte do cálculo de radiação foi validada comparando-se os valores calculados com planilhas e software (Siscos).

É importante que se dê continuidade a este estudo, aplicando a metodologia a casos reais, o que permitirá reavaliar e validar o software, bem como avaliar as diferentes opções de sistemas de aquecimento distrital.

Não foi objeto deste estudo a avaliação da utilização de gás produzido em biodigestores, mas seria de suma importância em trabalhos futuros que esta tecnologia também fosse inserida nos estudos para que pudesse ser comparada às outras já existentes. Diversos países da Europa vêm adotando sistemas de aquecimento distrital utilizando-se de gás

produzido em biodigestores municipais, o que reduz significativamente o gasto com a utilização de combustíveis fósseis e o nível de poluição.

A divulgação da tecnologia solar para a comunidade acadêmica e a sociedade civil constitui etapa importante para a maior implementação de sistemas de aquecimento de grande porte utilizando coletores solares térmicos. Com a divulgação, a sociedade volta seus olhos para a importante questão da finitude de recursos, e pressiona o corpo legislativo a propor leis que incentivem a utilização de fontes de energia renováveis, como ocorre em diversos países da Europa e nos Estados Unidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 6023:2002. Informação e Documentação. Referências. Elaboração.** Agosto/2002

ABNT. **NBR 6023:2002. Informação e Documentação. Citações em Documentos. Apresentação.** Agosto/2002

ANSI/ASHRAE 96–1980 RA 1989, **Methods of testing to determine the Thermal Performance of Unglazed Flat–Plate Liquid–Type Solar Collectors.** American Society of Heating, Refrigeration, and Air – Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 1989. apud PEREIRA, E.M.D. **Energia solar térmica: instalações solares de pequeno porte – Parte A.** 5ª ed. Belo Horizonte: FUMARC, 2002. 91p.

ALMEIDA, R. J. **Planejamento Ambiental. Caminho para participação popular e gestão ambiental para nosso futuro comum. Uma necessidade. Um desafio.** 2 ed. Rio de Janeiro: Thex Editora, 1999. 160p.

ANDRADE, A. S., COSTA, G. C. V, FARIA, C. F. C. PEREIRA L. T. **Vendendo energia solar com qualidade.** Belo Horizonte: [s.n.], 2003.

ARRUDA, L B. **Operação de sistema de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos.** São Paulo, 2004. 250 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR – 7198: **Projeto e execução de instalações prediais de água quente.** Rio de Janeiro, 1993. 6p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR – 2342/85 **Coletores solares planos para líquidos. Determinação do rendimento térmico.** ABNT Rio de Janeiro, 1985. 25p.

Atlas web site. **Solar Thermal Heating.** Disponível em <http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/html/solarh.html>. Acesso em 7 de fevereiro de 2004.

BECHTOLD. R. L. **Alternative fuels guidebook. Properties, storage, dispenses, and vehicle facility modifications.** [S.l] : [s.n.], 1997. 203p.

BECKMAN, W. A., KLEIN S. A. and DUFFIE, J. A., **Solar Heating Design by the fChart Method.** Wiley–Interscience, New York (1977).

BECKMAN, W. A., KLEIN S. A. and DUFFIE, J. A., **Solar Heating Design by the fChart Method.** Wiley–Interscience, New York (1977). apud DUFFIE, J. A., BECKMAN W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes.** [S.l] : 2^a ed. John Wiley & Sons, INC, 1991. 913p.

BEZERRA, A. M. **Aplicações térmicas da energia solar.** 3 ed. João Pessoa: Editora Universitária, 1998. 242p.

BORGES, T. P. F. **Síntese otimizada de sistemas de aquecimento solar de água.** Campinas, 2000. 128 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

BORGES, T. P. F. **Síntese otimizada de sistemas de aquecimento solar de água.** Campinas, 2000. 128 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. apud LIMA, J.B.A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS.** 2003 Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo 2003.

BRAGA, A., PEREIRA, L. A. A., SALDIVA P. H. N. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana.** São Paulo: Faculdade de Medicina da USP, 2003.

BRASIL . MME- Ministério das Minas e Energia. Balanço Energético Nacional, 2005.

Brasil deve investir em energia alternativa. **Crea–MG Vértice**, Belo Horizonte, abril, 2004. P. 5.

CAMARGO, I. M. T. **Noções básicas de engenharia econômica: aplicações ao setor elétrico.** Brasília: Finatec, 1998. 160p.

CARVALHO, D. F. **Instalações Elevatórias. Bombas.** 5ª Edição. Belo Horizonte: FUMARC, 1995. 352p.

CARVALHO, J. A. , LACAVA, P. T. **Emissões em processos de combustão.** São Paulo: Editora UNESP, 2003. 129p.

CECCHI, J. C., ROSA, L. P. T. O efeito estufa e a queima de combustíveis fósseis no Brasil. **Ciência Hoje**, vol. 17, nº 97, p26–35, Janeiro/Fevereiro 1994.

Canadian District Energy Association – CDEA. Disponível em: < <http://www.cdea.ca/> >. Acesso em 15 de maio de 2003

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB, **Energia Solar – Princípios e Aplicações.** Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em 05 de maio de 2003.

CHAGAS, N. K., RODRIGUES, M. G. Com gás rumo ao futuro. **Ciência Hoje**, vol. 15, nº 85, p24–29, Outubro 1992.

CLEMENTE, A. **Economia Regional e Urbana.** – São Paulo: Atlas, 1994. 170p.

COELHO, Suani. **Mecanismos para implementação da Co-geração de eletricidade a partir de Biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo.** 1999. 278f. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, 1999.

COLLARES-PEREIRA, M., RABL, A. **The average distribution of solar radiation - correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values.** Solar Energy, v.22, p.155-164, 1979.

COLEBROOK, C. F. **Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth na rough pipe laws.** Journal of the Institution of Civil Engineers, London, 11, 1938–39, pp. 133–156.

COLEBROOK, C. F. **Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth na rough pipe laws.** Journal of the Institution of Civil Engineers, London, 11, 1938–39, pp. 133–156. apud FOX, R. W., McDonald, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos.** 4º ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A, 1995 662p. Original Inglês.

COLLE, S., PEREIRA, E. B. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil.** Brasília, 1998. 65p. (Disponível em CD-ROM)

COMMITTE ON DISTRICT HEATING AND COOLING – CDHC. **District Heating and Cooling in the United States. Prospects and issues.** Washington, D.C: National Academy Press, 1985.148p.

CONSTANTINESCU, N. **District Heating across Europe trends from east to west** Volume IV Setembro – Outubro 2003 Disponível em < <http://www.jxj.com> >. Acesso em 5 de Janeiro de 1999.

CORREIA, K. **Consumo maior eleva urgência de novas obras.** ABRAGE – Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica. 2004. Disponível em: <<http://www.abrage.com.br/>>. Acesso em 1 Set. 2004

COSTA, Fernando. **Fundamentos sobre gases combustíveis** – Krona Consultoria e Projetos Ltda. Disponível em <<http://www.krona.srv.br>>. Acesso em: 21 de Jul. de 2004.

DALENBÄCK, J. **Information brochure on Large–Scale Solar Heating.** European Large–Scale Solar Heating Nertwork. Göteborg, nov. 1999.

D’AVIGNON, A. Queima de combustíveis degrada as cidades. **Ciência Hoje**, vol. 17, nº 99, p48–50, Abril 1994.

DENARDIN, João C. et al. Fluidos – Conteúdo Teórico e Atividades Experimentais. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 33p.

DNMET. **Normas Climatológicas: 1961–1990**. Brasília: 1992.

DUFFIE, J. A., BECKMAN W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. [S.l.] : 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc., 1991. 913p.

ECAL, **Caldeiras e Aquecedores Ltda**. Disponível em: < <http://www.ecal.com.br>>. Acesso em 05 de maio de 2004.

Eletropaulo. **Pesquisas de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo – 1997**. Disponível em: < http://www.sociedadadosol.org.br/projeto_congressos_01.htm>. Acesso em 05 de Junho de 2004.

Environmental Protect Agency, United States. **AP 42 – Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. 5ª Edição. Disponível em <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 05 de Janeiro de 2004.

European Solar Thermal Federation (ESTIF), **Solar Thermal Markets in Europe (Trends and market statistics 2003)**. Jun 2004.

European Solar Thermal Federation (ESTIF), **Sun in Action II – A solar Thermal Strategy for Europe**. Vol 1. 2003

European Solar Thermal Federation (ESTIF), **Sun in Action II – A solar Thermal Strategy for Europe**. Vol 1. 2003 apud FARIA, Carlos F.C. **Estratégias para o aquecimento solar no Brasil, mercado, perspectivas e plano de ação**. Monografia (especialização) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

European Solar Thermal Federation (ESTIF), **Sun in Action II – A solar Thermal Strategy for Europe**. Vol 2. 2003

FARIA, Carlos F.C. **Estratégias para o aquecimento solar no Brasil, mercado, perspectivas e plano de ação.** Monografia (especialização) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

FRANÇA, Júnia Lessa. **Manual para Normalização de Publicações Técnico–científicas.** 5ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001. 188p.

GARCIA, Rafael. Missão possível – Tecnologias e iniciativas que já existem em pequena escala e podem deter o aquecimento global se forem ampliadas. **Galileu**, São Paulo, Outubro 2004.

GasNet – O Site do Gás Natural. **O gás.** Disponível em <<http://www.gasnet.com.br/>>. Acesso em: 15 de maio de 2004

GOLDEMBERG, J. The Evolution of Ethanol Costs in Brazil. **Energy Policy.** V.24, N.12, pp–1127–1128, 1996.

GOLDEMBERG, J. The Evolution of Ethanol Costs in Brazil. **Energy Policy.** V.24, N.12, pp–1127–1128, 1996. apud COELHO, Suani. **Mecanismos para implementação da co–geração de eletricidade a partir de Biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo.** 1999. 278f. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, 1999.

GUIMARÃES, A. P. C., **Estudo Solarimétrico com Base na Definição de Mês Padrão e Seqüência de Radiação Diária.** 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

GÜNTER, F. **Introdução aos problemas da poluição ambiental.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. 193p.

HAWKEN, P., LOVINS, A., LOVINS, L. H. **Capitalismo natural. Criando a próxima revolução industrial.** 1ª ed. São Paulo: Editora Culturix, 2000. 331 p.

HEALEY, H. M. **Cost–effective solar applications for commercial and industrial facilities.** **Energy Engineering,** V. 43, n. 4, p34–45, 1997.

HOUAISS, A., KOOGAN, A. **Enciclopédia e dicionário ilustrado**. Edições delta: Rio de janeiro, 1994.

INCROPERA, F. P., WITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Trad. 3ª ed. Horácio Macedo (1992), trad. 4ª ed. Sérgio Stamile Soares (1998), Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. Original Inglês.

International Association of District Heating, District Cooling and Combined heat and power. **Statistics**. Disponível em <<http://www.euroheat.org>> acesso em 15 de janeiro de 2005.

International District Heating Association – IDEA. **Cooling, Heating, and Cooling, Heating, and Power in the Nation’s Power in the Nation’s Colleges & Universities Colleges & Universities**. Census, Survey, and Lessons Learned Census, Survey, and Lessons Learned. Report for Oak Ridge National Laboratory and Report for Oak Ridge National Laboratory and the United States Department of Energy. Novembro de 2001. Disponível em <<http://www.districtenergy.org>> acesso em: 06 de julho de 2004.

International Energy Agency – IEA. Solar Energy Activities in IEA Countries. 2002. Disponível em <<http://www.iea.org>> acesso em: 25 de novembro de 2004.

International Energy Agency – IEA. The Enviromental Benefits of District Heating and Cooling. Agosto de 1992. Disponível em <<http://www.iea.org>> acesso em: 01 de março de 2003.

JORGENSEN, Christian. Futuristic energy Project in Barcelona. **DBDH – Danish Board of District Heating**. Dinamarca n. 4 2003 p.28–29.

JORNAL NACIONAL. **Estudantes ensinam a fazer um aquecedor solar barato**. Disponível em: <<http://jornalnacional.globo.com>>. Acesso em 11 de maio de 2004.

KAMP, Arne. Maintenance of District Heating pipeline systems, **DBDH – Danish Board of District Heating**. Dinamarca n. 4 2002 p.18–21.

LIMA, J.B.A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. 2003 Dissertação (Mestrado)– Universidade de São Paulo, São Paulo 2003.

LIU, B. Y. H.; JORDAN, R. C. **The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation**. Solar Energy, [S.l.], v. 4, p. 1-19, 1960.

LIU, B. Y. H.; JORDAN, R. C. **The long term average performance flat plate solar energy collectors**. Solar Energy, [S.l.], v. 7, p. 53-74, 1963.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A, 1996. 729p.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. 3 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A, 1997. 782p.

MCFETRIDGE, Donald. G et al. **Economia e meio ambiente: A reconciliação**. Porto Alegre: Editora Ortiz, 1992. 277p.

MCLOUGHLIN, J. Brian. **Urban & Regional Planning – A systems approach**. London: Faber and Faber, [19~~]. 325p.

MESQUITA, L., **Panorama Atual da utilização do Aquecimento solar em fontes não convencionais de energia**, UFSC, 1998.

MILLER, R.W. **Flow measurement engineering handbook**. 2º ed. New York: McGrawHill, 1985.

MILLER, R.W. **Flow measurement engineering handbook**. 2º ed. New York: McGrawHill, 1985. apud FOX, R. W., McDonald, A. T. **Introdução à mecânica dos**

fluidos. 4º ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A, 1995. 662p. Original Inglês.

Ministério de Minas e Energia – **Governo federal regulamenta novo modelo do setor elétrico**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 1 de Ago. 2004.

Ministério de Minas e Energia – **Balanço Energético Nacional 2002**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 22 de Dez. 2004.

Ministério de Minas e Energia – **Balanço Energético Nacional 2003**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 22 de Dez. 2004.

MORAN, Michael J. & SHAPIRO, Howard N., **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**, 4ª ed., John Wiley & Sons, New York, EUA, 1999. 918p.

NUNES, G.S.; ANDRÉ, R.G.B.; VIANELLO, R. L.; MARQUES, V. S. (1976). **Estudo da Distribuição da Radiação Solar sobre o Brasil**. INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 45 p.

O'CALLAGHAN, P. **Energy Management. A comprehensive guide to reducing costs by efficient energy use**. [S.l]: Mac Graw–Hill Book Company, [199–]

OLIVEIRA, R. G., MATHIAS, M., SKLO, A. S. A polifonia da reforma do setor energético. **Ciência Hoje**, vol. 33, nº 197, p18–26, Abril 1994.

PERA, H. **Geradores de vapor. Um compêndio sobre conversão de energia com vistas à preservação da ecologia**. – São Paulo: Editora Fama, 1990.

PEREIRA, E.M.D. **Energia solar térmica: instalações solares de pequeno porte**. 5ª ed. Belo Horizonte: FUMARC, 2003.

PEREIRA, E.M.D., ROCHA, J.G.R., SCHIRM, R., MOTTA, F. M., FALEIRO, J.F. **Software SISCOS 3.0 para Windows**. Relatório Final. FAPEMIG, 1998.

PRADO, R. T. A, GONÇALVES, O. M. o efeito do chuveiro elétrico na demanda de energia em apartamentos de baixa renda. **Eletricidade Moderna**. São Paulo, Out. 1997 p. 161–169.

PURI, I. K. **Gaseous Pollutants**. IN: _____. (Ed.) **Environmental implications of combustion process**. CRC Press, 1993. p.33–70.

QUASCHNING, Volker. **Technology fundamentals The sun as an energy resource**. Renewable Energy World. Disponível em <<http://www.jxj.com>> acesso em 15 de Agosto de 2003.

Revista Virtual Tudo sobre. **Máquinas a Vapor**. Disponível em <<http://www.adorofisica.com.br>>. Acesso em 20 de julho de 2004.

SAMER, M., OLSEN, H. B. Energy meters: the perfect tool for dialogue with the customer, **DBDH – Danish Board of District Heating**. Dinamarca n. 4 2002 p.16–17.

Setor Elétrico contempla propostas do Crea–MG. **Crea–MG Vértice**, Belo Horizonte, Abril, 2004. P. 4–5.

SIMONSEN, M. H., FLANZER, H. (Orgs.). **Elaboração e análise de projetos**. São Paulo: Sugestões literárias, 1974.

SOUKA, A. F. SAFWAT, H. H., Optimum orientations for the double exposure flat–plate collector and its reflectors. **Solar Energy** nº 10, 1966 p.170

SOUKA, A. F. SAFWAT, H. H., Optimum orientations for the double exposure flat–plate collector and its reflectors. **Solar Energy** nº 10, 1966 p.170 apud DUFFIE, J. A., BECKMAN W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. [S.l.] : 2ª ed. John Wiley & Sons, INC, 1991. 913p.

SUNKEL, O., LEAL, J. **Economia y medio ambiente en la perspectiva del desarrollo**. El Trimestre Económico, LII(1), pp 3–35 México, Jan. 1985

SUNKEL, O., LEAL, J. **Economia y medio ambiente en la perspectiva del desarrollo.** El Trimestre Económico, LII(1), pp 3–35 México, Jan. 1985. apud

CLEMENTE, A. **Economia Regional e Urbana.** – São Paulo: Atlas, 1994. 170p.

Swedish Large-scale Solar Heating Plants. Disponível em

<<http://main.hvac.chalmers.se/seas/lista-e.htm>>. Acesso em: 7 de Ago. 2003.

TOKARSKI, M. Verba para moradia. **Correio Brasiliense**, Brasília, 26, Dezembro, 2003.

TOLMASQUIM, M. T et al. (Orgs). **Fontes renováveis de energia no Brasil.** – Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003. 515p.

TORREIRA, R. P. **Geradores de vapor.** São Paulo: Editora EX Libris, 1995.

ULBJERG, Flemming et al. District heating and solar heating a good combination. **DBDH – Danish Board of District Heating.** Dinamarca n. 3 2002 p.28–29.

UNIVERSITY OF ROCHESTER, **District Energy Biographies.** Disponível em: <<http://www.energy.rochester.edu>>. Acesso em 10 de Junho de 2003.

UNIVERSITY OF WISCONSIN – SOLAR ENERGY LABORATORY, **A TRaNsient SYstems Simulation program.** Disponível em <<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/default.htm> >. Acesso em 5 de Janeiro de 1999.

VIEIRA SOBRINHO, José Dutra. **Matemática financeira. Juros, descontos e séries de pagamentos. Empréstimos, financiamentos, e aplicações financeiras. Utilização de calculadoras financeiras.** – São Paulo: Editora Atlas, 1997.

WASHINGTON UNIVERSITY, **WATTSUN.** Disponível em <<http://www.energy.wsu.edu>>. Acesso em 1 de Fevereiro de 2002.

WIDELL, Karl E. et al. Energy efficient pump control. **DBDH – Danish Board of District Heating.** Dinamarca n. 4 2002 p.30–33.

WITH, Jesper. Solar Heating systems in a large scale. **DBDH – Danish Board of District Heating**. Dinamarca n. 3 2002 p.22–23.

WOILER, S., Mathias, W. F. **Projetos: planejamento elaboração, análise**. São Paulo: Editora Atlas AS, 1992. 294p.

WYLEN, G. V., SONNTAG, R., BORGNAKKE, C. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. 4ª Edição São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda, 1995. 589p.

GLOSSÁRIO

Absortividade: propriedade que determina a fração da radiação absorvida por uma superfície.

Altura estática de aspiração: é a diferença de cotas entre o nível do centro da bomba e o da superfície livre do reservatório de captação.

Altura estática de recalque: é a diferença de cotas entre os níveis onde o líquido é abandonado ao sair do tubo de recalque no meio ambiente (ou outro) e do centro da bomba.

Altura manométrica: é definida como sendo a quantidade de energia que deve ser absorvida por um quilograma de fluido que atravessa a bomba, energia esta necessária para que o mesmo vença o desnível da instalação, a diferença de pressão entre os dois reservatórios (caso exista) e a resistência natural que as tubulações e acessórios oferecem ao escoamento dos fluidos.

Barril de petróleo (boe): unidade utilizada para comparar (converter) em equivalência térmica, uma quantidade de energia em barris de petróleo.

Biogás: mistura de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), produzida pela fermentação de matérias orgânicas, em proporções de cerca de 1/3 de CO₂, e 2/3 de CH₄, com traços de oxigênio nitrogênio provenientes da atmosfera.

Coefficiente de perda de carga: coeficiente determinado empiricamente e disponível em tabelas para consulta e cálculo da perda de carga localizada.

Coefficiente de descarga: Razão entre a descarga observada e a descarga teórica.

Coefficiente de extinção: é a soma dos coeficientes de espalhamento e de extinção medido em [m⁻¹]. Fisicamente significa o quanto o feixe de radiação conseguirá “andar” no material em questão.

Calor específico: calor necessário para elevar de 1°C a temperatura de uma unidade de massa de uma substância.

Combustão: combinação, geralmente rápida, entre duas substâncias, combustíveis e comburentes, que libera uma grande quantidade de calor.

Combustão completa: oxidação completa de um combustível, com ou sem sucesso de oxigênio.

Combustão incompleta: queima com suprimento insuficiente de oxigênio, de forma que a substância a ser queimada é consumida parcialmente.

Combustão perfeita ou estequiométrica: oxidação total de um combustível com a quantidade teórica exata do oxigênio necessário.

Condução: transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as partículas menos energéticas, devido às interações das partículas.

Convecção: modo de transferência de calor que compreende dois mecanismos, movimento molecular aleatório (difusão) e movimento de massa, ou macroscópico do fluido.

Capital: entende-se por capital qualquer valor expresso em moeda e disponível em determinada época.

Emissividade: razão entre a radiância de um corpo numa dada temperatura e a radiância de um corpo negro na mesma temperatura.

Emitância ou exitância: densidade de um fluxo luminoso, por unidade de área, originário de uma superfície luminosa ou iluminada.

Espectro eletromagnético: espectro correspondente a uma faixa de radiação eletromagnética ordenada em função de sua frequência ou de seu comprimento de onda [Esta faixa pode ir dos raios gama, de alta energia, às ondas de rádio, de baixa energia.]

Excesso de ar: ar em excesso ao teoricamente necessário à combustão completa. Fator de carga (loadfactor): razão entre demanda máxima provável e demanda máxima possível.

Fator de simultaneidade: coeficiente de minoração, expresso em porcentagem, aplicado à potência instalada, para obtenção da potência de projeto de uma instalação. Expressa a probabilidade de uso concomitante de vários aparelhos numa instalação.

Fluxo de caixa: sucessão de recebimentos ou de pagamentos, em dinheiro, previstos para determinado período de tempo.

Filtro: meio mecânico de remover materiais sólidos de um líquido ou gás; é construído de tal forma que o fluido passa através do material filtrante e os sólidos são retidos.

Horário de Pico: o horário de pico, ou de ponta é um período do dia no qual concentra-se a utilização de equipamentos elétricos elevando-se assim a demanda média de potência requerida. Este horário está compreendido entre 17 e 21 horas. O principal setor responsável pela elevação da curva de demanda no horário de pico é o setor residencial.

Irradiância – é a medida utilizada para descrever a potencia incidete por unidade de superfície de todo tipo de radiação eletromagnética.

Isolante térmico: material de baixa condutividade térmica, aplicado em superfícies expostas ao ambiente, para reduzir as trocas de calor ou frio.

Manômetro: aparelho de medição da pressão de líquidos e gases. Quando mede a pressão atmosférica leva o nome de barômetro.

Meio ambiente: conjunto de fatores físicos, biológicos e químicos que cerca os seres vivos, influenciando-os e sendo influenciado por eles.

Perda de carga: é a pressão que é perdida quando um fluido percorre um encanamento, ao passar por juntas e conexões, registros, filtros, etc.

Poder calorífico inferior: quantidade de calor liberada pela combustão completa de uma unidade em volume ou massa de um combustível, quando queimado completamente em uma certa temperatura, permanecendo os produtos de combustão em fase gasosa (sem condensação do vapor d'água).

Poder calorífico superior – quantidade de calor liberada pela combustão completa de uma unidade em volume ou massa de um combustível, quando queimado completamente em uma determinada temperatura, levando-se os produtos da combustão, por resfriamento, à temperatura da mistura inicial (o vapor d'água é condensado e o calor recuperado).

Ponto de orvalho – temperatura na qual a condensação da fase vapor ocorre. Se não for especificada nenhuma pressão, o ponto de orvalho refere-se geralmente a pressão atmosférica normal.

Ponto de fluidez – é a menor temperatura na qual ainda se observa movimento em um fluido.

Processo – Transformação de um estado termodinâmico para outro.

Propriedade – característica macroscópica de um sistema à qual em qualquer momento é possível atribuir um valor numérico sem no entanto conhecer historicamente o sistema.
EX: temperatura, pressão, volume, massa e energia.

Radiação – é a energia emitida pela matéria que estiver numa temperatura finita.

Radiação infravermelha – radiação eletromagnética de comprimento de onda compreendido entre $0,7 \times 10^{-3}$ metros.

Radiação Ultravioleta – radiação eletromagnética de comprimento de onda compreendido entre 400 nanômetros, região da luz violeta, e 4 nanômetros, região dos raios X longos.

Radiância – energia radiante emitida por uma fonte de radiação numa dada direção em cada segundo e por unidade de área transversal

Reflectividade – propriedade que determina a fração da radiação incidente refletida por uma superfície.

Processo quase-estático – É um processo em que a saída do equilíbrio termodinâmico é infinitesimal. Todos os estados pelos quais passa um sistema em processo quase-estático podem ser considerados estados de equilíbrio.

Teste de estanqueidade – teste, geralmente feito em baixos níveis de pressão para demonstrar se um sistema de tubulação não apresenta vazamentos.

Transmitância – razão entre a quantidade de luz que atravessa um meio e a quantidade de luz que sobre ele incide.

TR – Taxa obtida a partir das médias dos CDBs de 30 dias a taxas pré-fixadas praticadas por bancos comerciais. A TR é ajustada por meio de um redutor, de modo a adequá-la aos contratos de poupança e do Sistema Financeiro da Habitação.

APÊNDICE A – CONCEITOS E FUNDAMENTOS

Antes de introduzir diversos conceitos relacionados ao presente estudo, é necessário apresentar de forma resumida conceitos introdutórios ligados à mecânica dos fluidos, termodinâmica, transferência de calor, matemática financeira e meio ambiente. As definições aqui apresentadas foram extraídas de livros textos das áreas acima citadas e referenciados ao longo do texto.

A.1 CONCEITOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA

O conhecimento de conceitos ligados à hidráulica, como a pressão, o regime de escoamento de um fluido e suas características químicas é de extrema importância para seleção e projeto de equipamentos hidráulicos. Estes conceitos serão abordados de forma sucinta, porém permitindo o entendimento do trabalho.

Conforme FOX et. al. (1995), um fluido é uma substância infinitamente divisível, um *continuum*. Tendo em vista a hipótese do *continuum*, cada propriedade do fluido é considerada como tendo valor definido em cada ponto do espaço. Assim, propriedades dos fluidos, como massa específica, temperatura, velocidade, etc., são consideradas funções contínuas da posição e do tempo. O diagrama da Figura 67 mostra uma possível classificação da Mecânica dos Fluidos, proposta por FOX et. al. (1995).

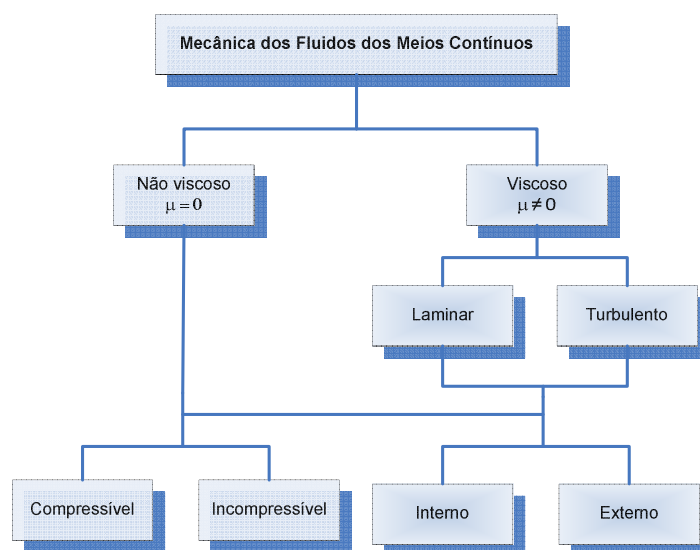


Figura 67 – Possível classificação da mecânica dos fluidos.

Fonte: FOX ET. AL. (1995).

Apesar da classificação proposta, sabe-se que, na vida real, não existem fluidos com viscosidade igual a zero; entretanto, diversos problemas são mais facilmente resolvidos quando se adota a hipótese de viscosidade nula. Os escoamentos compressíveis são aqueles nos quais as variações em massa específica não são desprezíveis; o inverso ocorre para os escoamentos incompressíveis. Os escoamentos que são envoltos por superfície sólida são denominados internos e os escoamentos não contidos, externos.

Nos regimes de escoamento viscoso há dois tipos de escoamento, o laminar e o turbulento. No escoamento laminar, a estrutura do escoamento é caracterizada por movimentos suaves, em lamina ou camadas. Já no escoamento turbulento, é caracterizado por movimentos aleatórios, tridimensionais de partículas fluidas (FOX et. al., 1995).

No presente trabalho, o escoamento a ser analisado é em grande parte viscoso, laminar ou turbulento interno (isto é, ocorrem dentro de tubulações), ocorrendo em regime permanente. Neste caso, considera-se que, para qualquer ponto fixo do espaço tomado no seu interior, as grandezas características das partículas que por ele passam (peso específico, temperatura) e suas condições de escoamento (velocidade, aceleração e pressão) são constantes no tempo.

Em um fluido em movimento, a mudança no estado de tensão permite a classificação do fluido como compressível (no qual a pressão varia com a posição) e incompressível (quando a pressão não varia com a posição).

A.1.1 – EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Considerando-se um fluido de densidade ρ em escoamento incompressível em uma tubulação sem derivações, as massas das quantidades de fluido que escoam através de duas seções de áreas A_1 e A_2 , durante o intervalo de tempo Δt são definidas pelas equações A.1 e A.2 a seguir:

$$m_1 = \rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t \quad (\text{A.1})$$

$$m_2 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t \quad (\text{A.2})$$

onde v_1 e v_2 são os módulos das velocidades de escoamento nas seções 1 e 2, respectivamente (Figura 68).

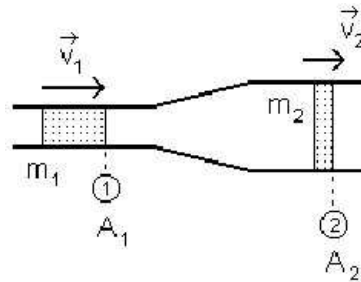


Figura 68 – Tubulação sem derivações.

Fonte: DENARDIN, et al (2001).

Como não existem derivações no trecho da tubulação examinado, tem-se, $m_1 = m_2$, ou seja:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (\text{A.3})$$

De acordo com Denardin, et al (2001), a equação da continuidade expressa o princípio de conservação da massa. Outra maneira de apresentá-la é escrevendo $Av = \text{constante}$. A quantidade $Vz = Av$ é chamada vazão volumétrica e representa o volume de fluido que escoava através de uma seção reta por unidade de tempo.

A.2 – CONCEITOS BÁSICOS DE TERMODINÂMICA

A Termodinâmica pode ser definida como a ciência que estuda as leis que regem as relações entre calor, trabalho e outras formas de energia, mais especificamente a transformação de um tipo de energia em outra, a disponibilidade de energia para a realização de trabalho e a direção das trocas de calor. Conceitos introdutórios e suas definições podem ser estudados em diversos livros de termodinâmica, dentre eles: Moran; Shapiro (1999); Wylen et al. (1995).

A.2.1 – ANÁLISE ENERGÉTICA PARA VOLUMES DE CONTROLE

“Muito embora dispositivos que permitem fluxo de massa – como turbinas, bombas e compressores – possam, em princípio, ser analisados estudando-se uma certa quantidade de massa à medida que ela escoava ao longo do dispositivo (sistema

fechado), é normalmente preferível pensar em uma região do espaço através da qual existe um escoamento (volume de controle). Da mesma forma que em um sistema fechado, a transferência de energia ao longo da fronteira de um volume de controle pode ocorrer em termos de trabalho e de calor. Além disso, um outro tipo de transferência de energia deve ser considerado – a energia que acompanha a massa quando esta entra ou sai.“ (Moran; Shapiro, 1999)

Muitos sistemas de engenharia podem ser idealizados como estando em regime permanente, o que significa dizer que nenhuma propriedade varia com o tempo. Para um volume de controle em regime permanente, a matéria no interior do volume de controle varia continuamente, mas a quantidade total presente em qualquer instante permanece constante. Pode-se afirmar então que as vazões mássicas totais nas entradas e saídas são iguais. Entretanto, a igualdade entre as vazões totais de entrada e saída não significa, necessariamente, que um volume de controle se encontra em regime permanente, uma vez que outras propriedades tais como a temperatura e pressão, podem estar variando com o tempo. Quando cada propriedade do volume de controle é independente do tempo, o mesmo se encontra em regime permanente.

Em regime permanente, $dE_{vc}/dt = 0$, a equação do princípio de conservação de energia pode ser assim reescrita (Moran, Shapiro; 1999):

$$\dot{Q}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g.Z_e \right) = \dot{W}_{vc} + \sum_s \dot{m}_s \left(h_s + \frac{v_s^2}{2} + g.Z_s \right) \quad (A.15)$$

Onde:

\dot{Q}_{vc} e \dot{W}_{vc} : taxas de transferência de energia (calor e trabalho respectivamente),

m: massa,

h: entalpia específica,

v: velocidade,

g: aceleração da gravidade,

z: cota,

índices e e s , entrada e saída respectivamente.

A.3 CONCEITOS BÁSICOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de energia na forma de calor é o trânsito de energia provocado por uma diferença de temperatura. Os mecanismos de transferência de calor são:

- condução – ocorre em um meio estacionário que pode ser sólido ou fluido;
- convecção – refere-se à transferência de calor que ocorre entre uma superfície sólida e um fluido;
- radiação – ondas eletromagnéticas emitidas por superfícies a uma temperatura finita.

A.3.1 – CONDUÇÃO

A condução pode ser considerada como a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as partículas menos energéticas, graças às interações entre partículas. Para entender melhor os fenômenos da condução, considerem-se duas substâncias a diferentes temperaturas separadas por uma barreira, que é removida subitamente. Removendo-se a barreira, os átomos "quentes" colidem com os átomos "frios". Em tais colisões os átomos rápidos perdem alguma velocidade e os mais lentos ganham velocidade. Logo, os mais rápidos transferem alguma de sua energia para os mais lentos. Esta transferência de energia do lado quente para o lado frio é chamada de fluxo de calor por condução. Nos líquidos, o mecanismo físico da condução é basicamente o mesmo dos gases, no entanto nos líquidos as moléculas estão mais fortemente agrupadas. Nos sólidos a condução térmica é atribuída à atividade atômica na forma de vibrações da rede. Um elemento bom condutor oferece menos resistências à transferência de energia provocada pelo movimento atômico (Incropera, 2002).

A equação que permite quantificar esta taxa é conhecida como lei de Fourier. A equação de Fourier estabelece que o calor transferido por condução por unidade de tempo (Q) é igual ao produto da condutividade térmica do material (K), da área da seção transversal (A_S) através da qual o calor flui, e do gradiente de temperatura na seção (T_1-T_2) (Incropera, 2002).

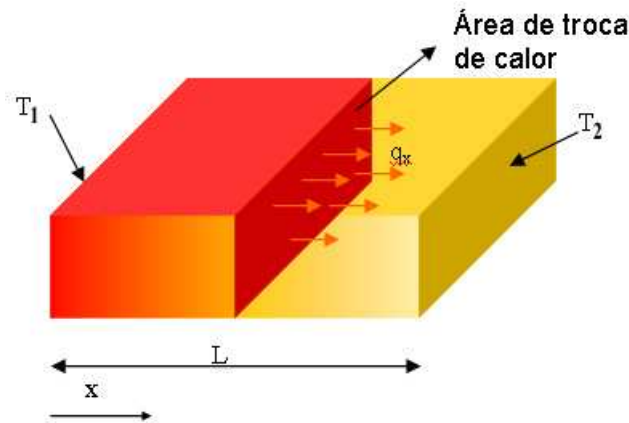


Figura 69 – Condução térmica.

Fonte: Pereira (2002).

No caso de uma placa plana unidimensional em condições de regime permanente, a equação da taxa pode ser então assim escrita:

$$Q = k \cdot A_s \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (\text{A.16})$$

ou ainda:

$$q'' = k \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (\text{A.17})$$

sendo:

Q – quantidade de calor transferido por condução [W];

q'' – fluxo de calor, isto é, a taxa de transferência de calor por unidade de área [W/m²];

A_s – área da seção [m²];

k – condutividade térmica do material [W/m.K];

T₁ e T₂ – temperaturas das extremidades da parede plana [°C].

A condutividade térmica do material determina a rapidez com que o calor fluirá. O inverso da condutividade térmica fornece a resistência térmica, ou seja, R = 1/k.

A.3.2 – CONVECÇÃO

De acordo com Incropera, 2002 a transferência de calor por convecção compreende dois mecanismos. Além da transferência de energia provocada pelo movimento molecular aleatório (difusão), a energia também se transfere pelo movimento de massa, ou

macroscópico do fluido. A transferência de calor por convecção é classificada de acordo com a natureza do escoamento. Quando o escoamento é induzido por algum agente externo, o processo é chamado de convecção forçada. Quando o escoamento é resultante de diferenças de densidade devido a diferenças de temperatura no fluido, a transferência de calor por convecção é denominada convecção natural conforme ilustrado na Figura 71.

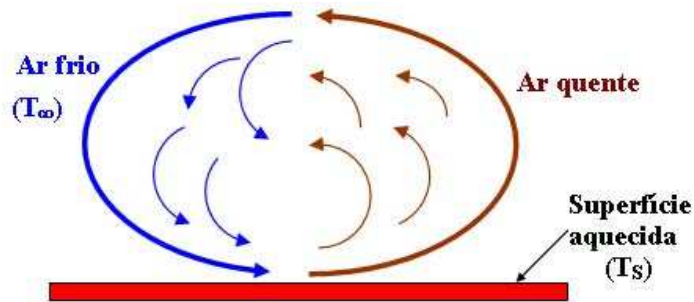


Figura 70 – Convecção Natural

Fonte: Pereira (2002).

Independentemente da maneira como o processo de convecção ocorre, a quantidade de energia transferida na forma de calor pode ser obtida através da Lei de Newton.

$$Q = h.A.(T_S - T_\infty) \quad (\text{A.18})$$

ou ainda:

$$q'' = h.(T_S - T_\infty) \quad (\text{A.19})$$

sendo:

Q – quantidade de calor transferido por convecção [W];

q'' – fluxo de calor, isto é, a taxa de transferência de calor por unidade de área [W/m²];

h – coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m².K];

T_S – temperatura da superfície [°C];

T_∞ – temperatura do fluido [°C].

O fluxo convectivo é positivo se o calor for transferido da superfície (T_S > T_∞), e negativo se o calor for transferido para a superfície (T_∞ > T_S).

A.3.3 – RADIAÇÃO

A radiação térmica é o processo pelo qual o calor é transferido de um corpo a temperatura mais alta para outro com temperatura mais baixa, quando tais corpos estão separados no espaço, mesmo que exista vácuo entre eles. (Pereira, 2002). A energia do campo de radiação é transportada pelas ondas eletromagnéticas. O fluxo máximo que pode ser emitido por uma superfície é dado pela lei de Stefan–Boltzmann. (Incropera, 2002).

$$q'' = \sigma \cdot T_S^4 \quad (\text{A.20})$$

sendo:

σ – constante de Stefan–Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$);

T_S – temperatura da superfície [K].

Entretanto, é preciso observar que o fluxo de calor emitido por uma superfície real é menor do que o fluxo emitido por um radiador ideal (eq. A.9). Por isto é necessária a introdução de um fator denominado emissividade, que varia entre 0 e 1. A taxa líquida da troca de radiação térmica entre a superfície e as suas vizinhanças pode então ser escrita:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_S^4 - T_{viz}^4) \quad (\text{A.21})$$

ou ainda:

$$q'' = \varepsilon \cdot \sigma (T_S^4 - T_{viz}^4) \quad (\text{A.22})$$

sendo:

ε – emissividade, propriedade radiativa da superfície;

T_{viz} – temperatura da vizinhança [K].

A.4 – FUNDAMENTOS DE MATEMÁTICA FINANCEIRA

Os conceitos de matemática financeira aqui apresentados permitirão a avaliação dos investimentos a serem feitos nos sistemas de aquecimento e a comparação com o objetivo de conhecer quais são os com melhor razão custo– benefício.

A.4.1 – JUROS E CAPITALIZAÇÃO SIMPLES

Juro é a remuneração do capital emprestado, podendo ser entendido, de forma simplificada, como sendo o aluguel pago pelo uso do dinheiro. Conforme Vieira Sobrinho (1997), ao emprestar um determinado montante, o possuidor de dinheiro deve atentar para os seguintes fatores:

- Risco – probabilidade de o tomador do empréstimo não saldar o compromisso de pagamento.
- Despesas – todas as despesas operacionais, contratuais e tributárias para a formalização do empréstimo e à efetivação da cobrança.
- Inflação – índice de desvalorização do poder aquisitivo da moeda previsto para o prazo do empréstimo.
- Ganho (ou lucro) – fixado em função das demais oportunidades de investimentos (“custo de oportunidade”); justifica-se pela privação por parte do seu dono, da utilidade do capital.

Por conseguinte, a receita de juros deve ser suficiente para cobrir o risco, as despesas e a perda do poder aquisitivo do capital emprestado, além de propiciar um certo lucro ao seu aplicador.

Para os cálculos relacionados ao fluxo de caixa, utiliza-se da taxa de juros. A taxa de juros é a razão entre os juros recebidos (ou pagos) no final de um certo período de tempo (período financeiro) e o capital inicialmente aplicado (ou emprestado). A equação da taxa de juros pode ser expressa como:

$$i = \frac{J}{P} \quad (\text{A.23})$$

onde:

J – juros no fim de um período financeiro;

P – capital inicial.

A.4.2 – DESCONTOS

A chamada operação de desconto é normalmente realizada quando se conhece o valor de face de um título e se quer determinar o seu valor atual. O desconto deve ser entendido como a diferença entre o valor de resgate de um título e o seu valor presente na data de operação. Assim como no caso dos juros, o valor do desconto também está associado a uma taxa e a determinado período de tempo (Vieira Sobrinho; 1997). Podem existir dois tipos de desconto:

- Desconto simples – é aquele em que a taxa de desconto incide sempre sobre o montante ou valor futuro.
- Desconto composto – é aquele em que a taxa de desconto incide sobre o montante ou valor futuro, deduzido dos descontos acumulados até o período imediatamente anterior.

No caso deste trabalho será sempre utilizado para efeito de cálculo o desconto simples.

A.4.3 – ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

A análise de um projeto de engenharia qualquer requer a apreciação de condições financeiras, técnicas, sócio–econômicas e ambientais que forneçam elementos suficientes para pautar uma decisão relacionada à escolha de equipamentos e / ou tecnologias.

Alguns métodos são comumente utilizados para realizar a análise de fluxo de caixa. Dentre eles estão:

- *payback*;
- taxa interna de retorno (Tir);
- valor presente líquido (Vpl).

O método do *payback* nos mostra o número de períodos requeridos para se recuperar a saída inicial de caixa (ponto no qual o saldo fica positivo). Ele é resultado da relação entre o investimento inicial e o fluxo de caixa por período. O inconveniente deste método é que o fluxo de caixa deve ser uniforme. Apesar disto, o método é muito utilizado, pois ele se

aproxima ao risco, ou seja, quanto maior o período de recuperação do investimento, maior o risco inerente. Por exemplo, no caso de um projeto com desembolso inicial de R\$ 13.000,00 e recebimentos anuais de R\$ 4.300,00 teríamos:

$$Payback = 13.000 / 4.300 = 3,0 \text{ anos.}$$

O método da taxa interna de retorno (Tir) se insere, de fato, dentre aqueles que lidam com fluxos de caixa descontados, em que se toma em conta tanto o aspecto do valor do dinheiro no tempo, como a magnitude e o *timing* dos fluxos, ao longo de toda a duração do investimento. A Tir é a taxa de desconto que zera a diferença entre os valores presentes dos fluxos de entradas e de saídas de caixa.

$$FC_0 - \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} = 0 \quad (\text{A.26})$$

sendo:

FC_0 – fluxo de capital inicial;

FC_j – valores dos fluxos de caixa de ordem j ;

i – taxa de juros da operação financeira ou taxa interna de retorno.

Para aceitação do investimento deve-se avaliar se $Tir >$ taxa requerida de retorno.

De acordo com Sobrinho (1997) o valor presente líquido (Vpl) é uma técnica de análise de fluxos de caixa que consiste em calcular o valor presente de uma série de pagamentos (ou recebimentos) iguais ou diferentes a uma taxa conhecida, e deduzir deste o valor do fluxo inicial (valor do empréstimo, do financiamento ou do investimento), ou seja:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 = \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (\text{A.27})$$

Com vista à aceitação do investimento, a regra para a aceitação do investimento é que $Vpl > 0$. Desta maneira, o Vpl implicará em um retorno de investimento superior ao requerido. Quando o valor da diferença acumulada [valor financiado – (prestação + economia de energia)] se tornar positivo, significa dizer qual foi o período para o qual o investimento se pagou.

A.4.4 – SISTEMAS DE AMORTIZAÇÃO

Os dois sistemas de amortização mais utilizados no Brasil são o sistema francês (tabela Price) e o sistema de amortização constante (Sac). O sistema francês é muito utilizado nos setores financeiros e de capitais, enquanto o sistema de amortização constante é mais utilizado no sistema financeiro de habitação. Os sistemas de amortização foram inseridos para que se tenha uma dimensão do valor da prestação a ser paga devido ao financiamento total do projeto.

A.4.4.1 – SISTEMA FRANCÊS DE AMORTIZAÇÃO (TABELA PRICE)

O sistema consiste em um plano de amortização de uma dívida em prestações periódicas, iguais e sucessivas. O valor de cada prestação ou pagamento é composto por duas parcelas distintas, uma de juros e outra de capital (amortização). De acordo com Vieira Sobrinho (1997) é importante observar que o Sistema Francês não implica necessariamente prestações mensais, como geralmente se entende. Também é importante que se esclareça que a tabela Price não implica necessariamente taxas de juros de 1% ao mês (ou de 12% ao ano, como normalmente é indicado), podendo ser definida qualquer taxa. O valor das prestações é determinado através da fórmula A.28:

$$R = P \left[\frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (\text{A.28})$$

sendo:

R – valor da prestação;

P – montante total a ser financiado;

n – número de períodos (anos, por exemplo);

i – taxa de juros correspondente ao período.

Para o cálculo do valor da parcela de juros (J)

$$J = i \cdot P \quad (\text{A.29})$$

Para o cálculo do valor da parcela de amortização (A)

$$A = R - J \quad (A.30)$$

Para determinação da parcela de juros, parcelas de amortizações das prestações ao longo do tempo é preciso convencionar que:

J_t – parcela de juros referente ao período de ordem t ($t=1,2,3,\dots,n$);

A_t – parcela de amortização referente à prestação de ordem t ($t=1,2,3,\dots,n$);

P_t – saldo devedor referente ao período de ordem t ($t=1,2,3,\dots,n$) Vieira Sobrinho (1997).

De acordo com Puccini (1993), ao longo do tempo, os juros vão decrescendo ao passo que as amortizações vão crescendo, de tal modo que a soma dessas duas parcelas se mantenha sempre igual ao valor constante da prestação. Isto está representado na Figura 72:

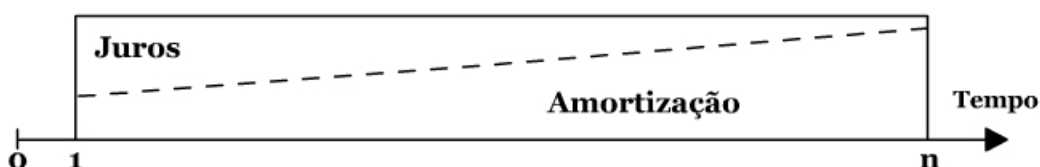


Figura 71 – Sistema “PRICE”

Fonte Puccini (1993).

A.4.4.2 – SISTEMA DE AMORTIZAÇÃO CONSTANTE (SAC)

O nome deste sistema deriva de sua principal característica, as amortizações são constantes. De acordo com Vieira Sobrinho (1997), o Sac consiste em um plano de amortização de uma dívida em prestações periódicas, sucessivas e decrescentes em progressão aritmética, dentro do conceito de termos vencidos, em que o valor de cada prestação é composto por uma parcela de juros e outra parcela de capital (ou amortização). A figura 73 mostra isto.

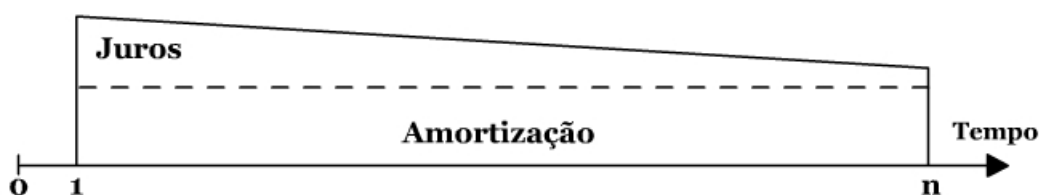


Figura 72 – Sistema “Sac”.

Fonte Puccini (1993).

A parcela de capital é obtida dividindo-se o valor do empréstimo (ou financiamento) pelo número de prestações, enquanto o valor da parcela de juros é determinado multiplicando-se a taxa de juros pelo saldo devedor existente no período imediatamente anterior. (Sobrinho, 1997). Independentemente do sistema de cálculo é importante que sejam adotadas taxas de juros compatíveis com a situação econômica do País.

A.5 – IMPACTOS AMBIENTAIS

A Resolução nº 001-86 do Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente define Impacto Ambiental da seguinte maneira: “(...) Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do Meio Ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente afetam:

- a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- as atividades sociais e econômicas;
- a biota;
- as condições estéticas e sanitárias do Meio Ambiente;
- a qualidade dos recursos ambientais”.

Sabe-se que qualquer sistema de produção / transformação de energia causará com maior ou menor profundidade um impacto ambiental. A poluição, um dos impactos ambientais causados por esses sistemas, é parte integrante da sociedade moderna, uma das conseqüências da industrialização.

No presente trabalho, são descritos equipamentos que transformam energia em energia térmica e nesta transformação ocorrem emissões de gases poluentes Carvalho; Lacava (2003) classificou tais emissões, como:

- *emissões atmosféricas* – produtos que deixam o local do processo no ar atmosférico;
- *emissões em correntes líquidas* – produtos que deixam o local do processo em correntes de água;
- *resíduos sólidos* – produtos que deixam o local do processo na forma sólida;
- *emissões térmicas* – energia que aumenta a temperatura do meio circundante.

As emissões atmosféricas possuem um grande volume por unidade de massa quando comparado com as emissões em correntes líquidas e os resíduos sólidos de um processo industrial. Dentre os principais agentes causadores de poluição atmosférica presentes nos gases de combustão estão: material particulado, dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido (CO) e dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos não-queimados (UHC) e aldeídos, dentre outros. De acordo com Carvalho Júnior; Lacava (2003) as partículas em suspensão nas emissões atmosféricas estão entre os poluentes que apresentam maiores riscos ao meio ambiente e ao ser humano. Elas atacam os pulmões, aumentam as taxas de reação na atmosfera, reduzem sua visibilidade, além de alterarem níveis de radiação solar que atingem o solo.

O material particulado é uma mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar. O seu tamanho e composição variam de acordo com a fonte de emissão, sendo seu comportamento dependente de suas dimensões normalmente de 0,001 a 500 µm. A Tabela 28 lista os fatores de emissão de particulados para alguns processos específicos de combustão.

| Processo de Combustão | Fator de emissão |
|---|--|
| Carvão não pulverizado em grelhas | 0,91 a 2,3 vezes o percentual de cinzas em kg/t de carvão queimado |
| Óleo combustível em usinas termelétricas. | 1,85 kg/m ³ de óleo |
| Gasolina em veículos automotivos | 1,44 kg/m ³ de gasolina |
| Óleo diesel em veículos automotivos | 13,2 kg/m ³ de óleo |
| Óleo combustível em caldeiras. | 0,24 kg/m ³ de óleo |
| Gás natural em caldeiras | 16 a 80 kg/10 ⁻⁶ m ³ de gás natural |
| Gás natural em usinas termelétricas | 240 kg/10 ⁻⁶ m ³ de gás natural |

Tabela 28 – Fatores de emissão para alguns processos de combustão.

Fonte: Carvalho Júnior e Lacava (2003).

Existe uma diversidade de dispositivos que reduzem as emissões de partículas e dos gases da combustão, dentre eles estão:

- Câmara de deposição gravitacional;
- Separadores centrífugos;
- Separadores úmidos;
- Filtros;

- Precipitadores eletrostáticos.

De acordo com Carvalho Júnior; Lacava (2003) outra forma de controle dessas emissões que vem sendo utilizada, são alterações no processo de combustão. Alguns combustores são especialmente construídos para que o processo de combustão induza o surgimento de oscilações acústicas. A presença destas oscilações intensifica a taxa de mistura entre os reagentes, minimizando as reações de craqueamento responsáveis pela formação de parte do material particulado em razão da presença do oxigênio na região da chama.

O dióxido de enxofre é introduzido na atmosfera por atividades naturais e humanas. É advindo de emanações de usinas elétricas, fábricas, veículos automotores e combustível doméstico freqüentemente carregado de ácido sulfúrico. Durante a combustão, praticamente todo o enxofre se oxida para SO_2 . De acordo com Carvalho Júnior; Lacava (2003) o dióxido de enxofre possui um tempo de vida entre 2 e 6 dias na atmosfera, podendo atingir cerca de 4.000 km de distância de sua fonte de emissão. A emissão de SO_2 pode ser reduzida pelos seguintes mecanismos:

- prevenção de sua formação, retirando-se o enxofre do combustível antes da queima em um processo conhecido como dessulfurização do combustível;
- Redução do SO_2 formado ainda na câmara de combustão por um material que o absorva;
- A “limpeza” do gás após a combustão usando material absorvente (processo de dessulfurização dos produtos da queima).

Óxidos de nitrogênio – NO_x designam a soma de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Uma vez lançado na atmosfera o NO rapidamente se oxida transformando-se em NO_2 . A utilização de combustíveis com teores de nitrogênio e a alta temperatura das câmaras de combustão são fatores que favorecem a formação de NO_x . O projeto dos queimadores, o modo de operação e a composição do combustível, são fatores que fornecem parâmetros para o cálculo dos NO_x emitidos. Como no caso dos outros poluentes, o controle das emissões pode ser feito durante o próprio processo de combustão ou depois que ele é completado. Dentre as medidas que podem ser tomadas estão:

- Controle durante o processo de combustão – apesar de ser um método barato, pode afetar a eficiência do processo ou alterar negativamente as emissões de outros poluentes;
- Introdução de reagentes químicos no combustível a ser queimado;
- Combustão estagiada – consiste da injeção fracionada do combustível ou do oxidante.

O monóxido de carbono é resultante da combustão incompleta de materiais fósseis como o petróleo e o carvão, principalmente nas indústrias metalúrgicas, refinarias de petróleo e motores a combustão. É um gás inodoro e venenoso, os efeitos e sintomas deste poluente nos seres humanos são apresentados na Tabela 29.

| ppm | Efeitos e sintomas nas pessoas | Tempo |
|-------------|----------------------------------|-----------------|
| 35 | Nível permissível de exposição. | 8 horas |
| 200 | Dor de cabeça leve, desconforto. | 3 horas |
| 400 | Dor de cabeça, desconforto. | 2 horas |
| 600 | Dor de cabeça, desconforto. | 1 hora |
| 1.000–2.000 | Confusão, dor de cabeça, náusea. | 2 horas |
| 1.000–2.000 | Tendência a cambalear | 1 ½ hora |
| 1.000–2.000 | Palpitação no coração | 30 minutos |
| 2.000–2.500 | Perda de consciência | 30 minutos |
| 4.000 | Fatal | Menos de 1 hora |

Tabela 29 – Efeitos e sintomas do CO nos seres humanos de acordo com o tempo de exposição.

Fonte: Carvalho Júnior e Lacava (2003).

O mecanismo de formação e destruição do CO em combustão de hidrocarbonetos não pode ser isolado da cinética envolvendo os hidrocarbonetos. Radicais formados a partir do combustível são atacados pelo oxigênio para formar aldeídos, que por sua vez, formam outros radicais que se convertem em CO por decomposição térmica PURI (1993). É sabido que o CO se oxida lentamente, exceto se houver presença de compostos que contenham hidrogênio. A presença de H₂O ou H₂ é mais importante do que a presença de O ou O₂, pois a oxidação do CO envolvendo o radical OH é muito mais rápida do que aquelas envolvendo O e O₂. Para reduzir a emissão de CO é interessante que se opere com um certo excesso de ar durante a combustão. A oxidação de CO em CO₂ não soluciona

totalmente o problema, pois o CO₂ na atmosfera é um dos gases que contribuem para o agravamento do chamado “efeito estufa”. No entanto, já se sabe que o CO₂ é o responsável por cerca de metade da radiação infravermelha retida na atmosfera Carvalho Júnior e Lacava (2003).

São designados por UHC (*Unburned Hydrocarbons*) os hidrocarbonetos não queimados, São restos de combustível, em fase gasosa ou na forma de gotículas, produtos da degradação térmica do combustível, que são lançados para a atmosfera sem sofrer uma completa oxidação. O controle da emissão dos UHC é semelhante aos da emissão de CO

Os aldeídos são compostos químicos resultantes da oxidação parcial dos álcoois. Na temperatura ambiente o aldeído fórmico (AF) é um gás incolor e de cheiro agressivo. O que se encontra como formol no comércio é a solução aquosa de AF.

A Tabela 30 consolida com os principais elementos responsáveis pela poluição atmosférica e seus efeitos no ambiente e na saúde humana.

| Substância | Forma | Como age | Formação | Efeitos no ambiente e na saúde humana |
|----------------------|--|---|--|---|
| Material Particulado | Poeira microscópica. Partículas microscópicas compostas de carbono, hidrocarbonetos não queimados, sulfatos e traços de outros elementos (metais, água etc). | Fica em suspensão no ar e, dependendo do tamanho, pode chegar aos pulmões. | Formado a partir da combustão incompleta do combustível, do óleo lubrificante e das impurezas do combustível. | Agente irritante dos olhos e vias respiratórias. Ação cancerígena humana não comprovada. Produz efeitos indesejáveis na atmosfera como a redução da visibilidade e do contraste pelo fenômeno de difração de luz nas partículas (aerossóis) |
| SO _x | Principalmente na forma de SO ₂ e SO ₃ . Gases incolores, altamente tóxicos e de odor irritante | Altamente solúvel, é absorvido durante sua passagem pelas vias respiratórias. Outros compostos, como sulfatos e ácido sulfúrico, podem se formar na atmosfera | O H ₂ S e H ₂ SO ₄ formados deterioram o equipamento. Participam da formação de particulado. | Danos às vias respiratórias. Danos à vegetação na forma de manchas, clorose, diminuição do crescimento etc. |
| NO _x | NO – gás inodoro sem gosto e incolor. NO ₂ – gás avermelhado, odor picante. Reação no nitrogênio contido no ar com o oxigênio | Transforma-se em ácido nítrico em contato com a água. Participa das reações fotoquímicas na atmosfera | A altas temperaturas e pressões ocorre a reação: N ₂ + O ₂ → 2 NO que se transforma em NO _x . | "Smog fotoquímico" causa irritação nos olhos, nariz, garganta e pulmão. Agrava doenças respiratórias. Causa danos às plantas. O NO ₂ é tóxico, causando doenças respiratórias. Nas plantas o NO ₂ provoca supressão do crescimento, clorose e queda prematura das folhas. A exposição ao óxido nítrico causa diarreias em crianças e, a longo prazo, diminui a resistência a doenças. |
| CO | Gás inodoro, incolor e sem gosto. Resultado da queima parcial do combustível | Combina-se de forma estável com a hemoglobina, impedindo a oxigenação do sangue | Se o combustível não encontrar a parcela adequada de oxigênio, produz-se CO. Depende da relação ar/combustível e da homogeneização da mistura. | Dores de cabeça, desconforto, cansaço, palpitações no coração, vertigens e diminuição dos reflexos. Em ambientes fechados pode levar à morte. |
| CO ₂ | Gás incolor e com odor ligeiramente irritante. É um produto de reação em diferentes processos, tais como, a combustão do | Fica em suspensão no ar, é processado pelas plantas durante o processo da fotossíntese. | Desflorestamento, queima de combustível fóssil, emissão pelas usinas de cimento. | A acumulação desse gás poderia elevar a temperatura da superfície terrestre a um ponto perigoso e provocar catástrofes ecológicas e geoquímicas. Em função de seus efeitos sobre o ambiente, o CO ₂ |

| Substância | Forma | Como age | Formação | Efeitos no ambiente e na saúde humana |
|--|--|---|---|--|
| Ozônio (O ₃) | carvão e dos hidrocarbonetos, a fermentação dos líquidos e a respiração dos seres humanos e dos animais. Gás azul pálido, com odor característico. | Fica em suspensão no ar. Atua na oxidação da matéria orgânica | O ozônio é leve e é formado por uma série de reações catalisadas pela luz do Sol (raios ultravioleta) envolvendo, como precursores, óxidos de nitrogênio (NO _x) e hidrocarbonetos | pode, a longo prazo, tornar a Terra imprópria à vida humana, pelo aquecimento excessivo que poderá provocar. Na estratosfera detém os raios UV. É um potente oxidante, citotóxico (provoca lesão das células). Irritações nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar, envelhecimento precoce e corrosão dos tecidos. Pessoas com asma são mais suscetíveis aos efeitos do ozônio |
| Hidrocarbonetos | Gás que, dependendo da composição, pode ou não ser inodoro. Restos de combustível não queimado. Alguns são originados de óleo lubrificante. Principais fontes de emissão: carros a gasolina (53%), veículos a diesel (21%), carros a álcool (19%). | Participa de reações fotoquímicas na atmosfera ("Smog fotoquímico") | Depende da relação ar / combustível | Alguns aromáticos são considerados cancerígenos e atacam o sistema nervoso. Olefínicos e acetilenos são integrantes da reação "smog fotoquímico" (vide NO _x). Parafínicos possuem efeito narcótico e irritam levemente a mucosa. |
| Aldeídos (C _n H _m -HO) | Gás incolor de odor picante. Restos de combustível parcialmente oxidado. As principais substâncias são acetaldeído, acroleína e formaldeído | Participam de reações fotoquímicas na atmosfera | Normalmente formados a partir de misturas pobres e altas temperaturas | Irritam os olhos e vias respiratórias. Em cobaias provocam tumores. |

Tabela 30 – Elementos resp. pela poluição atmosférica e efeitos no ambiente e na saúde humana

Fonte: Fonte: Carvalho Júnior; Lacava (2003); Pêra (1990); Torreira (1995).

Em virtude da complexidade dos cálculos de cada um dos elementos citados acima, serão utilizadas tabelas que determinam a emissão de cada um dos poluentes de acordo com testes realizados em laboratórios certificados. A tabela de síntese de emissão de poluentes de acordo com a fonte de energia foi retirada de relatórios e tabelas da *Environmental Protection Agency* (EPA). A Tabela 31 lista os valores utilizados para os suprimentos de energia empregados neste trabalho.

| Combustível | Emissões – Valores [kg/GJ] | | | | |
|------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| | Mat. Part | SO _x | NO _x | CO ₂ | CO |
| Óleo Diesel | 0,040257 | 0,444054 | 0,061603 | 72,736002 | 0,015401 |
| Óleo Combustível | 0,049436 | 0,557520 | 0,159655 | 0,868296 | 0,016985 |
| Lenha | 0,765371 | 0,010005 | 0,070034 | 55,026688 | 5,772800 |
| Gás Natural | 0,000002 | 0,000000 | 0,000182 | 0,039370 | 0,000013 |
| GLP | 0,002029 | 0,002718 | 0,064790 | 60,161271 | 0,009160 |
| Eletricidade | – | – | – | – | – |

Tabela 31 – Emissões, valores em kg/GJ.

Fonte: Environmental Protection Agency AP 42. Disponível em <<http://www.epa.gov>>

APÊNDICE B – AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL

Desde 1970, a pesquisa e o desenvolvimento da energia solar, estão dirigidos à melhoria da eficiência na conversão da energia inesgotável que vem do Sol na forma da radiação solar em energia térmica e elétrica. Devido à característica intermitente da radiação solar que atinge a superfície terrestre, é preciso conhecer, o seu comportamento, pois mesmo em estudos preliminares de viabilidade técnica e econômica é necessário ter-se à disposição dados relativos à sua intensidade.

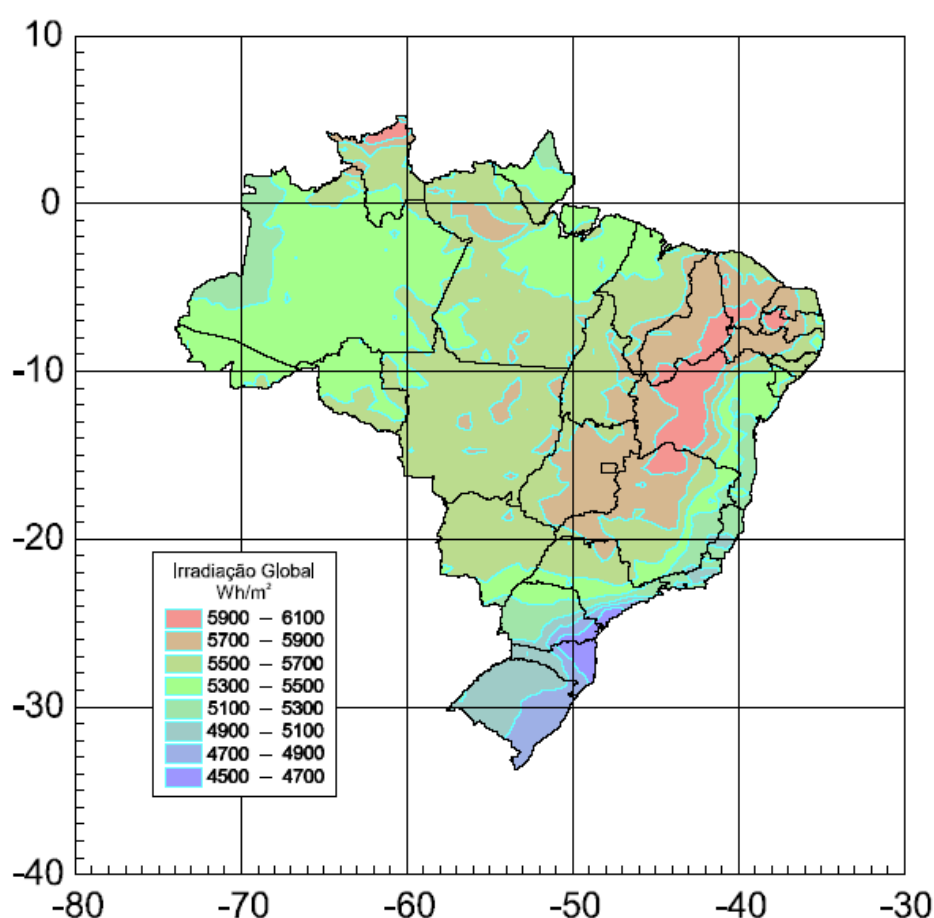


Figura 73 – Irradiação média anual.

Fonte: Collares Pereira (1998).

A despeito de sua gratuidade, de ótimos níveis de irradiação global (ver, por exemplo Figura 74) e da diminuição dos impactos ambientais pela não utilização de fontes tradicionais de geração de energia, a energia solar encontra barreiras para sua difusão. No Brasil uma das barreiras é a do investimento inicial em equipamentos e instalações. Apesar

de um investimento inicial mais alto, o custo de manutenção e operação é mínimo. Este custo foi quantificado por Healey (1997) e é de aproximadamente 12% do custo da instalação do sistema ao longo da sua vida útil de 20 anos.

Outros fatores que têm dificultado a penetração de sistemas solares no mercado brasileiro são a incredulidade e desconhecimento dos usuários a respeito da eficiência e funcionamento dos sistemas de aquecimento solar, aliado à existência de empresas fornecendo equipamentos de qualidade duvidosa. Entretanto, ações do governo federal e de alguns centros de estudo vêm revertendo este quadro, trabalhando na etiquetagem dos produtos oferecidos ao mercado e em cursos e tutoriais para orientar usuários e projetistas.

Um destes centros é o Green Solar – Centro Brasileiro para o Desenvolvimento da Energia Solar Térmica, sediado na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas. O Green Solar tem se destacado na divulgação da tecnologia solar térmica, no desenvolvimento de produtos, na capacitação de pessoal em diversos níveis e na operacionalização do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Equipamentos Solares do Inmetro.

Em relação à utilização da energia solar, é preciso diferenciar os *processos ativos* dos *passivos*. Os *processos passivos* envolvem definições relacionadas à orientação das edificações em relação ao Norte geográfico e à escolha dos materiais, entre outros elementos, visando a atingir níveis de conforto adequados para a zona bioclimática na qual a edificação será construída. Nos *processos ativos* são utilizados equipamentos que convertem diretamente a radiação solar em energia térmica ou em energia elétrica (pelo efeito fotovoltaico).

De acordo com Faria (2004), a energia solar térmica tem se mostrado como solução técnica e economicamente viável para os problemas de redução de consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro e de modulação de carga das concessionárias de energia elétrica. A redução do consumo de energia no horário de pico pela substituição dos chuveiros elétricos por aquecimento solar pode ser interpretada como uma geração virtual de energia elétrica.

O mercado brasileiro de aquecimento solar térmico vem se desenvolvendo desde meados da década de 1970. O gráfico da Figura 75 mostra a evolução do mercado a partir de 1985.

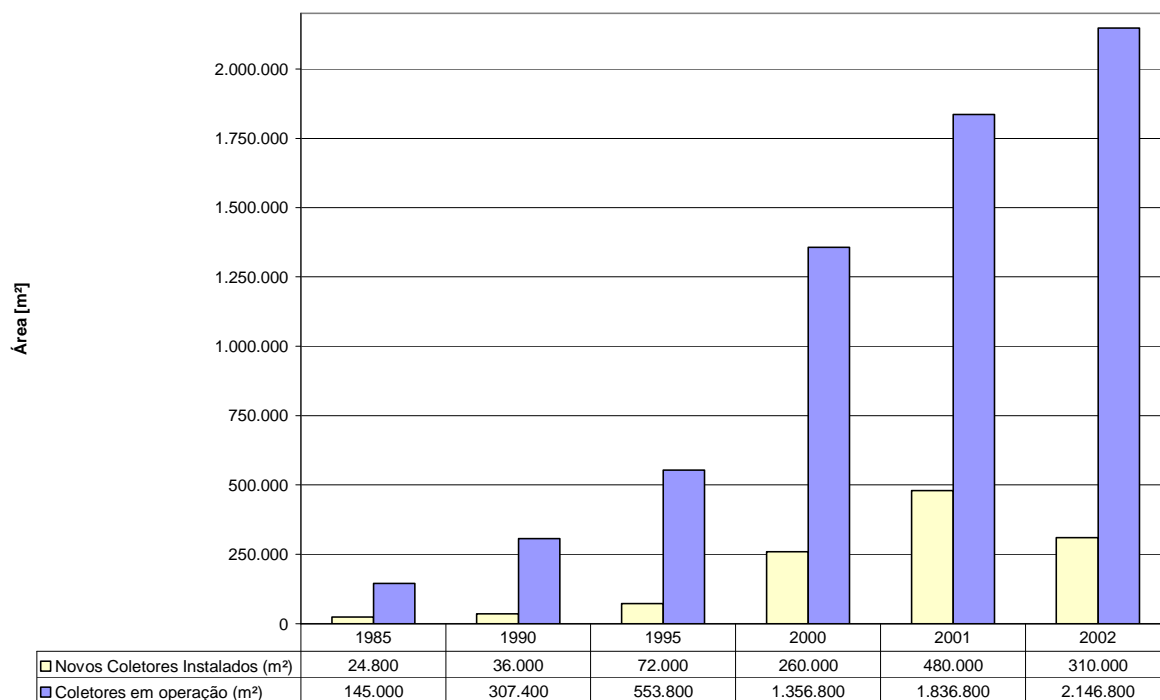


Figura 74 – Evolução do aquecimento solar no Brasil – 1985–2002

Fonte: ABRAVA (2004)

De acordo com os dados do BEN (MME,2005) citados anteriormente, sabe-se que cerca de 6% da energia elétrica produzida no Brasil é utilizada para o aquecimento de água do banho. Em 2001, o aquecimento solar contribuiu com somente 6,1 % da demanda total de energia elétrica para o aquecimento de água no setor residencial, ou seja, apenas 1,6 % da demanda total de energia elétrica no setor residencial brasileiro.

APENDICE C – EQUIPAMENTOS

C.1 – GERADORES DE VAPOR / CALDEIRAS DE ÁGUA A ALTA TEMPERATURA

“Gerador de vapor é um trocador de calor complexo que produz vapor a partir de energia térmica (combustível), ar e fluido vaporizante, constituído por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível”, Pera (1990).

A definição acima compreende os geradores de vapor que vaporizam água, fluidos térmicos ou mercúrio.

De acordo com Torreira (1995), na produção de energia através da aplicação do calor desprendido pela combustão de material ocorre o seguinte processo evolutivo: a água recebe calor através da superfície de aquecimento; com o aumento da temperatura a água chega a seu ponto de ebulição a uma determinada pressão, superior à atmosférica, e transforma-se em vapor. O poder calorífico do combustível é convertido em energia potencial no vapor, que por sua vez pode ser transformado em energia mecânica, elétrica, hidráulica pneumática ou então ser utilizada em trocadores de calor.

Em algumas situações, não há a produção de vapor, mas a utilização de água ainda na fase líquida. A caldeira em questão denomina-se *caldeira de água de alta temperatura*. Os modelos de caldeira podem ser classificados em relação ao combustível utilizado ou ao tipo de tecnologia empregada.

Limitando os combustíveis utilizados ao gás natural, GLP, biomassa, óleo diesel ou óleo combustível e eletricidade, os modelos de caldeiras podem ser classificados nos três tipos básicos seguintes:

- *caldeiras flamotubulares;*
- *caldeiras aquatubulares;*
- *caldeiras elétricas.*

Independentemente do modelo de caldeira em questão, existem alguns elementos que a caracterizam e devem ser conhecidos, pois são essenciais para a escolha da caldeira de um determinado projeto (Pera, 1990). Tais elementos são os seguintes:

- Máxima pressão de trabalho admissível (PMPT) – maior valor permitido durante o funcionamento normal do gerador; em geral é definido pelo fabricante da caldeira e de acordo com normas vigentes. Normalmente dispositivos automáticos são utilizados para que a pressão não seja ultrapassada, havendo assim um alívio da pressão interna (por exemplo, válvulas de alívio, válvulas de segurança);
- Pressão de prova – pressão de ensaio hidrostático ao qual deve ser submetido o equipamento antes de iniciar o seu funcionamento pleno, pressão superior à máxima pressão de trabalho admissível (por exemplo, 110% desta);
- Potência da caldeira – é a massa de vapor que o gerador é capaz de produzir por unidade de tempo (por exemplo, em kg/hora);
- Superfície de aquecimento – constituídas das partes metálicas que se encontram em contato, por uma de suas faces, com a água ou vapor da caldeira e, pela oposta com os produtos da combustão;
- Volume da fornalha ou superfície das grelhas – usadas nas caldeiras que queimam óleos combustíveis ou carvão. Suas medidas estão diretamente ligadas com a potência da caldeira;
- Medidas da caldeira – são as características físicas de uma caldeira, seu peso, suas dimensões, capacidade de armazenamento de água ou vapor, etc.

Outras considerações devem ser observadas tais como:

- eficiência térmica desejável;
- tipo de combustível e características;
- equipamento de combustão;
- relação custo / benefício.

De acordo com a norma de inspeção de caldeiras citada em Torreira (1995), toda caldeira deve apresentar, em sua superfície externa e bem visível, placa identificadora com no mínimo as seguintes informações:

- Nome do fabricante;
- Número do registro do fabricante;
- Número da caldeira;
- Ano de fabricação;

- Máxima pressão de trabalho admissível – PMPT;
- Pressão de prova hidrostática – PMPT;
- Capacidade de produção;
- Área da superfície de aquecimento.

A seguir serão descritos alguns modelos dos tipos de caldeira citados acima.

C.1.1 – CALDEIRAS FLAMOTUBULARES

As *caldeiras flamotubulares* podem ser do tipo vertical ou horizontal e são menos exigentes quanto à operação, regulagem e controle, possibilitando fácil substituição e fechamento de tubos defeituosos, o que dispensa um controle tão rigoroso quanto à qualidade da água. O custo é relativamente reduzido e permite fácil limpeza da fuligem no interior dos tubos. (Pera, 1990)

No interior do cilindro que recebe a água existem tubos, corrugados ou não, por onde passa o fluxo de gases da combustão aquecidos produzidos pela câmara de combustão. Do outro lado da fornalha existe uma câmara de comunicação com um feixe de tubos de dimensões menores que leva os gases aquecidos até a chaminé. A troca de calor entre os gases quentes e a água ocorre por condução e convecção.

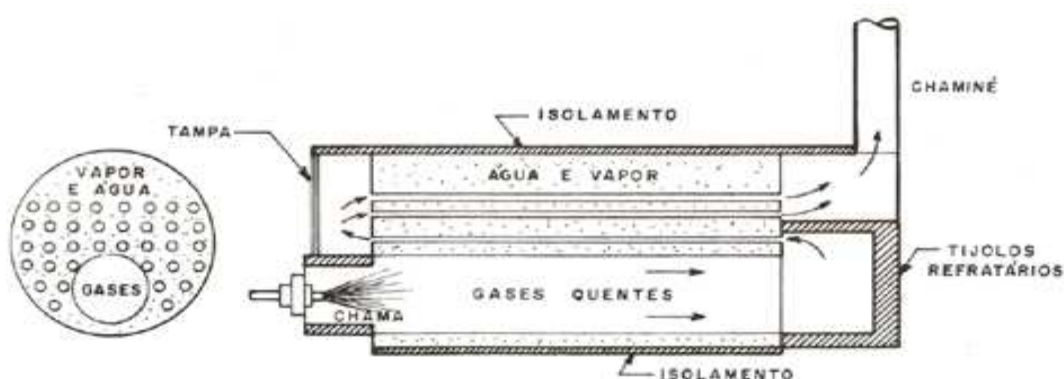


Figura 75 –Esquema de caldeira flamotubular.

Fonte: MACINTYRE (1997)

A facilidade de construção deste tipo de caldeira tornou-a mais utilizada do que a caldeira aquatubular no início da revolução industrial. Em virtude do considerável número de acidentes envolvendo este tipo de caldeira em meados do século XIX, foi exigido que os

fabricantes adotassem soluções construtivas mais confiáveis, o que deu oportunidade à expansão do princípio da caldeira aquatubular. À medida em que os controles automáticos se tornaram mais avançados, foi reduzida a massa de água mantida no interior deste tipo de caldeira.

A origem das concepções de caldeiras flamotubulares compactas é o modelo construtivo da caldeira escocesa, inicialmente utilizada para serviço marítimo. A caldeira escocesa contém três tubulões internos e um amplo feixe de troca de calor em um espaço bem reduzido. A Figura 77 ilustra as caldeiras de passe simples e de múltiplos passes. A troca de calor entre os gases da combustão e a caldeira deve ser potencializada, por isto alguns modelos de caldeira utilizam passes múltiplos para que sua eficiência global seja elevada. As Figuras 78 e 79 reproduzem unidades que possuem câmara de retorno, logo após a fornalha, executada em alvenaria. Esta concepção vem sendo abandonada com a adoção de modelos de caldeira de câmara de Retorno Banhada (*Wet-Back*).

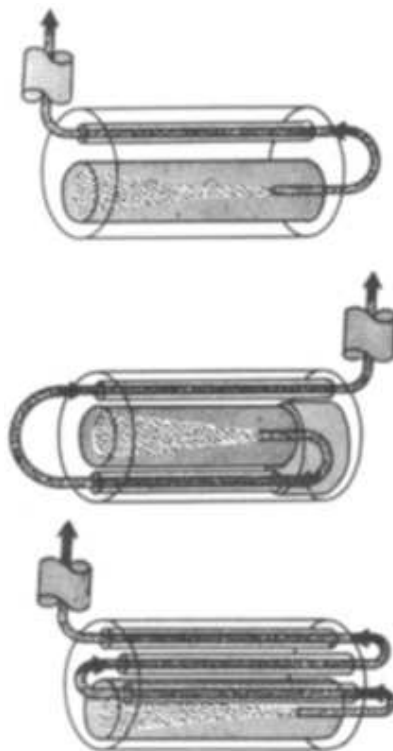


Figura 76 – Caldeiras flamotubulares horizontais. Ilustração de passe simples e de múltiplos passes.

Fonte: PERA (1990).

Os modelos mais modernos de caldeiras flamotubulares compactas tendem a agrupar em uma única peça todos os equipamentos indispensáveis para sua operação, quais sejam:

equipamento de combustão aparelho de alimentação de água, painel de comando e controles automáticos. A faixa de trabalho destas caldeiras é de 300 a 5000 kg/h e as pressões máximas de construção são de 1,569 MPa (16 kgf/cm²). A Figura 78 mostra uma caldeira da empresa ECAL e seus respectivos componentes.

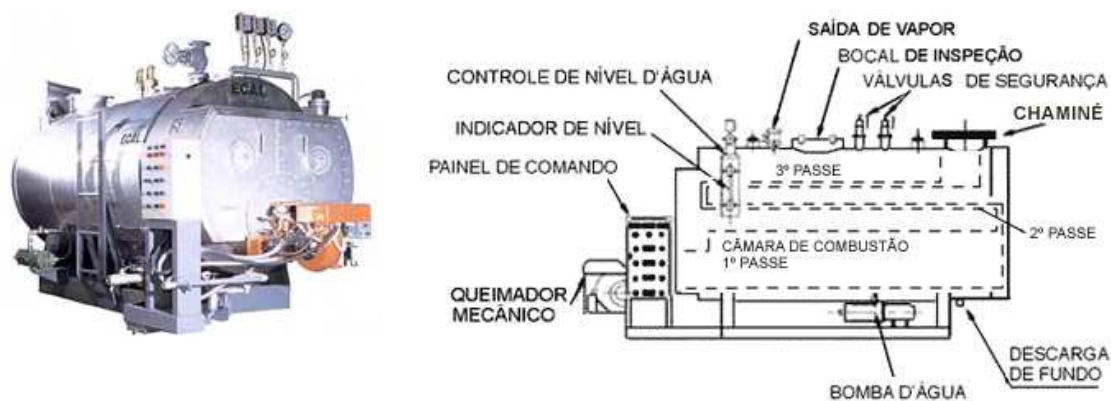


Figura 77 – Caldeira flamotubular ECAL e esquema.

Fonte: ECAL

Este modelo de caldeira possui sistema com três passes de gases, podendo trabalhar com gás natural, GLP ou óleo e pressão de trabalho de 0,784 MPa (8 kgf/cm²), isolados com mantas de lã de vidro e construídos com aço carbono e revestimento externo em alumínio ou aço carbono pintado.

C.1.2 – CALDEIRAS AQUATUBULARES

As caldeiras aquatubulares possibilitaram a obtenção de maiores produções de vapor, a pressões elevadas e altas temperaturas. O fato de os tubos estarem fora dos corpos das caldeiras permite a obtenção de superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas. (Pera, 1990)

O aquecimento se dá pela passagem dos gases quentes que vêm da câmara de combustão (fornalha) e que têm a sua condução forçada através do feixe de tubos (tubulão). Geralmente, os modelos de caldeira aquatubular compactas atingem capacidades de 120.000 kilogramas de vapor por hora, sendo possível atingir em caldeiras de grande porte produções da ordem de 600.000 e até 750.000 kilogramas de vapor por hora, com pressões de operação de 14,709 a 19,613 MPa (150 a 200 kgf/cm²).

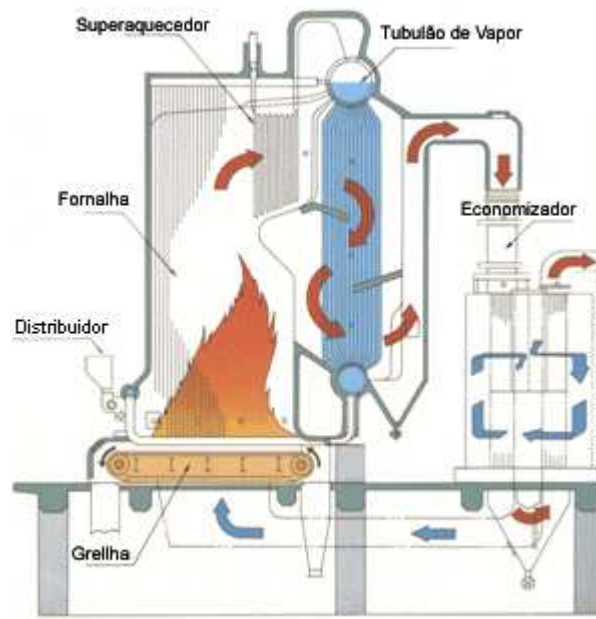


Figura 78 – Caldeira aquatubular em desenho esquemático.

Fonte: Máquinas a Vapor. Disponível em <<http://www.adorofisica.com.br>>.

Visando à maximização da eficiência, diversos arranjos construtivos são utilizados neste modelo de caldeira, dentre os quais podem-se citar:

- *caldeiras de tubo reto* com capacidades variando de 3 a 30 toneladas de vapor por hora e pressões limitadas a 4,413 MPa (45 kgf/cm²);
- *caldeiras de tubulação curvada*, que possuem várias concepções construtivas, apresentando de um a quatro tambores. Não oferecem limites com relação à capacidade de produção, mas sim com relação à pressão máxima suportada, que gira em torno de 15,69 MPa (160 kgf/cm²), devido à diferença pequena de massas específicas entre a água e o vapor, comprometendo assim a circulação natural;
- *caldeiras de circulação positiva*, que mantêm a água circulando exclusivamente num único sentido, seja pela aplicação de bomba ou por princípio construtivo.

Alguns equipamentos auxiliares são fornecidos pelo fabricante (no caso de caldeiras compactas), como equipamento para suprimento de ar de combustão, sistema de pré-aquecimento de óleo, sistema de queima de óleo, sistema de alimentação de água, sistemas de controle, de instrumentação e de proteção.

C.1.3 – CALDEIRAS ELÉTRICAS

A penetração de caldeiras elétricas no Brasil inicia-se com a fase de abundância de energia hidráulica, devido à recessão econômica que se iniciou a partir de 1979, e também com a debilitação da balança de pagamentos externos o conseqüente “peso” da utilização de petróleo e seus derivados para produção de energia térmica.

De acordo com Pera (1990): “Será uma época memorável para a humanidade, servida por fonte energética inexaurível e absolutamente limpa, capaz de varrer da terra o trauma da poluição ambiente”. Percebe-se, por eventos recentes que demonstram a falta de planejamento energético no Brasil, que esta era de ouro não se concretizou e que a eletricidade utilizada para geração de vapor é pouco usada atualmente em ambientes industriais de grande porte. Os dois modelos de caldeiras elétricas mais comumente utilizados são:

- *caldeira elétrica a resistores;*
- *caldeira elétrica de eletrodos.*

Em ambos os tipos, a geração de vapor e a produção de água quente a altas temperaturas fundamentam-se no efeito Joule. O princípio de funcionamento das duas caldeiras é mostrado na Figura 82.

C.1.3.1 – CALDEIRA ELÉTRICA A RESISTORES

Nas caldeiras que utilizam resistores, o calor é transferido por condução à água. Tais caldeiras cobrem uma faixa de mercado de unidades com baixa capacidade, cerca de 200 kg de vapor por hora (150 kW). Tipos de maior capacidade têm sido introduzidos no Brasil; entretanto os custos de operação, manutenção e controle equiparam-se aos de utilização de caldeiras de eletrodos submersos.

A Figura 80 mostra um elemento resistor. Estes resistores são inseridos na carcaça da caldeira, onforme mostra a Figura 81.

O elemento resistor é constituído de fios metálicos de dimensões calculadas revestidos por material dielétrico e posteriormente por um tubo metálico.



Figura 79 – Elemento resistor.

Fonte: Pera (1990).

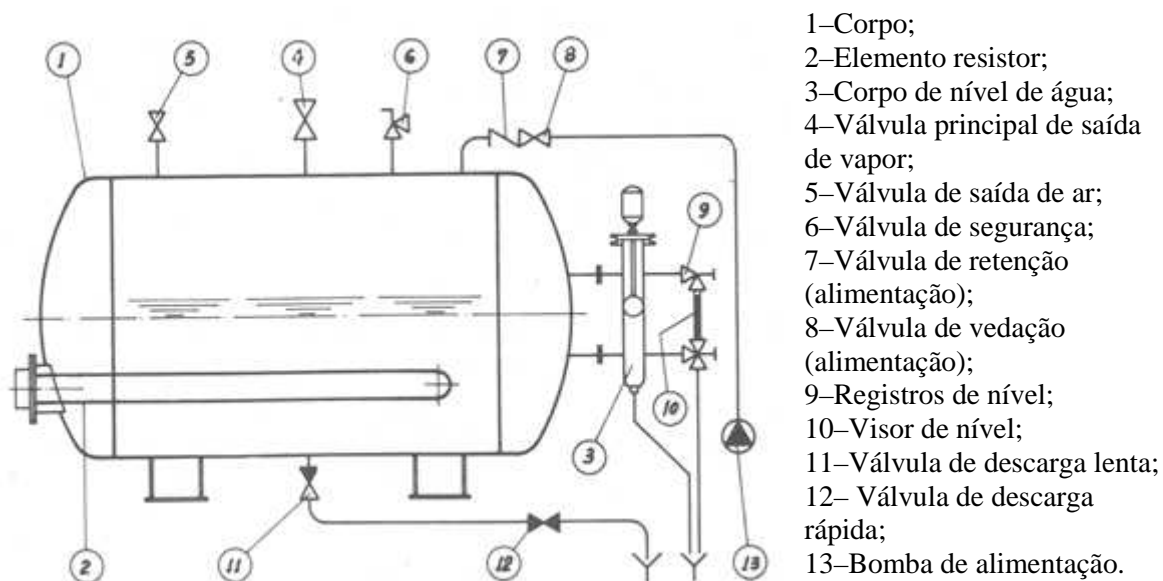


Figura 80 – Caldeira elétrica de resistores.

Fonte: Pera (1990).

O número de resistores cresce com o aumento da capacidade da caldeira e o controle dos resistores é feito por uma chave que liga ou desliga os resistores em função da demanda de vapor.

C.1.3.2 – CALDEIRA ELÉTRICA DE ELETRODOS

Este modelo de caldeira aproveita o próprio fluido vaporizante como veículo de migração da corrente elétrica. Para que a água responda a este efeito, é preciso que ela apresente uma certa condutividade. A Figura 82 mostra o princípio de funcionamento.

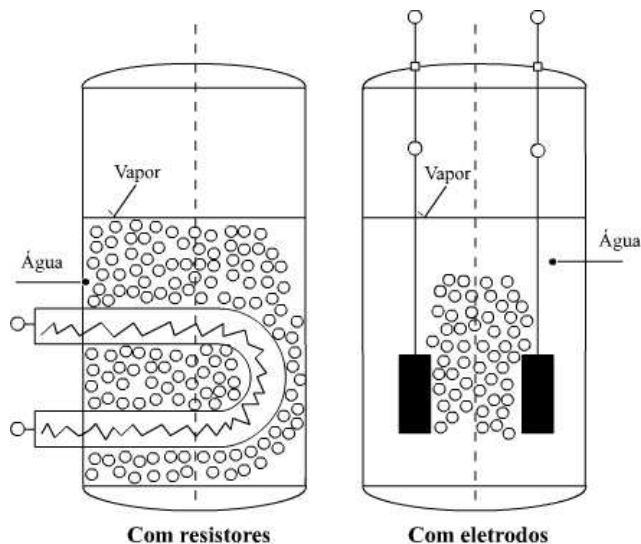


Figura 81 – Princípios de funcionamento de caldeira elétrica.

Fonte: Pera (1990).

A caldeira elétrica de eletrodos submersos é constituída por um vaso fechado contendo um determinado volume de água salinizada, na qual são mergulhados eletrodos energizados. É necessário um mecanismo de controle preciso para que a linha de água não fique abaixo do eletrodo, o que interromperia a produção de vapor. Entretanto, ao contrário dos outros, este tipo de caldeira não sofre nenhuma consequência pela falta de água, simplesmente cessa a produção de vapor sem danificar equipamentos e sem oferecer risco de queima de componentes.

C.2 – AQUECEDORES DE ÁGUA

Os aquecedores de água elétricos podem ser de dois tipos:

- *aquecedores de passagem;*
- *aquecedores de acumulação – boilers elétricos.*

C.2.1 – AQUECEDORES DE PASSAGEM

Dentre os equipamentos de aquecimento de passagem estão os chuveiros elétricos e os aquecedores de passagem sem acumulação, cujo princípio de funcionamento é também pelo efeito Joule (Pera, 1990).

As potências dos aquecedores de passagem variam de cerca de 2 kW a até 12 kW. Podem ser fabricados para utilização em 110, 220 ou 330 volts. Os aquecedores de passagem

somente são ligados com a passagem de água pelo aparelho: após aberto o registro, a pressão da água atua sobre um dispositivo que liga a resistência, permitindo assim o aquecimento.

C.2.2 – AQUECEDORES DE ACUMULAÇÃO

De acordo com Pera (1990) os *aquecedores de acumulação elétricos* podem ser horizontais ou verticais, e em geral possuem as seguintes partes:

- *cilindro interno* – deve ser de lâmina de cobre submetida a um processo de desoxidação. Neste cilindro fica armazenada a água;
- *revestimento externo* – reveste e protege o cilindro interno do contato com o meio ambiente visando assim garantir a integridade do material isolante;
- *material isolante* – inserido entre o cilindro interno e a camada de revestimento; em geral é utilizado o poliuretano expandido;
- *resistência elétrica* – uma ou mais resistências elétricas, em geral fios de Ni.Cr (Nicrome) que trabalham a seco envolvidos por um tubo de cobre. O isolamento é feito por separadores e buchas de porcelana;
- *termostato regulador* – mantém a água na temperatura pré-estabelecida por meio de um sistema liga-desliga simples;
- *válvula de segurança de pressão* – alivia a pressão interna quando esta atinge valores pré-estabelecidos;
- *ânodo de sacrifício* – protege o cilindro interno contra corrosão, prolongando sua vida útil;
- *suporte* – permite a sustentação do peso do aquecedor.

As resistências são dimensionadas em função do volume de água a ser aquecido e do tempo mínimo para o aquecimento. Os tipos disponíveis no mercado variam de 50 a 500 litros, sendo que volumes maiores, de até 20.000 litros, podem ser fabricados sob encomenda.

Os *aquecedores a gás* podem ser de dois tipos:

- *Aquecedores de passagem;*
- *Aquecedores de acumulação.*

C.2.2.1 – AQUECEDOR DE PASSAGEM A GÁS (AQUECEDOR A GÁS INDIVIDUAL)

Este tipo de aquecedor atende a pequenos volumes de aquecimento de água, em geral de 8 litros por minuto. É utilizado em residências unifamiliares onde há, em geral, rede de distribuição de gás. Tais aquecedores possibilitam o aquecimento imediato da água que passa através de uma serpentina de cobre situada sobre o queimador. A Figura 83 representa esquematicamente um aquecedor a gás. A água penetra na serpentina, é aquecida por radiação, convecção e condução através da energia advinda da queima do gás, e vai diretamente para o consumo (Pera, 1990).

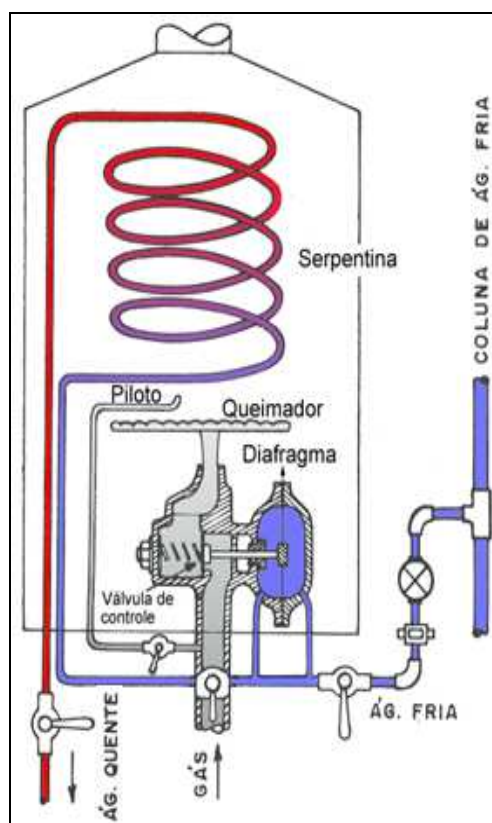


Figura 82 – Aquecedor a gás individual

Fonte: Pera (1990).

Para que o risco de explosão resultante de um vazamento de gás não queimado seja zero, alguns mecanismos de controle estão presentes neste tipo de aquecedor. O piloto do aquecedor em geral fica aceso por grandes períodos, podendo o seu acendimento ser manual ou automático. O risco de escape de gás pelo piloto é reduzido pela presença de

uma lâmina bimetálica próxima ao piloto que, dilatando-se, abre passagem para o gás. Apagada a chama do piloto, o elemento bimetálico se resfria, contraindo-se e fechando a passagem do gás. Quando os registros estão fechados, a pressão no diafragma é a mesma em ambas as faces, não havendo entrada de gás. Ao se abrir o registro de água fria, a pressão no lado direito do diafragma aumenta, empurrando o embolo para a esquerda e permitindo a entrada de gás. Nos aquecedores mais modernos, sistemas detectam esta variação de pressão e ligam o piloto; outros tipos utilizam ainda a pressão da água para geração de faísca para acendimento do piloto.

C.2.2.2 – AQUECEDOR DE ACUMULAÇÃO A GÁS

Os aquecedores a gás por acumulação são semelhantes ao boilers elétricos e substituem as resistências elétricas por queimadores que funcionam com gás natural e/ou GLP (Pera, 1990). Seus componentes em geral são:

- *cilindro interno* – reservatório de armazenamento da água, que será aquecida pelo calor liberado pela combustão do gás;
- *revestimento externo* – reveste e protege o cilindro interno do contato com o meio ambiente visando assim garantir a integridade do material isolante;
- *material isolante* – inserido entre o cilindro interno e a camada de revestimento; em geral é utilizado o poliuretano expandido;
- *controle automático de temperatura* – controla a temperatura de funcionamento do aquecedor;
- *piloto – termopar* – trabalham em conjunto para garantir que a temperatura da água ficará dentro dos limites pré-estabelecidos. O queimador é aceso pela chama do piloto quando a temperatura da água fica abaixo da programada no controle automático. O termopar tem a função de fechar a passagem total do gás caso o piloto se apague;
- *válvula de segurança de pressão* – que alivia a pressão interna quando esta atinge valores pré-estabelecidos;
- *ânodo de sacrifício* – protege o cilindro interno contra corrosão, prolongando sua vida útil;
- *suporte* – permite a sustentação do peso do aquecedor.

A Figura 84 mostra um modelo de aquecedor de acumulação da JMS.

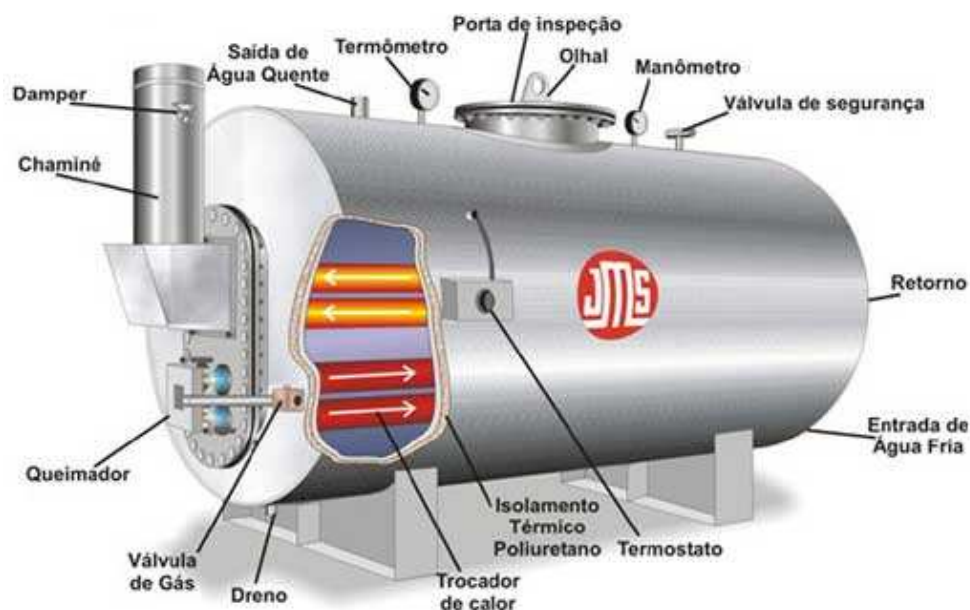


Figura 83 – Aquecedor de acumulação JMS.

Fonte: JMS.

C.3 – COLETORES SOLARES TÉRMICOS

O coletor solar térmico é um tipo especial de trocador de calor, transformando energia solar em energia térmica. Existem diversos modelos de coletores solares concebidos em função da temperatura de trabalho desejada. Dentre os modelos de coletores solares térmicos podemos destacar:

- Coletor solar concentrador (atinge temperaturas da ordem de 100°C e superiores)
 - Por reflexão;
 - Por refração.
- Coletor solar plano
 - Aberto (atinge temperaturas entre 28°C e 35°C);
 - Fechado (atinge temperaturas da ordem de 70°C);
 - Coletor solar de tubo evacuado (atinge temperaturas da ordem de 100°C).

C.3.1 – COLETOR SOLAR PLANO (CSP)

Os *coletores solares planos abertos* (CSPA) são mais utilizados para o aquecimento de piscinas e instalações que necessitem de baixa temperatura, da ordem de 35 °C. Em geral

eles são feitos de plástico e não necessitam de isolamento e de cobertura, conforme ilustra a Figura 85.



Figura 84 – Coletor solar térmico aberto.

Fonte: Heliocol. Disponível em <<http://www.heliocol.com/>>.

É necessário cuidado redobrado na montagem de sistemas que utilizam este modelo de coletor, pois devido ao diâmetro reduzido dos tubos pode haver distribuição desigual da água, o que acarreta em perda de eficiência do coletor.

O *coletor solar de tubo evacuado* (CSTE) trabalha com temperatura da ordem de 100°C e consiste em tubos de vidro transparente cujo interior contém tubos metálicos (absorvedores). A atmosfera interior dos tubos é livre de ar, o que elimina as perdas por convecção, elevando assim o rendimento a altas temperaturas devido a menores coeficientes de perda a eles associados. Devido ao seu processo construtivo mais elaborado, ele tem sido pouco utilizado no Brasil, uma vez que o seu custo de fabricação é elevado quando comparado com o do coletor solar plano.



Figura 85 – Coletor solar de tubos evacuados.

Fonte: Apricus. Disponível em <<http://www.apricus-solar.com>>

O modelo de coletor solar selecionado para ser utilizado neste estudo é o *coletor solar plano fechado (CSPF)*, largamente utilizado para o aquecimento de água em indústrias, escolas e residências, pois apresenta uma boa razão custo/benefício e características técnicas de funcionamento mais adequadas para a situação de aquecimento solar de grande porte no Brasil.



Figura 86 – Coletor solar plano fechado

Fonte: Soletrol.

Dentre as vantagens do CSPF em relação aos outros tipos podem ser citadas: simplicidade de construção, relativo baixo custo, baixo custo de manutenção e alta durabilidade, não possui partes móveis e consegue aproveitamento da radiação solar também em dias nublados. Um CSPF é composto basicamente pelos seguintes elementos:

- Cobertura transparente – geralmente é feita de vidro, mas também têm sido utilizados o policarbonato e o acrílico. Sua função é proteger o coletor solar térmico, permitir a passagem da radiação solar e reduzir as perdas por convecção e radiação para o meio, sendo responsável pelo efeito estufa;

- Placa absorvedora (aleta) – absorve e transfere a energia solar para o fluido de trabalho. É, na maioria das vezes, pintada de preto para absorver o máximo de energia possível. Em geral as aletas são de cobre ou de alumínio;
- Flauta – Tubos conectados por onde circula o fluido de trabalho. Normalmente feita de cobre, pois o cobre tem maior condutividade térmica e resistência à corrosão;
- Isolamento – tem a função de minimizar as perdas para o meio ambiente. Os materiais mais utilizados são a lã de vidro, lã de rocha poliuretano, e até mesmo isopor. A ASHRAE (1996) recomenda que o isolamento do coletor deve ser capaz de resistir a temperaturas de até 204 °C;
- Caixa – fixa estruturalmente e protege os componentes do coletor. Pode ser feita de alumínio ou de material plástico.

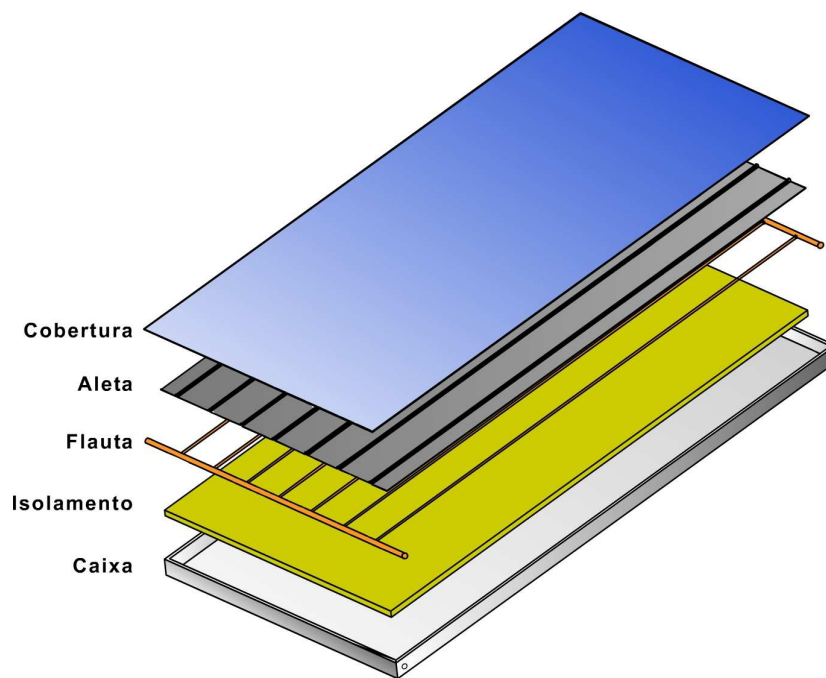


Figura 87 – Coletor solar explodido.

Fonte: Coleção vendendo energia solar com qualidade – RESOLVER Engenharia.

A conversão de energia solar em energia térmica se dá da seguinte maneira. Ao se colocar o coletor solar sob a ação da luz solar visível e da radiação infravermelho, as quais podem atuar juntas ou separadamente, a radiação solar atravessa o vidro da cobertura e ao encontrar a aleta sofre uma alteração no seu comprimento de onda (um aumento), o que a torna impotente para atravessar, de volta, o vidro e a partir daí tem origem uma re-emissão

desta radiação no sentido vidro/chapa/vidro. Como a caixa se encontra hermeticamente fechada, ocorre o efeito estufa, responsável pelo aumento progressivo da temperatura da chapa pintada de preto fosco enquanto durar a ação da radiação solar. As aletas são pintadas de preto, pois a cor preta é a que absorve praticamente toda a radiação nela incidente nos mais diferentes comprimentos de onda do espectro solar, à exceção das superfícies seletivas, cuja absorção é quase total.

O calor coletado pela aleta é transferido aos tubos da flauta, a qual, por sua vez, o transfere para a água existente no interior da flauta, tornando-a mais leve, menos densa, dando início à convecção natural.

Vários tipos de materiais podem ser utilizados para a confecção de um coletor solar plano. Existem modelos de polipropileno, com cobertura de acrílico, coletores de plástico (para piscina). O modelamento de um CSPF é tarefa complexa, pois existem parâmetros ótimos para cada um dos itens do coletor.

APENDICE D – DIMENSIONAMENTO

D.1 – DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DIÁRIA DE ÁGUA QUENTE

Para projetar um sistema de aquecimento distrital é preciso ter em mãos o consumo diário de água quente da instalação. A NBR 7198/82 sobre “Instalações Prediais de Água Quente”, a pesquisa dos hábitos dos usuários e a experiência permitem projetar o sistema mais adequado para cada situação. A Tabela 32 mostra a estimativa de consumo água quente.

| Peças | Consumo Diário |
|--|-------------------------|
| Alojamento provisório de obra | 24 l por pessoa |
| Casa popular ou rural | 36 l por pessoa |
| Residência | 45 l por pessoa |
| Apartamento | 60 l por pessoa |
| Quartel | 45 l por pessoa |
| Escola ou internato | 45 l por pessoa |
| Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia) | 36 l por hospede |
| Hospital | 125 l por leito |
| Restaurantes e similares | 12 l por refeição |
| Lavanderia | 15 por kg de roupa seca |

Tabela 32 – Consumo diário médio.

Fonte: NBR 7198/82

É possível calcular a demanda com maior precisão adotando-se outra metodologia que toma por base a vazão e a capacidade dos equipamentos utilizados, também levando em consideração a frequência e o tempo de utilização conforme a Tabela 33.

| Peças | Vazão L/s | Peso |
|-------------------|-----------|------|
| Banheira | 0,30 | 1,0 |
| Bidê | 0,10 | 0,1 |
| Chuveiro | 0,20 | 0,5 |
| Lavatório | 0,20 | 0,5 |
| Pia de Cozinha | 0,25 | 0,7 |
| Pia de despejo | 0,30 | 1,0 |
| Lavadora de roupa | 0,30 | 1,0 |

Tabela 33 – Consumo diário médio por aparelho.

Fonte: NBR 7198/82

Considerando as camadas menos privilegiadas da população, o consumo de água é inferior aos valores fornecidos pela norma. Isso se deve ao fato de que os atuais chuveiros (de até 4.400 W) limitam a vazão em 3 litros / minuto.

Na Tabela 34 vê-se um *exemplo*, tomando por base uma família de classe alta com 5 pessoas.

| Peça | Consumo individual de água quente em litros | Pessoas | Total em litros d'água |
|--------------------|---|---------|------------------------|
| Ducha | 70 | 5 | 350 |
| Lavatório | 5 | 5 | 25 |
| Cozinha | 20 | 5 | 100 |
| Hidromassagem | 0,4 x 150 | 5 | 60 |
| Total de Consumo = | | | 535 litros |

Tabela 34 – Exemplo de um cálculo de consumo de água quente.

A energia diária necessária para o aquecimento do volume total de água por ser obtida pela equação:

$$L_{dia} = \rho \cdot C_p \cdot V (T_b - T_{amb}) \quad (D.1)$$

sendo:

L_{dia} – quantidade de energia necessária para atender a demanda de consumo por um dia [kJ/dia],

ρ – densidade da água (kg/m^3),

C_p – calor específico à pressão constante ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$),

V – volume da água que será aquecida (m^3),

T_b – temperatura desejada para a água fornecida para o banho ($^\circ\text{C}$),

T_{amb} – temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$).

Os valores de ρ e C_p serão considerados constantes para simplificação do cálculo, $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$ e $C_p = 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$.

Para o cálculo da demanda mensal de energia, basta multiplicar L_{dia} pelo número de dias do mês (N_{men}) em questão:

$$L_{men} = N_{men} \cdot L_{dia} \quad (D.2)$$

Para que se saiba a vazão horária pode-se dividir a demanda diária por 24 horas ou então trabalhar em uma tabela que defina a demanda horária.

D.2 – DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DAS TUBULAÇÕES

A correta escolha da tubulação a ser utilizada no sistema de aquecimento de água distrital é fator fundamental para a eficiência da instalação. Várias opções estão disponíveis no mercado, mas os mais comumente utilizados para pequenos diâmetros são os tubos de cobre, polipropileno ou de CPVC (policloreto de vinila clorado) envolvidos em poliuretano, lã de rocha e um acabamento externo de borracha como pode ser visto na Figura 89. No caso de instalações que necessitem de grandes diâmetros, tem sido utilizados tubos de ferro fundido e mais recentemente tubos de aço.

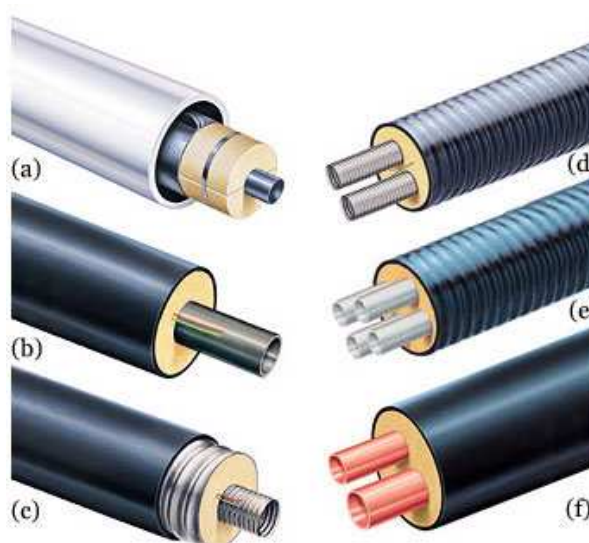


Figura 88 – Tubulação de sistema de aquecimento de pequeno e médio porte.

(a) ISOBRUGG® Steel-clad pipe, (b) FERWAG® / PREMANT® The standard steel pre-insulated pipe (c) FLEXWELL® District-heating cable, (d) CASAFLEX® House-connection pipe, (e) CALPEX® Low-temperature pipe, (f) CALCOPPER® Copper local-heating pipe.

Fonte: BRUGG Rohrsysteme – Fernwärme Hauptverteilung. Disponível em <<http://www.pipesystems.com>>.

Após pronta uma obra, um dos itens que apresenta mais problemas é a parte hidráulica. O correto balanceamento hidráulico (equalização da pressão em trechos com mesa cota e diâmetro), um correto dimensionamento do diâmetro da tubulação e a escolha da bomba adequada são alguns dos itens importantes a serem observados.

Devido à dimensão das instalações de aquecimento distrital, é essencial a escolha correta do isolamento e do material da tubulação a ser usado. A Figura 90 mostra uma tubulação de um sistema de aquecimento distrital de grande porte da Europa.



Figura 89 – Tubulação de uma instalação de aquecimento distrital em Mussalo Kotka – Finlândia.

Fonte: Consulting Engineers Kartek. Disponível em: <<http://www.kartek.fi>>.

É extremamente importante garantir-se a estanqueidade do sistema hidráulico para que não ocorram vazamentos uma vez que o acesso à tubulação nem sempre é fácil, apesar de que o acesso deve ser previsto em projeto.

Tendo em vista a equação da continuidade $Q = A \times v$, sabe-se que uma mesma vazão pode ser transportada em tubulações de diferentes diâmetros, variando a velocidade do escoamento. A variação do diâmetro tem reflexos diretos sobre o investimento e o custo operacional da instalação. Assim:

- quanto maior o diâmetro da instalação, maior será o investimento (o preço dos tubos varia com o peso da unidade de comprimento);
- quanto maior o diâmetro da instalação, menor será o curso operacional. Com o aumento do diâmetro (para mesma vazão), a velocidade de escoamento é reduzida e conseqüentemente a perda de carga. Reduzindo-se a perda de carga, a altura manométrica da instalação será menor, sendo menor a potência necessária ao acionamento da bomba e menor o consumo de combustível.

Entretanto, alguns critérios técnicos devem ser aplicados para a seleção do diâmetro da tubulação. De acordo com a NBR – 7198/82, deve-se considerar o funcionamento máximo provável das peças de utilização, e não o máximo possível, salvo em casos especiais. (Macyntire, 1996). Macyntire, (1996) recomenda a utilização da equação a seguir para o dimensionamento dos encanamentos.

$$Q_f = C \cdot \sqrt{\sum_i P_i} \quad (D.3)$$

sendo:

V_z – vazão (l/s),

C – coeficiente de descarga = 0,30 l/s

$\sum_i P_i$ = soma dos pesos de todas as peças que podem ser utilizadas simultaneamente.

| Aparelho sanitário e peças de utilização | Vazão de Projeto l/s | Pesos P |
|--|----------------------|---------|
| Chuveiro | 0,10 | 0,50 |
| Chuveiro Elétrico | 0,10 | 0,10 |

Tabela 35 – peso hidráulico do chuveiro.

Fonte: Macyntire (1996).

Deve-se utilizar uma pressão estática máxima de 40,0 m.c.a (metros de coluna d'água) e devem ser utilizados equipamentos para limitar a pressão neste valor. A pressão mínima no chuveiro é de 0,50 m.c.a (10 kPa \approx 1 m.c.a \approx 0,1 kgf/cm²). A Tabela 36 apresenta as velocidades e vazões máximas para água quente calculadas com a equação seguinte:

$$v = 14 \cdot \sqrt{d} \quad (D.4)$$

sendo:

d – diâmetro [m];

v – velocidade [m/s].

| Diâmetro Nominal | | Velocidades Máximas | Vazões Máximas |
|------------------|----------|---------------------|----------------|
| mm | polegada | m/s | l/s |
| 15 | ½ | 1,60 | 0,20 |
| 20 | ¾ | 1,95 | 0,55 |
| 25 | 1 | 2,25 | 1,15 |
| 32 | 1 ¼ | 2,50 | 2,00 |
| 40 | 1 ½ | 2,75 | 3,10 |
| 50 | 2 | 3,15 | 6,40 |
| 65 | 2 ½ | 3,55 | 11,20 |
| 80 | 3 | 3,85 | 17,60 |
| 100 | 4 | 4,00 | 32,50 |

Tabela 36 – Velocidades e Vazões Máximas para Água Quente

Fonte: Macyntire (1996).

É necessário também proceder-se ao dimensionamento dos encanamentos de aspiração e de recalque. Este dimensionamento tem o objetivo de reduzir as perdas de carga na aspiração e no recalque e também o indesejado golpe de aríete. De acordo com Macyntire (1996), a norma A NBR-56626/82 sugere que seja utilizada a fórmula de Forchheimer para seleção do diâmetro do encanamento de recalque.

$$d_r = 1,3 \cdot \sqrt{V_z} \cdot \sqrt[4]{\frac{h_f}{24}} \quad (\text{D.5})$$

sendo:

d_r – diâmetro nominal de recalque em metros;

V_z – vazão da bomba em m^3/s ;

h_f – número de horas de funcionamento no período de 24 horas.

O diâmetro da tubulação de aspiração é feito selecionando-se um diâmetro comercial imediatamente superior ao de recalque.

D.3 – CÁLCULO DA PERDA DE CARGA

O cálculo da perda de carga se faz imprescindível em face da necessidade de dimensionamento da bomba. Ela representa a energia consumida para o fluido escoar na

tubulação. É resultante do atrito interno do líquido devido a sua viscosidade, da resistência oferecida pelas paredes em virtude de sua rugosidade e de mudanças de trajetórias das partículas líquidas devido aos elementos constituintes da tubulação. Macyntire (1996). A perda de carga total é dada por:

$$\Delta H_{tot} = \Delta H_{dist} + \Delta H_{loc} \quad (D.6)$$

sendo:

ΔH_{dist} – perda de carga distribuída – ao longo de um encanamento retilíneo com diâmetro constante;

ΔH_{loc} – perda de carga localizada – devido às válvulas, entrada e saída de reservatórios, conexões, etc.

Em instalações de distribuição de água prediais, quase sempre recorre-se à utilização de formulas empíricas aplicáveis cada qual a um determinado material de encanamento.

O método desenvolvido por Darcy e Wisbach permite o cálculo da *perda de carga distribuída* sob a forma

$$\Delta H_{dist} = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\bar{v}^2}{2 \cdot g} \quad (D.7)$$

sendo:

d – diâmetro da tubulação de escoamento [m];

L – comprimento do encanamento [m];

\bar{v} – velocidade média do escoamento [m/s];

g – aceleração da gravidade [m/s²];

f – coeficiente de atrito.

Para determinação do coeficiente de atrito, seja através de ábacos ou de fórmulas, é preciso conhecer o número de Reynolds, dado por:

$$Re = \frac{\bar{v} \cdot d}{\nu} \quad (D.8)$$

sendo:

\bar{v} – velocidade média da seção [m/s];

d – diâmetro interno do tubo [m];

ν – viscosidade cinemática, que caracteriza o atrito intermolecular do líquido [$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$].

Para o cálculo da viscosidade cinemática é preciso conhecer-se a viscosidade dinâmica:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{D.9})$$

sendo:

μ – viscosidade dinâmica [Centistokes];

ρ – massa específica do fluido [kg/m^3].

A determinação do coeficiente de atrito, f , pode ser feita por meio dos diagramas de Hunter Rouse ou de Moody disponíveis em Macyntire, (1996), baseados nos resultados dos estudos de Blasius, Colebrook, White e Nikuradse e na análise matemática de Prandtl e Karman. Estes diagramas apresentam-se como solução rápida e razoável para muitas aplicações práticas, pois podem ser utilizados para qualquer regime de escoamento e para líquidos de qualquer viscosidade, sendo assim mais utilizados nas décadas de 70 e 80. Atualmente é preferível que sejam utilizados modelos computacionais para executar estes cálculos por apresentar maior precisão nos resultados obtidos.

O coeficiente de atrito leva em consideração se o escoamento é laminar ou turbulento. Para um escoamento laminar, onde $\text{Re} < 2.000$, o coeficiente f não depende da rugosidade do encanamento, sendo calculado por:

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (\text{D.10})$$

Para escoamento de transição ou turbulento serão utilizados os diagramas do Anexo B. Entretanto pode-se também utilizar a equação de Colebrook (1938–39) para escoamento turbulento.

$$\frac{1}{f} = -2,0 \cdot \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{d}}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot f^{0,5}} \right) \quad (\text{D.11})$$

sendo:

d – diâmetro interno da tubulação [mm];

ε – rugosidade absoluta [mm].

A equação D.12 é transcendente, de modo que é necessária a iteração para que seja possível avaliar o coeficiente de atrito. Miller (1985) sugere que, como estimativa inicial, seja usada a fórmula:

$$f_0 = 0,25 \left[\log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{d}}{3,7} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad (\text{D.12})$$

Nos casos práticos a rugosidade absoluta não é uniforme variando em virtude de características físico-químicas da água e sua interação com a tubulação. A Tabela 37 lista alguns valores mais usuais de rugosidade absoluta de diversos materiais.

| Material | Rugosidade ε (mm) |
|----------------------------|-------------------------------|
| Aço Galvanizado Novo | |
| – com costura | 0,15 a 0,20 |
| – sem costura | 0,06 a 0,15 |
| Aço asfaltado | 0,04 |
| Ferro Fundido | |
| – revestido com asfalto | 0,3 a 0,9 |
| – revestido com cimento | 0,05 a 0,15 |
| – usado (sem revestimento) | 0,40 a 12,0 |
| Cimento – amianto | |
| – novo | 0,05 a 0,10 |
| – usado | 0,60 |
| PVC e cobre | 0,015 |

Tabela 37 – Rugosidade absoluta de alguns materiais.

Fonte: Fox (1995).

É importante ressaltar que a *perda de carga distribuída* deve ser calculada para cada trecho que apresente diferença de diâmetro, realizando-se então o somatório das perdas de carga localizadas de cada trecho.

$$\Delta H = \sum_1^n f_n \cdot \frac{l_n}{d_n} \cdot \frac{\bar{v}_n^2}{2 \cdot g} \quad (\text{D.13})$$

sendo:

n – o índice representativo do número de trechos com diâmetros diferentes.

Para o cálculo da perda de carga localizada, existem vários métodos de cálculo, dentre eles:
1º) Utilização de fórmula geral das perdas localizadas. Neste método são utilizadas tabelas que fornecem o valor do coeficiente de perda de carga para várias peças e conexões.

$$\Delta H_l = K \cdot \frac{\bar{v}^2}{2 \cdot g} \quad (\text{D.14})$$

sendo:

K – coeficiente de perda de carga.

2º) Método dos comprimentos equivalentes ou virtuais.

Este método baseia-se no fato de que as peças ou conexões acarretam uma perda de carga igual à produzida por um certo comprimento de tubulação de mesmo diâmetro. Utilizando-se este método, ao se selecionar todas as conexões e/ou peças, tem-se um comprimento total que será utilizado como se houvesse apenas encanamento reto sem peças especiais.

Este método é recomendado pela norma NBR-5626 e pode-se utilizar para determinação dos comprimentos equivalentes, os seguintes métodos (ver ANEXO B):

- Ábacos, como o da Crane Corporation;
- Tabelas de comprimentos equivalentes.

D.4 – A ALTURA MANOMÉTRICA DAS INSTALAÇÕES

Define-se a altura manométrica de um sistema elevatório como sendo a quantidade de energia que deve ser absorvida por um quilograma de fluido que atravessa a bomba, energia esta necessária para que o mesmo vença o desnível da instalação, a diferença de pressão entre os dois reservatórios (caso exista) e a resistência natural que as tubulações e acessórios oferecem ao escoamento dos fluidos. A figura 91 ilustra uma instalação de bomba centrífuga.

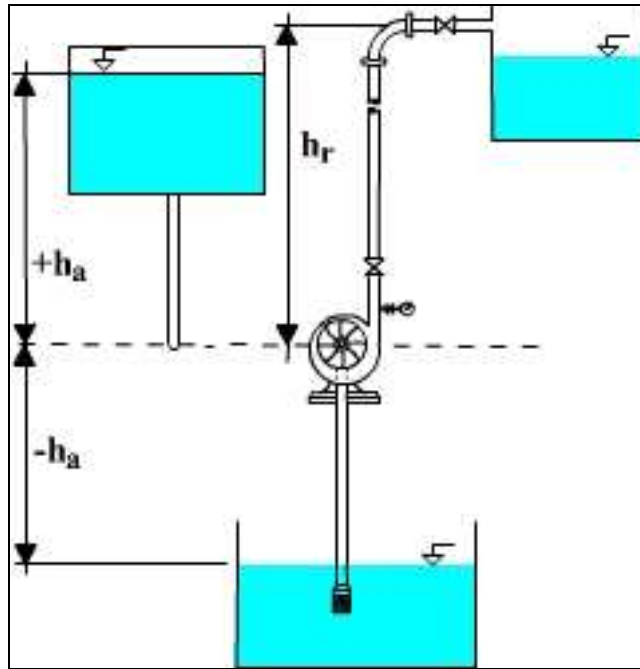


Figura 90 – Instalação de bomba centrífuga.

Fonte: Carvalho (1995).

$$H_{man} = h_a + h_r + \Delta H_{tota} + \Delta H_{totr} + \frac{\bar{v}_0^2}{2.g} \quad (D.15)$$

sendo:

H_{man} – altura manométrica [m.c.a];

h_a – altura estática de aspiração [m];

h_r – altura estática de recalque [m];

ΔH_{tota} – perda de carga total na aspiração [m];

ΔH_{totr} – perda de carga total no recalque [m];

v_0 – velocidade média do fluido na entrada da bomba [m/s].

D.5 – SELEÇÃO DA SUBESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO

Para a escolha da bomba devem ser consultados os gráficos de seleção fornecidos pelos fabricantes de bombas uma vez conhecidos os valores da vazão, altura manométrica e da potência necessária para o acionamento do motor. Estes gráficos definem, dentro da linha de produção de cada fábrica, o tipo de bomba capaz de atender o ponto de funcionamento. Os gráficos são obtidos em testes em laboratório.

Para determinação da potência necessária é preciso que a altura manométrica da instalação já esteja calculada e que se conheçam os rendimentos da bomba. São avaliados três tipos de rendimento em uma bomba: o rendimento hidráulico, o rendimento volumétrico e o rendimento mecânico. O *rendimento hidráulico* leva em consideração o acabamento superficial interno das paredes do rotor e da carcaça da bomba. É calculado pela expressão:

$$\eta_H = \frac{H_{man}}{H_{ced}} \quad (D.16)$$

$$H_{ced} = H_{man} + \Delta H_{Bomba} \quad (D.17)$$

onde:

H_{man} – altura manométrica da instalação;

H_{ced} – energia cedida a cada unidade de massa de fluido que atravessa a bomba;

ΔH_{Bomba} – energia dissipada no interior da bomba em função do seu acabamento superficial.

O *rendimento volumétrico* leva em consideração a recirculação e o vazamento existente no estojo de gaxetas da bomba. O rendimento volumétrico é a razão entre a vazão recalçada pela bomba, V_z , e a vazão aspirada pela bomba. (q_{vaz}):

$$\eta_v = \frac{V_z}{V_z + q_{vaz}} \quad (D.18)$$

sendo:

q_{vaz} – recirculação e vazamento pelo estojo de gaxetas.

Em bombas que trabalham a grande pressão, o rendimento volumétrico cai em virtude da taxa de recirculação ser mais elevada. A Tabela 38 a seguir mostra valores médios do rendimento volumétrico:

| Tipo de bomba | Faixa de valores de η_v |
|---|------------------------------|
| Bomba de baixa pressão $H < 15$ m.c.a | 93% a 98% |
| Bomba de média pressão $15 \leq H \leq 50$ m.c.a | 88% a 93% |
| Bomba de alta pressão $H > 15$ m.c.a | 83% a 88% |

Tabela 38 – Rendimento volumétrico em virtude da pressão de trabalho

Fonte: Carvalho (1995).

O *rendimento mecânico* leva em consideração, que apenas uma parte da potência necessária ao acionamento da bomba, é efetivamente, empregada para o ato de bombeamento.

$$\eta_m = \frac{N_{aci} - \Delta N_{dis}}{N} \quad (D.19)$$

sendo:

N_{aci} – potência necessária ao acionamento;

ΔN_{dis} – potência dissipada em atrito no estajo de gaxetas, nos mancais e / ou rolamentos, nos anéis de desgaste e pelo atrito entre o rotor e o meio fluido no qual gira.

O rendimento total é o produto dos três rendimentos.

$$\eta = \eta_H \cdot \eta_V \cdot \eta_m \quad (D.20)$$

A potência motriz necessária ao acionamento de uma bomba, N_{aci} , é dado pela equação:

$$N_{aci} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad [cv] \quad (D.21)$$

onde:

γ – peso específico do fluido de trabalho.

APÊNDICE E – DADOS RELACIONADOS COM O ESTUDO DE CASO

Neste anexo serão apresentados cálculos, croquis e dados da planilha de cálculo referentes ao caso exemplo. A listagem de algumas das empresas associadas à Abrava que participam do Programa Brasileiro de Etiquetagem pode ser consultada no Anexo C.

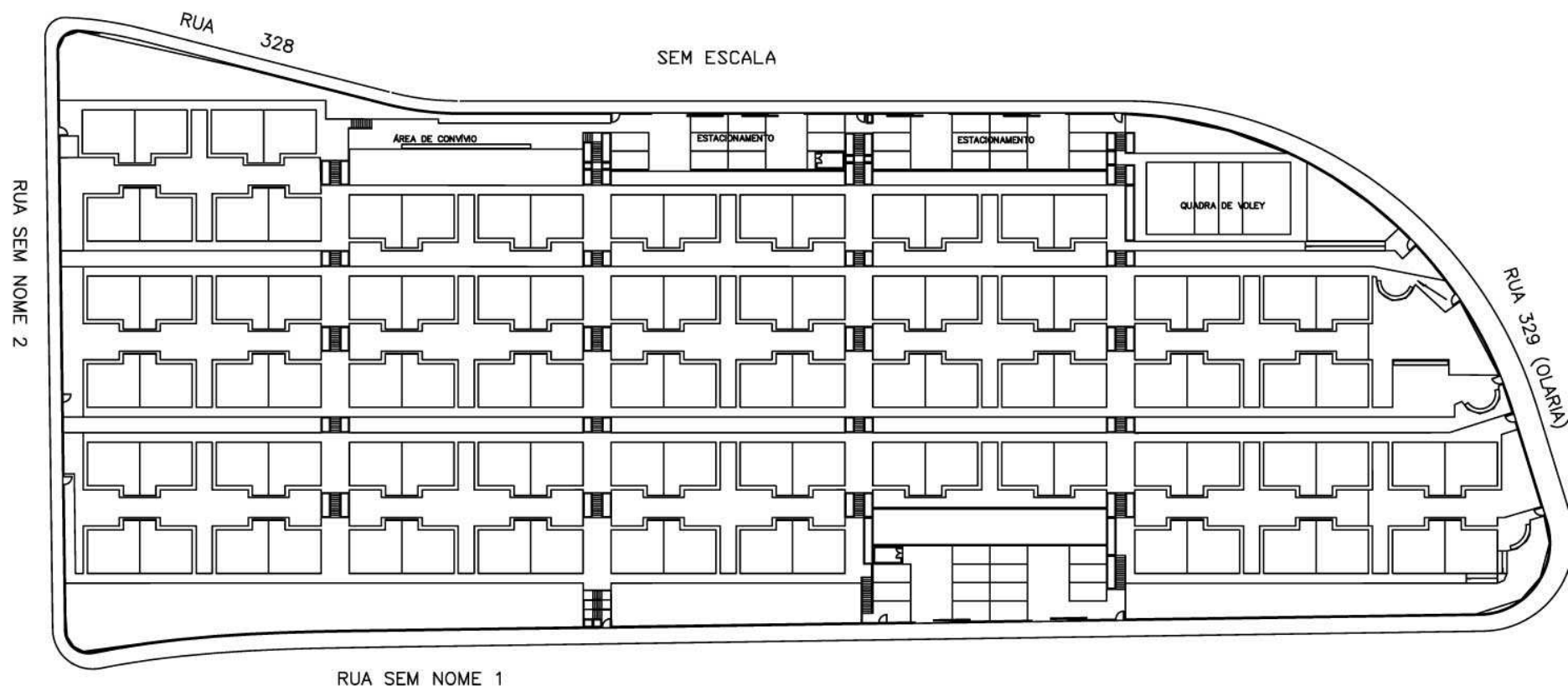


Figura 91 – Planta de implantação do conjunto habitacional.

Fonte: Secretaria Municipal de Habitação – Belo Horizonte

Uma vez que o conjunto habitacional já está construído foram propostas algumas alterações na disposição das residências para que fosse possível comportar a instalação dos coletores solares, dos reservatórios térmicos e do sistema de *backup* (Figura 93).

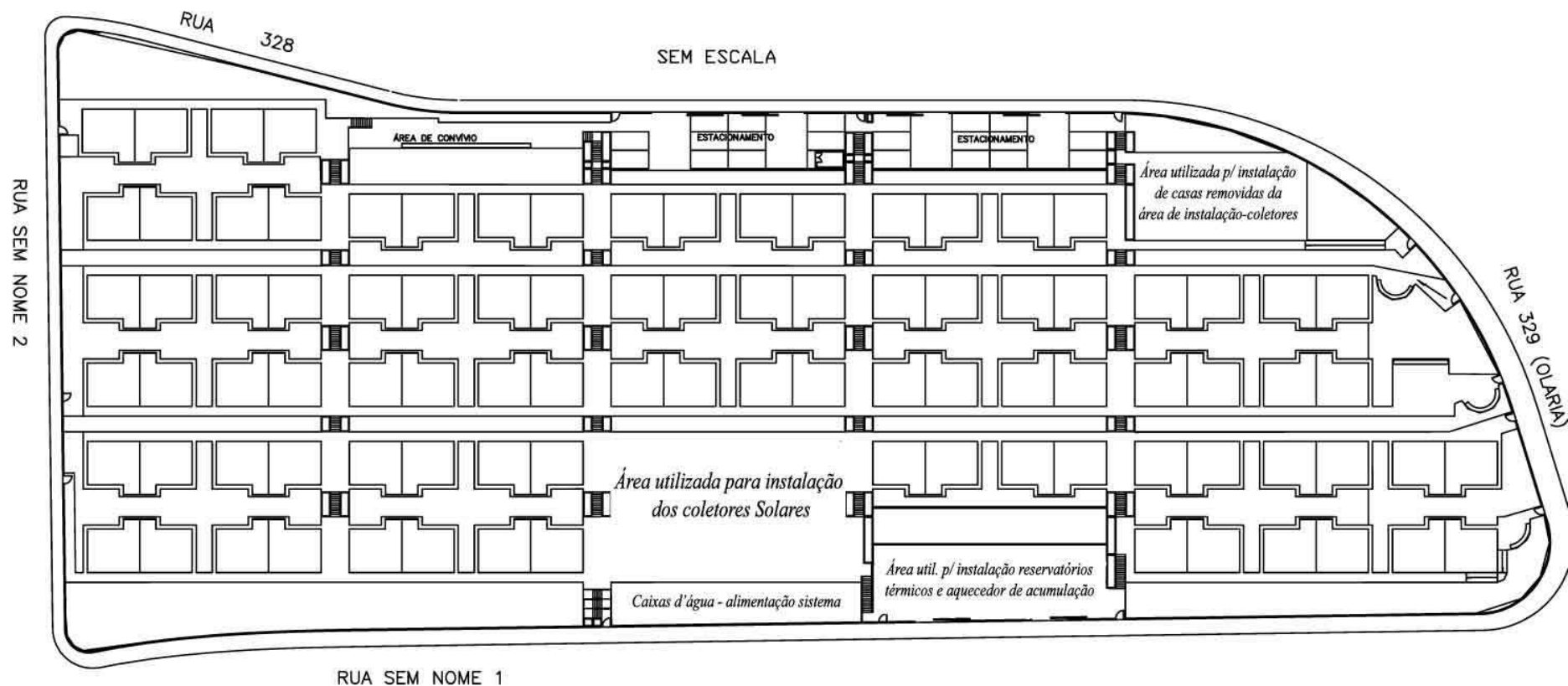


Figura 92 – Planta indicativa da proposição de implantação do sistema de aquecimento distrital.

A planta da Figura 94 mostra o posicionamento do sistema de aquecimento, dos reservatórios térmicos e o sistema de *backup*. A Figura 95 detalha o sistema de aquecimento.

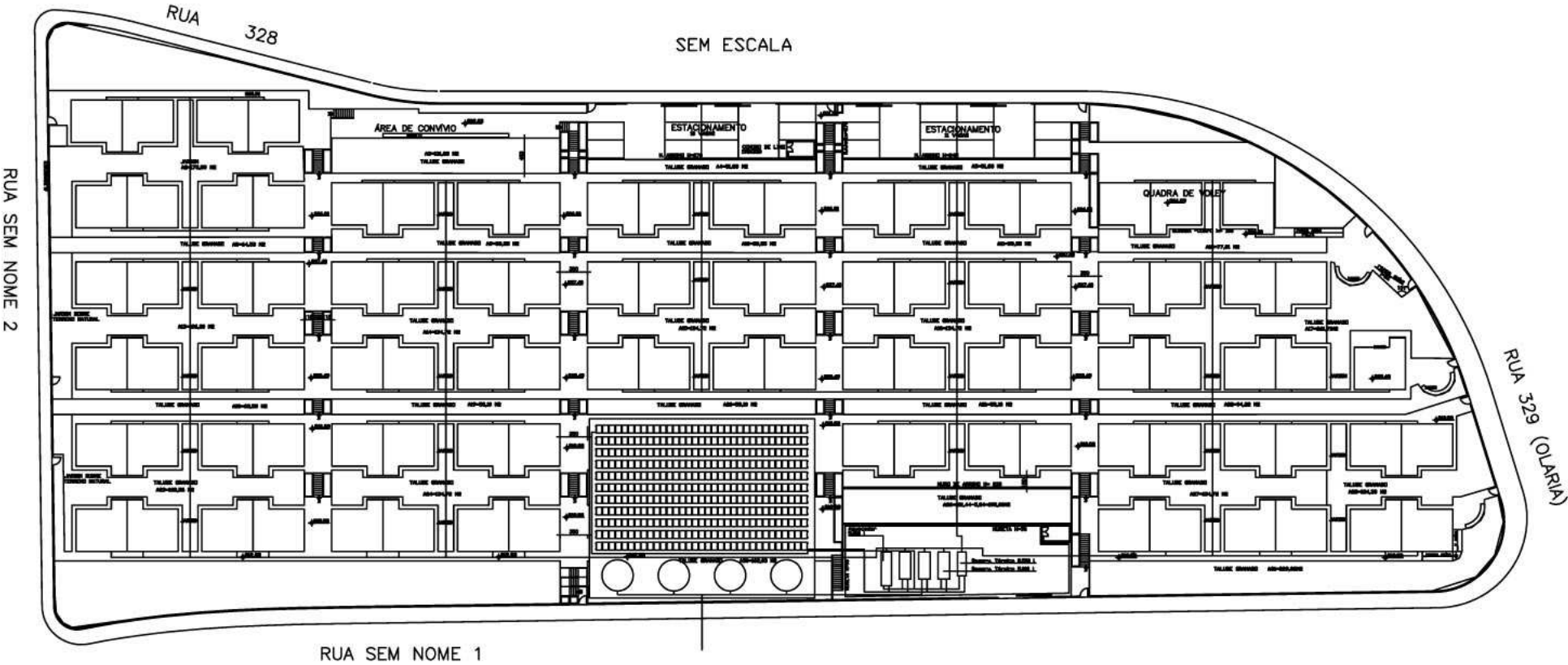


Figura 93 – Planta indicativa da proposição de implantação do sistema de aquecimento distrital.

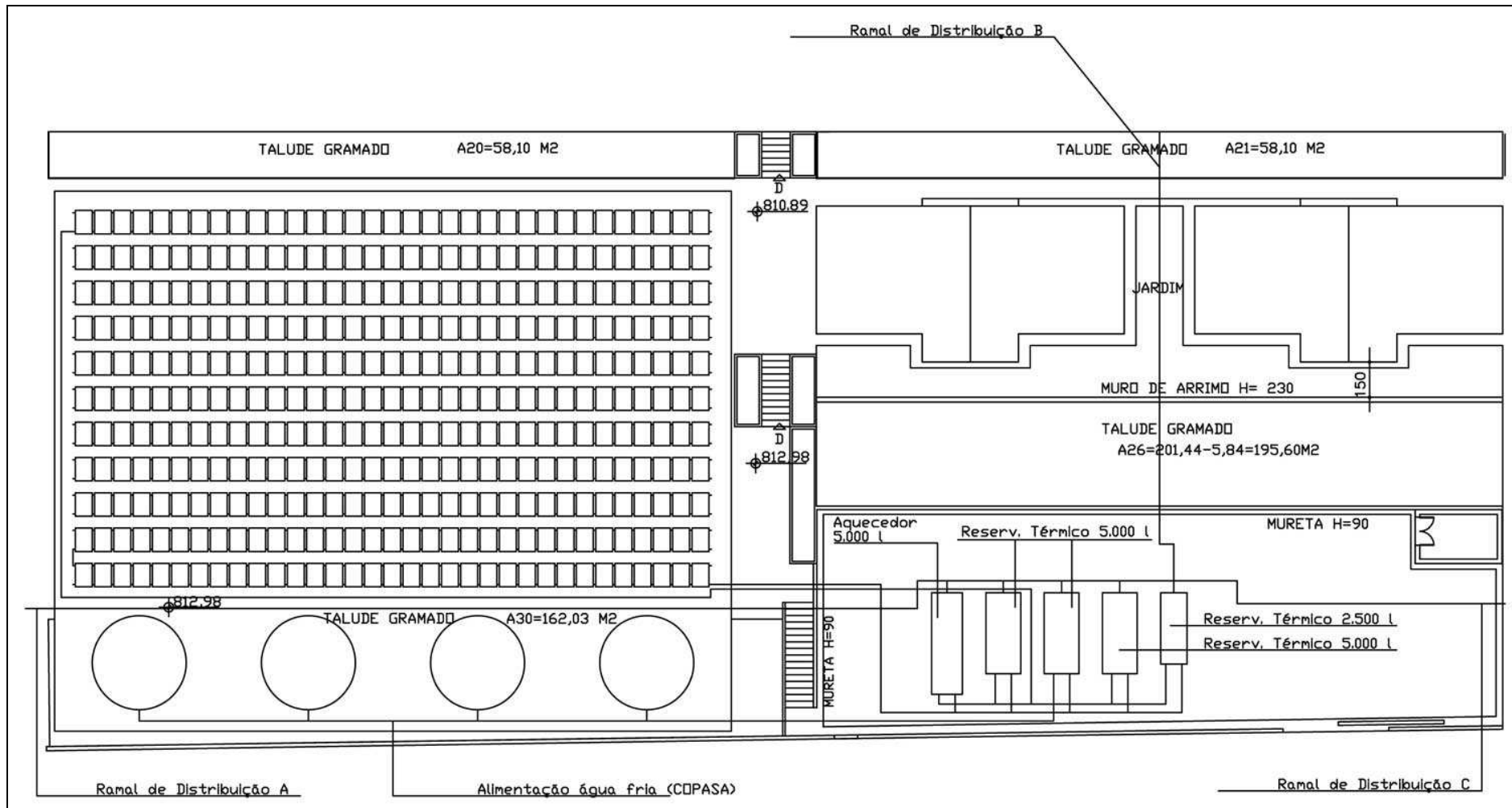


Figura 94 – Detalhamento do sistema de aquecimento.

A rede de distribuição foi dividida em ramais para que fosse possível determinar os comprimentos das tubulações para avaliar o custo com a tubulação de distribuição. A tubulação de água quente foi disposta desta maneira para acompanhar a rede de distribuição de água fria.

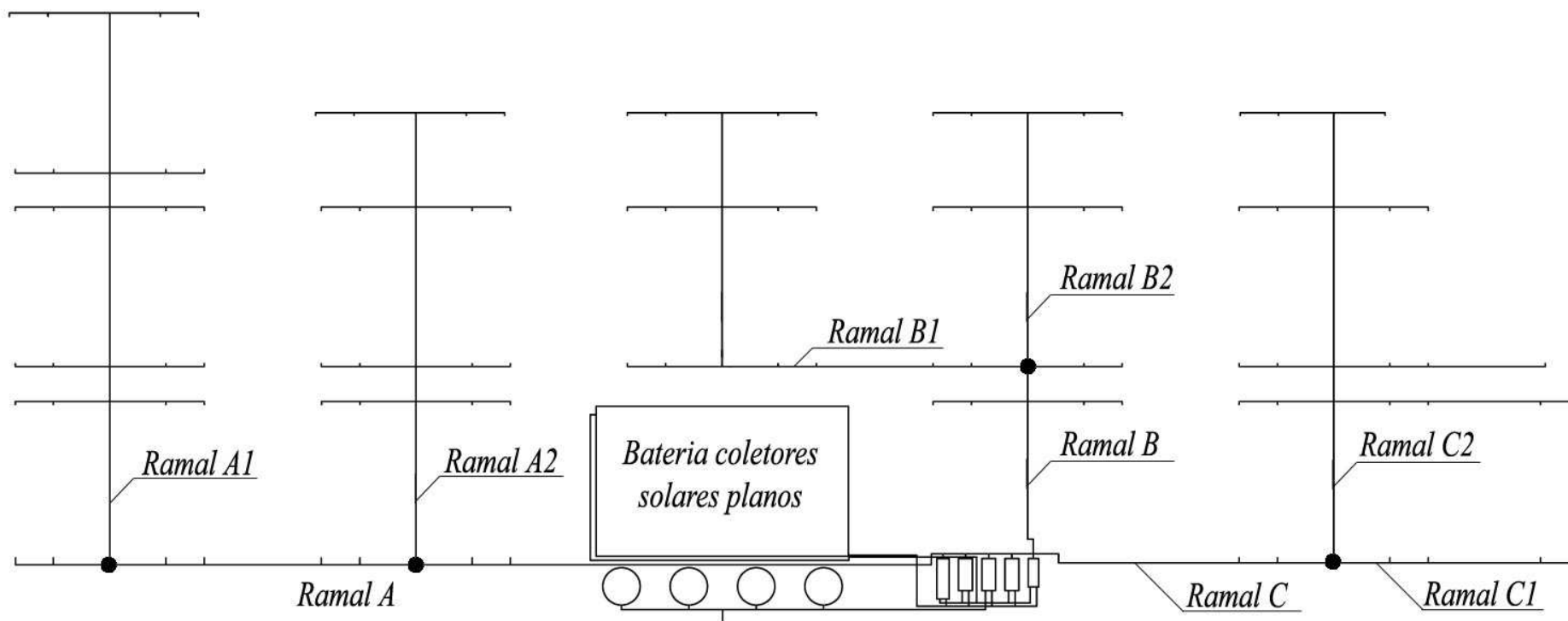


Figura 95 – Rede de distribuição de água quente.

Custos relativos à instalação do sistema de aquecimento solar + backup de apoio

| itens | Quantidade | Preço unitário | Desconto ? | Valor Desconto | Preço unitário com desconto | Preço Total | Fornecedor |
|---|------------|----------------|------------|----------------|-----------------------------|---------------|-------------------|
| Coletor Solar | 90 | R\$ 475,08 | Sim | 10,00% | R\$ 427,57 | R\$ 38.481,48 | Fabricante B |
| Área mínima para instalação solar [m ²] | 321,84 | R\$ 16,00 | Não | 93,00% | - | R\$ 5.149,44 | SMHB - Adriana |
| Reservatório Térmico 5000 L | 2 | R\$ 7.916,00 | Sim | 5,00% | R\$ 7.520,20 | R\$ 15.040,40 | Enalter |
| Reservatório Combustível | 0 | R\$ - | Não | 0,00% | - | R\$ - | |
| Mão de obra [h] | 30 | R\$ 30,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 900,00 | |
| Bomba | 2 | R\$ 1.200,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 2.400,00 | Grundfos - Dancor |
| Eletrônica | 2 | R\$ 800,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 1.600,00 | Kamstrup |
| Tubos e Conexões | 1 | R\$ 7.489,98 | Sim | 10,00% | R\$ 6.740,98 | R\$ 6.740,98 | Tigre |
| Caldeira - Lenha | 1 | R\$ 15.824,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 15.824,00 | Arauterm |
| Área necessária demais equipamentos [m ²] | 360 | R\$ 16,00 | Sim | 93,00% | R\$ 1,12 | R\$ 403,20 | SMHB - Adriana |
| Outros - Especificar. | 0 | R\$ - | Não | 0,00% | - | R\$ - | |
| Custo capital total do sistema de aquecimento solar + Caldeira - Lenha | | | | | | R\$ 86.539,50 | |
| Custo capital do sistema de aquecimento solar + Caldeira - Lenha por residência | | | | | | R\$ 865,40 | |

Tabela 39 – Custos relativos à instalação do sistema de aquecimento solar + caldeira a lenha como backup.

| itens | Quantidade | Preço unitário | Desconto ? | Valor Desconto | Preço unitário com desconto | Preço Total | Fornecedor |
|---|------------|----------------|------------|----------------|-----------------------------|---------------|-------------------|
| Caldeira - Lenha | 1 | R\$ 17.480,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 17.480,00 | Arauterm |
| Área necessária [m ²] | 450 | R\$ 16,00 | Sim | 93,00% | R\$ 1,12 | R\$ 504,00 | SMHB - Adriana |
| Reservatório Água Quente - 5000 litros | 2 | R\$ 7.916,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 15.832,00 | Enalter |
| Reservatório Combustível | 1 | R\$ 1.100,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 1.100,00 | Depósito lenha |
| Mão de obra [h] | 60 | R\$ 180,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 10.800,00 | Arauterm |
| Bomba | 2 | R\$ 1.200,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 2.400,00 | Grundfos - Dancor |
| Eletrônica | 2 | R\$ 800,00 | Não | 0,00% | - | R\$ 1.600,00 | Kamstrup |
| Tubos e Conexões | 1 | R\$ 7.489,98 | Sim | 10,00% | R\$ 6.740,98 | R\$ 6.740,98 | Tigre |
| Outros - Especificar. | 0 | R\$ - | Não | 0,00% | - | R\$ - | |
| Custo capital total do sistema de aquecimento convencional | | | | | | R\$ 56.456,98 | |
| Custo capital do sistema de aquecimento convencional por residência | | | | | | R\$ 564,57 | |

Tabela 40 – Custos relativos à instalação do sistema convencional.

As tabelas 39 e 40 contêm um custo estimado dos equipamentos e mão de obra necessárias nos dois casos. Observa-se que um dos itens de maior valor é a tubulação, deve-se procurar o caminho mínimo, isto é, as menores distâncias a serem percorridas pela tubulação de distribuição da água quente.

A seguir serão inseridas as tabelas 41 a 73 que permitirão a comparação entre o custo de utilização das tecnologias tratadas neste trabalho no quesito combustível utilizado.

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Diesel | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Elétrica | Economia | % |
|--------------|--------------------------------------|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.442,30 | R\$ 1.074,58 | R\$ 1.367,71 | 56,00% |
| Fevereiro | R\$ 2.192,67 | R\$ 856,35 | R\$ 1.336,32 | 60,94% |
| Março | R\$ 2.434,95 | R\$ 627,88 | R\$ 1.807,07 | 74,21% |
| Maió | R\$ 2.552,56 | R\$ 840,87 | R\$ 1.711,69 | 67,06% |
| Junho | R\$ 2.516,45 | R\$ 935,42 | R\$ 1.581,03 | 62,83% |
| Julho | R\$ 2.613,20 | R\$ 910,34 | R\$ 1.702,86 | 65,16% |
| Agosto | R\$ 2.554,39 | R\$ 798,28 | R\$ 1.756,11 | 68,75% |
| Setembro | R\$ 2.427,53 | R\$ 848,13 | R\$ 1.579,41 | 65,06% |
| Outubro | R\$ 2.475,37 | R\$ 1.001,09 | R\$ 1.474,28 | 59,56% |
| Novembro | R\$ 2.386,63 | R\$ 1.198,89 | R\$ 1.187,74 | 49,77% |
| Dezembro | R\$ 2.466,19 | R\$ 1.396,25 | R\$ 1.069,94 | 43,38% |
| Total | R\$ 29.464,88 | R\$ 11.072,99 | R\$ 16.574,15 | Média: 61% |

Tabela 41 – Gastos com combustível (solar +caldeira elétricoa x caldeira Diesel)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – GLP | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Elétrica | Economia | % |
|--------------|-----------------------------------|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 3.491,68 | R\$ 1.074,58 | R\$ 2.417,09 | 69,22% |
| Fevereiro | R\$ 3.134,79 | R\$ 856,35 | R\$ 2.278,44 | 72,68% |
| Março | R\$ 3.481,17 | R\$ 627,88 | R\$ 2.853,29 | 81,96% |
| Maió | R\$ 3.649,31 | R\$ 840,87 | R\$ 2.808,45 | 76,96% |
| Junho | R\$ 3.597,70 | R\$ 935,42 | R\$ 2.662,28 | 74,00% |
| Julho | R\$ 3.736,01 | R\$ 910,34 | R\$ 2.825,67 | 75,63% |
| Agosto | R\$ 3.651,94 | R\$ 798,28 | R\$ 2.853,66 | 78,14% |
| Setembro | R\$ 3.470,57 | R\$ 848,13 | R\$ 2.622,45 | 75,56% |
| Outubro | R\$ 3.538,97 | R\$ 1.001,09 | R\$ 2.537,87 | 71,71% |
| Novembro | R\$ 3.412,10 | R\$ 1.198,89 | R\$ 2.213,21 | 64,86% |
| Dezembro | R\$ 3.525,83 | R\$ 1.396,25 | R\$ 2.129,58 | 60,40% |
| Total | R\$ 42.125,04 | R\$ 11.072,99 | R\$ 28.201,97 | Média: 73% |

Tabela 42 – Gastos com combustível (solar + caldeira elétrica x caldeira a GLP)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Lenha | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Elétrica | Economia | % |
|--------------|-------------------------------------|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.222,51 | R\$ 1.074,58 | R\$ 147,93 | 12,10% |
| Fevereiro | R\$ 1.097,56 | R\$ 856,35 | R\$ 241,21 | 21,98% |
| Março | R\$ 1.218,83 | R\$ 627,88 | R\$ 590,95 | 48,49% |
| Maio | R\$ 1.277,70 | R\$ 840,87 | R\$ 436,84 | 34,19% |
| Junho | R\$ 1.259,63 | R\$ 935,42 | R\$ 324,21 | 25,74% |
| Julho | R\$ 1.308,06 | R\$ 910,34 | R\$ 397,72 | 30,40% |
| Agosto | R\$ 1.278,62 | R\$ 798,28 | R\$ 480,34 | 37,57% |
| Setembro | R\$ 1.215,12 | R\$ 848,13 | R\$ 367,00 | 30,20% |
| Outubro | R\$ 1.239,07 | R\$ 1.001,09 | R\$ 237,98 | 19,21% |
| Novembro | R\$ 1.194,65 | R\$ 1.198,89 | (R\$ 4,24) | -0,35% |
| Dezembro | R\$ 1.234,47 | R\$ 1.396,25 | (R\$ 161,78) | -13,11% |
| Total | R\$ 14.748,90 | R\$ 11.072,99 | R\$ 3.058,15 | Média: 22% |

Tabela 43 – Gastos com combustível (solar + caldeira elétrica x caldeira a lenha)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Elétrica | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Diesel | Economia | % |
|--------------|--|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.801,48 | R\$ 1.456,83 | R\$ 344,64 | 19,13% |
| Fevereiro | R\$ 1.617,35 | R\$ 1.160,97 | R\$ 456,38 | 28,22% |
| Março | R\$ 1.796,06 | R\$ 851,23 | R\$ 944,83 | 52,61% |
| Maio | R\$ 1.882,81 | R\$ 1.139,98 | R\$ 742,83 | 39,45% |
| Junho | R\$ 1.856,18 | R\$ 1.268,17 | R\$ 588,01 | 31,68% |
| Julho | R\$ 1.927,54 | R\$ 1.234,17 | R\$ 693,37 | 35,97% |
| Agosto | R\$ 1.884,16 | R\$ 1.082,25 | R\$ 801,91 | 42,56% |
| Setembro | R\$ 1.790,59 | R\$ 1.149,82 | R\$ 640,77 | 35,79% |
| Outubro | R\$ 1.825,88 | R\$ 1.357,20 | R\$ 468,68 | 25,67% |
| Novembro | R\$ 1.760,42 | R\$ 1.625,35 | R\$ 135,06 | 7,67% |
| Dezembro | R\$ 1.819,10 | R\$ 1.892,92 | (R\$ 73,82) | -4,06% |
| Total | R\$ 21.733,77 | R\$ 15.011,87 | R\$ 5.742,65 | Média: 29% |

Tabela 44 – Gastos com combustível (solar + caldeira a diesel x caldeira elétrica)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Diesel | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Diesel | Economia | % |
|--------------|--------------------------------------|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.442,30 | R\$ 1.456,83 | R\$ 985,46 | 40,35% |
| Fevereiro | R\$ 2.192,67 | R\$ 1.160,97 | R\$ 1.031,70 | 47,05% |
| Março | R\$ 2.434,95 | R\$ 851,23 | R\$ 1.583,72 | 65,04% |
| Maio | R\$ 2.552,56 | R\$ 1.139,98 | R\$ 1.412,58 | 55,34% |
| Junho | R\$ 2.516,45 | R\$ 1.268,17 | R\$ 1.248,29 | 49,60% |
| Julho | R\$ 2.613,20 | R\$ 1.234,17 | R\$ 1.379,03 | 52,77% |
| Agosto | R\$ 2.554,39 | R\$ 1.082,25 | R\$ 1.472,15 | 57,63% |
| Setembro | R\$ 2.427,53 | R\$ 1.149,82 | R\$ 1.277,71 | 52,63% |
| Outubro | R\$ 2.475,37 | R\$ 1.357,20 | R\$ 1.118,17 | 45,17% |
| Novembro | R\$ 2.386,63 | R\$ 1.625,35 | R\$ 761,28 | 31,90% |
| Dezembro | R\$ 2.466,19 | R\$ 1.892,92 | R\$ 573,26 | 23,24% |
| Total | R\$ 29.464,88 | R\$ 15.011,87 | R\$ 12.843,34 | Média: 47% |

Tabela 45 – Gastos com combustível (solar + caldeira a diesel x caldeira a óleo diesel)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Óleo Combustível | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Diesel | Economia | % |
|--------------|---|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.891,75 | R\$ 1.456,83 | R\$ 434,91 | 22,99% |
| Fevereiro | R\$ 1.698,39 | R\$ 1.160,97 | R\$ 537,42 | 31,64% |
| Março | R\$ 1.886,05 | R\$ 851,23 | R\$ 1.034,83 | 54,87% |
| Maio | R\$ 1.977,15 | R\$ 1.139,98 | R\$ 837,17 | 42,34% |
| Junho | R\$ 1.949,19 | R\$ 1.268,17 | R\$ 681,02 | 34,94% |
| Julho | R\$ 2.024,13 | R\$ 1.234,17 | R\$ 789,95 | 39,03% |
| Agosto | R\$ 1.978,58 | R\$ 1.082,25 | R\$ 896,33 | 45,30% |
| Setembro | R\$ 1.880,31 | R\$ 1.149,82 | R\$ 730,49 | 38,85% |
| Outubro | R\$ 1.917,37 | R\$ 1.357,20 | R\$ 560,17 | 29,22% |
| Novembro | R\$ 1.848,63 | R\$ 1.625,35 | R\$ 223,28 | 12,08% |
| Dezembro | R\$ 1.910,25 | R\$ 1.892,92 | R\$ 17,33 | 0,91% |
| Total | R\$ 22.822,83 | R\$ 15.011,87 | R\$ 6.742,90 | Média: 32% |

Tabela 46 – Gastos com combustível (solar + caldeira a diesel x caldeira a óleo combustível)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Gás Natural | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Diesel | Economia | % |
|--------------|---|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.280,96 | R\$ 1.456,83 | R\$ 824,13 | 36,13% |
| Fevereiro | R\$ 2.047,82 | R\$ 1.160,97 | R\$ 886,85 | 43,31% |
| Março | R\$ 2.274,10 | R\$ 851,23 | R\$ 1.422,87 | 62,57% |
| Maio | R\$ 2.383,94 | R\$ 1.139,98 | R\$ 1.243,96 | 52,18% |
| Junho | R\$ 2.350,22 | R\$ 1.268,17 | R\$ 1.082,05 | 46,04% |
| Julho | R\$ 2.440,58 | R\$ 1.234,17 | R\$ 1.206,41 | 49,43% |
| Agosto | R\$ 2.385,66 | R\$ 1.082,25 | R\$ 1.303,41 | 54,64% |
| Setembro | R\$ 2.267,18 | R\$ 1.149,82 | R\$ 1.117,35 | 49,28% |
| Outubro | R\$ 2.311,86 | R\$ 1.357,20 | R\$ 954,65 | 41,29% |
| Novembro | R\$ 2.228,98 | R\$ 1.625,35 | R\$ 603,62 | 27,08% |
| Dezembro | R\$ 2.303,27 | R\$ 1.892,92 | R\$ 410,35 | 17,82% |
| Total | R\$ 27.518,48 | R\$ 15.011,87 | R\$ 11.055,66 | Média: 44% |

Tabela 47 – Gastos com combustível (solar + caldeira a diesel x caldeira a gás natural)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – GLP | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Diesel | Economia | % |
|--------------|-----------------------------------|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 3.491,68 | R\$ 1.456,83 | R\$ 2.034,84 | 58,28% |
| Fevereiro | R\$ 3.134,79 | R\$ 1.160,97 | R\$ 1.973,82 | 62,96% |
| Março | R\$ 3.481,17 | R\$ 851,23 | R\$ 2.629,94 | 75,55% |
| Maio | R\$ 3.649,31 | R\$ 1.139,98 | R\$ 2.509,33 | 68,76% |
| Junho | R\$ 3.597,70 | R\$ 1.268,17 | R\$ 2.329,53 | 64,75% |
| Julho | R\$ 3.736,01 | R\$ 1.234,17 | R\$ 2.501,84 | 66,97% |
| Agosto | R\$ 3.651,94 | R\$ 1.082,25 | R\$ 2.569,69 | 70,37% |
| Setembro | R\$ 3.470,57 | R\$ 1.149,82 | R\$ 2.320,75 | 66,87% |
| Outubro | R\$ 3.538,97 | R\$ 1.357,20 | R\$ 2.181,77 | 61,65% |
| Novembro | R\$ 3.412,10 | R\$ 1.625,35 | R\$ 1.786,74 | 52,36% |
| Dezembro | R\$ 3.525,83 | R\$ 1.892,92 | R\$ 1.632,91 | 46,31% |
| Total | R\$ 42.125,04 | R\$ 15.011,87 | R\$ 24.471,16 | Média: 63% |

Tabela 48 – Gastos com combustível (solar + caldeira a diesel x caldeira a GLP)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Lenha | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Diesel | Economia | % |
|--------------|-------------------------------------|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.222,51 | R\$ 1.456,83 | (R\$ 234,32) | -19,17% |
| Fevereiro | R\$ 1.097,56 | R\$ 1.160,97 | (R\$ 63,41) | -5,78% |
| Março | R\$ 1.218,83 | R\$ 851,23 | R\$ 367,61 | 30,16% |
| Maio | R\$ 1.277,70 | R\$ 1.139,98 | R\$ 137,72 | 10,78% |
| Junho | R\$ 1.259,63 | R\$ 1.268,17 | (R\$ 8,54) | -0,68% |
| Julho | R\$ 1.308,06 | R\$ 1.234,17 | R\$ 73,89 | 5,65% |
| Agosto | R\$ 1.278,62 | R\$ 1.082,25 | R\$ 196,37 | 15,36% |
| Setembro | R\$ 1.215,12 | R\$ 1.149,82 | R\$ 65,30 | 5,37% |
| Outubro | R\$ 1.239,07 | R\$ 1.357,20 | (R\$ 118,13) | -9,53% |
| Novembro | R\$ 1.194,65 | R\$ 1.625,35 | (R\$ 430,71) | -36,05% |
| Dezembro | R\$ 1.234,47 | R\$ 1.892,92 | (R\$ 658,45) | -53,34% |
| Total | R\$ 14.748,90 | R\$ 15.011,87 | (R\$ 672,66) | Média: -5% |

Tabela 49 – Gastos com combustível (solar + caldeira a diesel x caldeira a lenha)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Elétrica | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Óleo Combustível | Economia | % |
|--------------|--|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.801,48 | R\$ 1.128,43 | R\$ 673,05 | 37,36% |
| Fevereiro | R\$ 1.617,35 | R\$ 899,26 | R\$ 718,09 | 44,40% |
| Março | R\$ 1.796,06 | R\$ 659,34 | R\$ 1.136,71 | 63,29% |
| Maio | R\$ 1.882,81 | R\$ 883,00 | R\$ 999,80 | 53,10% |
| Junho | R\$ 1.856,18 | R\$ 982,29 | R\$ 873,88 | 47,08% |
| Julho | R\$ 1.927,54 | R\$ 955,96 | R\$ 971,58 | 50,41% |
| Agosto | R\$ 1.884,16 | R\$ 838,29 | R\$ 1.045,88 | 55,51% |
| Setembro | R\$ 1.790,59 | R\$ 890,63 | R\$ 899,96 | 50,26% |
| Outubro | R\$ 1.825,88 | R\$ 1.051,26 | R\$ 774,62 | 42,42% |
| Novembro | R\$ 1.760,42 | R\$ 1.258,96 | R\$ 501,46 | 28,49% |
| Dezembro | R\$ 1.819,10 | R\$ 1.466,22 | R\$ 352,88 | 19,40% |
| Total | R\$ 21.733,77 | R\$ 11.627,85 | R\$ 8.947,91 | Média: 45% |

Tabela 50 – Gastos com combustível (solar + caldeira a óleo combustível x caldeira elétrica)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Diesel | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Óleo Combustível | Economia | % |
|--------------|--------------------------------------|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.442,30 | R\$ 1.128,43 | R\$ 1.313,87 | 53,80% |
| Fevereiro | R\$ 2.192,67 | R\$ 899,26 | R\$ 1.293,41 | 58,99% |
| Março | R\$ 2.434,95 | R\$ 659,34 | R\$ 1.775,60 | 72,92% |
| Maio | R\$ 2.552,56 | R\$ 883,00 | R\$ 1.669,55 | 65,41% |
| Junho | R\$ 2.516,45 | R\$ 982,29 | R\$ 1.534,16 | 60,97% |
| Julho | R\$ 2.613,20 | R\$ 955,96 | R\$ 1.657,24 | 63,42% |
| Agosto | R\$ 2.554,39 | R\$ 838,29 | R\$ 1.716,11 | 67,18% |
| Setembro | R\$ 2.427,53 | R\$ 890,63 | R\$ 1.536,91 | 63,31% |
| Outubro | R\$ 2.475,37 | R\$ 1.051,26 | R\$ 1.424,12 | 57,53% |
| Novembro | R\$ 2.386,63 | R\$ 1.258,96 | R\$ 1.127,67 | 47,25% |
| Dezembro | R\$ 2.466,19 | R\$ 1.466,22 | R\$ 999,97 | 40,55% |
| Total | R\$ 29.464,88 | R\$ 11.627,85 | R\$ 16.048,60 | Média: 59% |

Tabela 51 – Gastos com combustível (solar + caldeira a óleo combustível x caldeira a diesel)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Óleo Combustível | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Óleo Combustível | Economia | % |
|--------------|---|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.891,75 | R\$ 1.128,43 | R\$ 763,32 | 40,35% |
| Fevereiro | R\$ 1.698,39 | R\$ 899,26 | R\$ 799,13 | 47,05% |
| Março | R\$ 1.886,05 | R\$ 659,34 | R\$ 1.226,71 | 65,04% |
| Maio | R\$ 1.977,15 | R\$ 883,00 | R\$ 1.094,15 | 55,34% |
| Junho | R\$ 1.949,19 | R\$ 982,29 | R\$ 966,89 | 49,60% |
| Julho | R\$ 2.024,13 | R\$ 955,96 | R\$ 1.068,16 | 52,77% |
| Agosto | R\$ 1.978,58 | R\$ 838,29 | R\$ 1.140,29 | 57,63% |
| Setembro | R\$ 1.880,31 | R\$ 890,63 | R\$ 989,69 | 52,63% |
| Outubro | R\$ 1.917,37 | R\$ 1.051,26 | R\$ 866,11 | 45,17% |
| Novembro | R\$ 1.848,63 | R\$ 1.258,96 | R\$ 589,67 | 31,90% |
| Dezembro | R\$ 1.910,25 | R\$ 1.466,22 | R\$ 444,04 | 23,24% |
| Total | R\$ 22.822,83 | R\$ 11.627,85 | R\$ 9.948,16 | Média: 47% |

Tabela 52 – Gastos com combustível (solar + caldeira a óleo combustível x caldeira a óleo combustível)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Gás Natural | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Óleo Combustível | Economia | % |
|--------------|---|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.280,96 | R\$ 1.128,43 | R\$ 1.152,53 | 50,53% |
| Fevereiro | R\$ 2.047,82 | R\$ 899,26 | R\$ 1.148,56 | 56,09% |
| Março | R\$ 2.274,10 | R\$ 659,34 | R\$ 1.614,76 | 71,01% |
| Maio | R\$ 2.383,94 | R\$ 883,00 | R\$ 1.500,94 | 62,96% |
| Junho | R\$ 2.350,22 | R\$ 982,29 | R\$ 1.367,93 | 58,20% |
| Julho | R\$ 2.440,58 | R\$ 955,96 | R\$ 1.484,62 | 60,83% |
| Agosto | R\$ 2.385,66 | R\$ 838,29 | R\$ 1.547,37 | 64,86% |
| Setembro | R\$ 2.267,18 | R\$ 890,63 | R\$ 1.376,55 | 60,72% |
| Outubro | R\$ 2.311,86 | R\$ 1.051,26 | R\$ 1.260,60 | 54,53% |
| Novembro | R\$ 2.228,98 | R\$ 1.258,96 | R\$ 970,01 | 43,52% |
| Dezembro | R\$ 2.303,27 | R\$ 1.466,22 | R\$ 837,06 | 36,34% |
| Total | R\$ 27.518,48 | R\$ 11.627,85 | R\$ 14.260,92 | Média: 56% |

Tabela 53 – Gastos com combustível (solar + caldeira a óleo combustível x caldeira a gás natural)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – GLP | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Óleo Combustível | Economia | % |
|--------------|-----------------------------------|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 3.491,68 | R\$ 1.128,43 | R\$ 2.363,25 | 67,68% |
| Fevereiro | R\$ 3.134,79 | R\$ 899,26 | R\$ 2.235,53 | 71,31% |
| Março | R\$ 3.481,17 | R\$ 659,34 | R\$ 2.821,83 | 81,06% |
| Maio | R\$ 3.649,31 | R\$ 883,00 | R\$ 2.766,31 | 75,80% |
| Junho | R\$ 3.597,70 | R\$ 982,29 | R\$ 2.615,40 | 72,70% |
| Julho | R\$ 3.736,01 | R\$ 955,96 | R\$ 2.780,05 | 74,41% |
| Agosto | R\$ 3.651,94 | R\$ 838,29 | R\$ 2.813,65 | 77,05% |
| Setembro | R\$ 3.470,57 | R\$ 890,63 | R\$ 2.579,95 | 74,34% |
| Outubro | R\$ 3.538,97 | R\$ 1.051,26 | R\$ 2.487,71 | 70,29% |
| Novembro | R\$ 3.412,10 | R\$ 1.258,96 | R\$ 2.153,13 | 63,10% |
| Dezembro | R\$ 3.525,83 | R\$ 1.466,22 | R\$ 2.059,62 | 58,42% |
| Total | R\$ 42.125,04 | R\$ 11.627,85 | R\$ 27.676,42 | Média: 71% |

Tabela 54 – Gastos com combustível (solar + caldeira a óleo combustível x caldeira a GLP)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Lenha | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Óleo Combustível | Economia | % |
|--------------|-------------------------------------|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.222,51 | R\$ 1.128,43 | R\$ 94,08 | 7,70% |
| Fevereiro | R\$ 1.097,56 | R\$ 899,26 | R\$ 198,30 | 18,07% |
| Março | R\$ 1.218,83 | R\$ 659,34 | R\$ 559,49 | 45,90% |
| Maiο | R\$ 1.277,70 | R\$ 883,00 | R\$ 394,70 | 30,89% |
| Junho | R\$ 1.259,63 | R\$ 982,29 | R\$ 277,34 | 22,02% |
| Julho | R\$ 1.308,06 | R\$ 955,96 | R\$ 352,10 | 26,92% |
| Agosto | R\$ 1.278,62 | R\$ 838,29 | R\$ 440,34 | 34,44% |
| Setembro | R\$ 1.215,12 | R\$ 890,63 | R\$ 324,50 | 26,70% |
| Outubro | R\$ 1.239,07 | R\$ 1.051,26 | R\$ 187,81 | 15,16% |
| Novembro | R\$ 1.194,65 | R\$ 1.258,96 | (R\$ 64,31) | -5,38% |
| Dezembro | R\$ 1.234,47 | R\$ 1.466,22 | (R\$ 231,75) | -18,77% |
| Total | R\$ 14.748,90 | R\$ 11.627,85 | R\$ 2.532,60 | Média: 19% |

Tabela 55 – Gastos com combustível (solar + caldeira a óleo combustível x caldeira a lenha)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Elétrica | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Gás Natural | Economia | % |
|--------------|--|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.801,48 | R\$ 892,92 | R\$ 908,56 | 50,43% |
| Fevereiro | R\$ 1.617,35 | R\$ 711,58 | R\$ 905,77 | 56,00% |
| Março | R\$ 1.796,06 | R\$ 521,73 | R\$ 1.274,32 | 70,95% |
| Maiο | R\$ 1.882,81 | R\$ 698,71 | R\$ 1.184,09 | 62,89% |
| Junho | R\$ 1.856,18 | R\$ 777,28 | R\$ 1.078,89 | 58,12% |
| Julho | R\$ 1.927,54 | R\$ 756,44 | R\$ 1.171,09 | 60,76% |
| Agosto | R\$ 1.884,16 | R\$ 663,33 | R\$ 1.220,83 | 64,79% |
| Setembro | R\$ 1.790,59 | R\$ 704,75 | R\$ 1.085,84 | 60,64% |
| Outubro | R\$ 1.825,88 | R\$ 831,85 | R\$ 994,02 | 54,44% |
| Novembro | R\$ 1.760,42 | R\$ 996,21 | R\$ 764,21 | 43,41% |
| Dezembro | R\$ 1.819,10 | R\$ 1.160,21 | R\$ 658,89 | 36,22% |
| Total | R\$ 21.733,77 | R\$ 9.201,03 | R\$ 11.246,54 | Média: 56% |

Tabela 56 – Gastos com combustível (solar + caldeira a gás natural x caldeira elétrica)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Diesel | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Gás Natural | Economia | % |
|--------------|--------------------------------------|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.442,30 | R\$ 892,92 | R\$ 1.549,38 | 63,44% |
| Fevereiro | R\$ 2.192,67 | R\$ 711,58 | R\$ 1.481,09 | 67,55% |
| Março | R\$ 2.434,95 | R\$ 521,73 | R\$ 1.913,21 | 78,57% |
| Maiο | R\$ 2.552,56 | R\$ 698,71 | R\$ 1.853,84 | 72,63% |
| Junho | R\$ 2.516,45 | R\$ 777,28 | R\$ 1.739,17 | 69,11% |
| Julho | R\$ 2.613,20 | R\$ 756,44 | R\$ 1.856,76 | 71,05% |
| Agosto | R\$ 2.554,39 | R\$ 663,33 | R\$ 1.891,07 | 74,03% |
| Setembro | R\$ 2.427,53 | R\$ 704,75 | R\$ 1.722,79 | 70,97% |
| Outubro | R\$ 2.475,37 | R\$ 831,85 | R\$ 1.643,52 | 66,39% |
| Novembro | R\$ 2.386,63 | R\$ 996,21 | R\$ 1.390,42 | 58,26% |
| Dezembro | R\$ 2.466,19 | R\$ 1.160,21 | R\$ 1.305,98 | 52,96% |
| Total | R\$ 29.464,88 | R\$ 9.201,03 | R\$ 18.347,23 | Média: 68% |

Tabela 57 – Gastos com combustível (solar + caldeira a gás natural x caldeira a diesel)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Óleo Combustível | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Gás Natural | Economia | % |
|--------------|---|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.891,75 | R\$ 892,92 | R\$ 998,83 | 52,80% |
| Fevereiro | R\$ 1.698,39 | R\$ 711,58 | R\$ 986,81 | 58,10% |
| Março | R\$ 1.886,05 | R\$ 521,73 | R\$ 1.364,32 | 72,34% |
| Maio | R\$ 1.977,15 | R\$ 698,71 | R\$ 1.278,44 | 64,66% |
| Junho | R\$ 1.949,19 | R\$ 777,28 | R\$ 1.171,91 | 60,12% |
| Julho | R\$ 2.024,13 | R\$ 756,44 | R\$ 1.267,68 | 62,63% |
| Agosto | R\$ 1.978,58 | R\$ 663,33 | R\$ 1.315,25 | 66,47% |
| Setembro | R\$ 1.880,31 | R\$ 704,75 | R\$ 1.175,57 | 62,52% |
| Outubro | R\$ 1.917,37 | R\$ 831,85 | R\$ 1.085,52 | 56,61% |
| Novembro | R\$ 1.848,63 | R\$ 996,21 | R\$ 852,42 | 46,11% |
| Dezembro | R\$ 1.910,25 | R\$ 1.160,21 | R\$ 750,05 | 39,26% |
| Total | R\$ 22.822,83 | R\$ 9.201,03 | R\$ 12.246,79 | Média: 58% |

Tabela 58 – Gastos com combustível (solar + caldeira a gás natural x caldeira a óleo combustível)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Gás Natural | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Gás Natural | Economia | % |
|--------------|---|--|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.496,93 | R\$ 892,92 | R\$ 604,01 | 40,35% |
| Fevereiro | R\$ 1.343,92 | R\$ 711,58 | R\$ 632,35 | 47,05% |
| Março | R\$ 1.492,42 | R\$ 521,73 | R\$ 970,69 | 65,04% |
| Maio | R\$ 1.564,51 | R\$ 698,71 | R\$ 865,79 | 55,34% |
| Junho | R\$ 1.542,38 | R\$ 777,28 | R\$ 765,10 | 49,60% |
| Julho | R\$ 1.601,68 | R\$ 756,44 | R\$ 845,23 | 52,77% |
| Agosto | R\$ 1.565,63 | R\$ 663,33 | R\$ 902,30 | 57,63% |
| Setembro | R\$ 1.487,88 | R\$ 704,75 | R\$ 783,13 | 52,63% |
| Outubro | R\$ 1.517,20 | R\$ 831,85 | R\$ 685,35 | 45,17% |
| Novembro | R\$ 1.462,81 | R\$ 996,21 | R\$ 466,60 | 31,90% |
| Dezembro | R\$ 1.511,57 | R\$ 1.160,21 | R\$ 351,36 | 23,24% |
| Total | R\$ 18.059,54 | R\$ 9.201,03 | R\$ 7.871,91 | Média: 47% |

Tabela 59 – Gastos com combustível (solar + caldeira a gás natural x caldeira a gás natural)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – GLP | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Gás Natural | Economia | % |
|--------------|-----------------------------------|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 3.491,68 | R\$ 892,92 | R\$ 2.598,76 | 74,43% |
| Fevereiro | R\$ 3.134,79 | R\$ 711,58 | R\$ 2.423,21 | 77,30% |
| Março | R\$ 3.481,17 | R\$ 521,73 | R\$ 2.959,44 | 85,01% |
| Maio | R\$ 3.649,31 | R\$ 698,71 | R\$ 2.950,60 | 80,85% |
| Junho | R\$ 3.597,70 | R\$ 777,28 | R\$ 2.820,42 | 78,40% |
| Julho | R\$ 3.736,01 | R\$ 756,44 | R\$ 2.979,57 | 79,75% |
| Agosto | R\$ 3.651,94 | R\$ 663,33 | R\$ 2.988,61 | 81,84% |
| Setembro | R\$ 3.470,57 | R\$ 704,75 | R\$ 2.765,83 | 79,69% |
| Outubro | R\$ 3.538,97 | R\$ 831,85 | R\$ 2.707,12 | 76,49% |
| Novembro | R\$ 3.412,10 | R\$ 996,21 | R\$ 2.415,89 | 70,80% |
| Dezembro | R\$ 3.525,83 | R\$ 1.160,21 | R\$ 2.365,63 | 67,09% |
| Total | R\$ 42.125,04 | R\$ 9.201,03 | R\$ 29.975,05 | Média: 77% |

Tabela 60 – Gastos com combustível (solar + caldeira a gás natural x caldeira a GLP)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Lenha | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Gás Natural | Economia | % |
|--------------|-------------------------------------|--|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.222,51 | R\$ 892,92 | R\$ 329,59 | 26,96% |
| Fevereiro | R\$ 1.097,56 | R\$ 711,58 | R\$ 385,98 | 35,17% |
| Março | R\$ 1.218,83 | R\$ 521,73 | R\$ 697,10 | 57,19% |
| Maio | R\$ 1.277,70 | R\$ 698,71 | R\$ 578,99 | 45,31% |
| Junho | R\$ 1.259,63 | R\$ 777,28 | R\$ 482,35 | 38,29% |
| Julho | R\$ 1.308,06 | R\$ 756,44 | R\$ 551,62 | 42,17% |
| Agosto | R\$ 1.278,62 | R\$ 663,33 | R\$ 615,29 | 48,12% |
| Setembro | R\$ 1.215,12 | R\$ 704,75 | R\$ 510,38 | 42,00% |
| Outubro | R\$ 1.239,07 | R\$ 831,85 | R\$ 407,22 | 32,86% |
| Novembro | R\$ 1.194,65 | R\$ 996,21 | R\$ 198,44 | 16,61% |
| Dezembro | R\$ 1.234,47 | R\$ 1.160,21 | R\$ 74,27 | 6,02% |
| Total | R\$ 14.748,90 | R\$ 9.201,03 | R\$ 4.831,23 | Média: 36% |

Tabela 61 – Gastos com combustível (solar + caldeira a gás natural x caldeira a lenha)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Elétrica | Consumo mensal: Solar + Caldeira – GLP | Economia | % |
|--------------|--|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.801,48 | R\$ 2.082,79 | (R\$ 281,31) | -15,62% |
| Fevereiro | R\$ 1.617,35 | R\$ 1.659,80 | (R\$ 42,46) | -2,63% |
| Março | R\$ 1.796,06 | R\$ 1.216,97 | R\$ 579,08 | 32,24% |
| Maio | R\$ 1.882,81 | R\$ 1.629,79 | R\$ 253,01 | 13,44% |
| Junho | R\$ 1.856,18 | R\$ 1.813,06 | R\$ 43,12 | 2,32% |
| Julho | R\$ 1.927,54 | R\$ 1.764,46 | R\$ 163,08 | 8,46% |
| Agosto | R\$ 1.884,16 | R\$ 1.547,26 | R\$ 336,90 | 17,88% |
| Setembro | R\$ 1.790,59 | R\$ 1.643,87 | R\$ 146,72 | 8,19% |
| Outubro | R\$ 1.825,88 | R\$ 1.940,35 | (R\$ 114,47) | -6,27% |
| Novembro | R\$ 1.760,42 | R\$ 2.323,72 | (R\$ 563,30) | -32,00% |
| Dezembro | R\$ 1.819,10 | R\$ 2.706,26 | (R\$ 887,16) | -48,77% |
| Total | R\$ 21.733,77 | R\$ 21.462,01 | (R\$ 366,78) | Média: -2% |

Tabela 62 – Gastos com combustível (solar + caldeira a GLP x caldeira elétrica)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Diesel | Consumo mensal: Solar + Caldeira – GLP | Economia | % |
|--------------|--------------------------------------|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.442,30 | R\$ 2.082,79 | R\$ 359,50 | 14,72% |
| Fevereiro | R\$ 2.192,67 | R\$ 1.659,80 | R\$ 532,86 | 24,30% |
| Março | R\$ 2.434,95 | R\$ 1.216,97 | R\$ 1.217,97 | 50,02% |
| Maio | R\$ 2.552,56 | R\$ 1.629,79 | R\$ 922,76 | 36,15% |
| Junho | R\$ 2.516,45 | R\$ 1.813,06 | R\$ 703,39 | 27,95% |
| Julho | R\$ 2.613,20 | R\$ 1.764,46 | R\$ 848,74 | 32,48% |
| Agosto | R\$ 2.554,39 | R\$ 1.547,26 | R\$ 1.007,14 | 39,43% |
| Setembro | R\$ 2.427,53 | R\$ 1.643,87 | R\$ 783,67 | 32,28% |
| Outubro | R\$ 2.475,37 | R\$ 1.940,35 | R\$ 535,03 | 21,61% |
| Novembro | R\$ 2.386,63 | R\$ 2.323,72 | R\$ 62,91 | 2,64% |
| Dezembro | R\$ 2.466,19 | R\$ 2.706,26 | (R\$ 240,07) | -9,73% |
| Total | R\$ 29.464,88 | R\$ 21.462,01 | R\$ 6.733,91 | Média: 25% |

Tabela 63 – Gastos com combustível (solar + caldeira a GLP x caldeira a diesel)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Óleo Combustível | Consumo mensal: Solar + Caldeira – GLP | Economia | % |
|--------------|---|---|-------------------|-----------|
| Janeiro | R\$ 1.891,75 | R\$ 2.082,79 | (R\$ 191,04) | -10,10% |
| Fevereiro | R\$ 1.698,39 | R\$ 1.659,80 | R\$ 38,59 | 2,27% |
| Março | R\$ 1.886,05 | R\$ 1.216,97 | R\$ 669,08 | 35,48% |
| Maio | R\$ 1.977,15 | R\$ 1.629,79 | R\$ 347,36 | 17,57% |
| Junho | R\$ 1.949,19 | R\$ 1.813,06 | R\$ 136,13 | 6,98% |
| Julho | R\$ 2.024,13 | R\$ 1.764,46 | R\$ 259,67 | 12,83% |
| Agosto | R\$ 1.978,58 | R\$ 1.547,26 | R\$ 431,32 | 21,80% |
| Setembro | R\$ 1.880,31 | R\$ 1.643,87 | R\$ 236,45 | 12,57% |
| Outubro | R\$ 1.917,37 | R\$ 1.940,35 | (R\$ 22,98) | -1,20% |
| Novembro | R\$ 1.848,63 | R\$ 2.323,72 | (R\$ 475,09) | -25,70% |
| Dezembro | R\$ 1.910,25 | R\$ 2.706,26 | (R\$ 796,00) | -41,67% |
| Total | R\$ 22.822,83 | R\$ 21.462,01 | R\$ 633,47 | Média: 3% |

Tabela 64 – Gastos com combustível (solar + caldeira a GLP x caldeira a óleo combustível)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Gás Natural | Consumo mensal: Solar + Caldeira – GLP | Economia | % |
|--------------|---|---|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.280,96 | R\$ 2.082,79 | R\$ 198,17 | 8,69% |
| Fevereiro | R\$ 2.047,82 | R\$ 1.659,80 | R\$ 388,02 | 18,95% |
| Março | R\$ 2.274,10 | R\$ 1.216,97 | R\$ 1.057,12 | 46,49% |
| Maio | R\$ 2.383,94 | R\$ 1.629,79 | R\$ 754,15 | 31,63% |
| Junho | R\$ 2.350,22 | R\$ 1.813,06 | R\$ 537,16 | 22,86% |
| Julho | R\$ 2.440,58 | R\$ 1.764,46 | R\$ 676,12 | 27,70% |
| Agosto | R\$ 2.385,66 | R\$ 1.547,26 | R\$ 838,40 | 35,14% |
| Setembro | R\$ 2.267,18 | R\$ 1.643,87 | R\$ 623,31 | 27,49% |
| Outubro | R\$ 2.311,86 | R\$ 1.940,35 | R\$ 371,51 | 16,07% |
| Novembro | R\$ 2.228,98 | R\$ 2.323,72 | (R\$ 94,74) | -4,25% |
| Dezembro | R\$ 2.303,27 | R\$ 2.706,26 | (R\$ 402,98) | -17,50% |
| Total | R\$ 27.518,48 | R\$ 21.462,01 | R\$ 4.946,23 | Média: 19% |

Tabela 65 – Gastos com combustível (solar + caldeira a GLP x caldeira gás natural)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – GLP | Consumo mensal: Solar + Caldeira – GLP | Economia | % |
|--------------|-----------------------------------|---|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 3.491,68 | R\$ 2.082,79 | R\$ 1.408,89 | 40,35% |
| Fevereiro | R\$ 3.134,79 | R\$ 1.659,80 | R\$ 1.474,99 | 47,05% |
| Março | R\$ 3.481,17 | R\$ 1.216,97 | R\$ 2.264,19 | 65,04% |
| Maio | R\$ 3.649,31 | R\$ 1.629,79 | R\$ 2.019,52 | 55,34% |
| Junho | R\$ 3.597,70 | R\$ 1.813,06 | R\$ 1.784,64 | 49,60% |
| Julho | R\$ 3.736,01 | R\$ 1.764,46 | R\$ 1.971,56 | 52,77% |
| Agosto | R\$ 3.651,94 | R\$ 1.547,26 | R\$ 2.104,68 | 57,63% |
| Setembro | R\$ 3.470,57 | R\$ 1.643,87 | R\$ 1.826,71 | 52,63% |
| Outubro | R\$ 3.538,97 | R\$ 1.940,35 | R\$ 1.598,62 | 45,17% |
| Novembro | R\$ 3.412,10 | R\$ 2.323,72 | R\$ 1.088,38 | 31,90% |
| Dezembro | R\$ 3.525,83 | R\$ 2.706,26 | R\$ 819,58 | 23,24% |
| Total | R\$ 42.125,04 | R\$ 21.462,01 | R\$ 18.361,73 | Média: 47% |

Tabela 66 – Gastos com combustível (solar + caldeira a GLP x caldeira a GLP)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Lenha | Consumo mensal: Solar + Caldeira – GLP | Economia | % |
|--------------|-------------------------------------|---|-----------------------|-------------|
| Janeiro | R\$ 1.222,51 | R\$ 2.082,79 | (R\$ 860,28) | -70,37% |
| Fevereiro | R\$ 1.097,56 | R\$ 1.659,80 | (R\$ 562,24) | -51,23% |
| Março | R\$ 1.218,83 | R\$ 1.216,97 | R\$ 1,86 | 0,15% |
| Maiο | R\$ 1.277,70 | R\$ 1.629,79 | (R\$ 352,09) | -27,56% |
| Junho | R\$ 1.259,63 | R\$ 1.813,06 | (R\$ 553,43) | -43,94% |
| Julho | R\$ 1.308,06 | R\$ 1.764,46 | (R\$ 456,40) | -34,89% |
| Agosto | R\$ 1.278,62 | R\$ 1.547,26 | (R\$ 268,63) | -21,01% |
| Setembro | R\$ 1.215,12 | R\$ 1.643,87 | (R\$ 428,74) | -35,28% |
| Outubro | R\$ 1.239,07 | R\$ 1.940,35 | (R\$ 701,28) | -56,60% |
| Novembro | R\$ 1.194,65 | R\$ 2.323,72 | (R\$ 1.129,07) | -94,51% |
| Dezembro | R\$ 1.234,47 | R\$ 2.706,26 | (R\$ 1.471,78) | -119,22% |
| Total | R\$ 14.748,90 | R\$ 21.462,01 | (R\$ 6.782,09) | Média: -50% |

Tabela 67 – Gastos com combustível (solar + caldeira a GLP x caldeira a lenha)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Elétrica | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Lenha | Economia | % |
|--------------|--|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.801,48 | R\$ 729,23 | R\$ 1.072,25 | 59,52% |
| Fevereiro | R\$ 1.617,35 | R\$ 581,13 | R\$ 1.036,21 | 64,07% |
| Março | R\$ 1.796,06 | R\$ 426,09 | R\$ 1.369,97 | 76,28% |
| Maiο | R\$ 1.882,81 | R\$ 570,63 | R\$ 1.312,18 | 69,69% |
| Junho | R\$ 1.856,18 | R\$ 634,79 | R\$ 1.221,38 | 65,80% |
| Julho | R\$ 1.927,54 | R\$ 617,77 | R\$ 1.309,76 | 67,95% |
| Agosto | R\$ 1.884,16 | R\$ 541,73 | R\$ 1.342,43 | 71,25% |
| Setembro | R\$ 1.790,59 | R\$ 575,55 | R\$ 1.215,04 | 67,86% |
| Outubro | R\$ 1.825,88 | R\$ 679,36 | R\$ 1.146,52 | 62,79% |
| Novembro | R\$ 1.760,42 | R\$ 813,59 | R\$ 946,83 | 53,78% |
| Dezembro | R\$ 1.819,10 | R\$ 947,52 | R\$ 871,58 | 47,91% |
| Total | R\$ 21.733,77 | R\$ 7.514,32 | R\$ 12.844,15 | Média: 64% |

Tabela 68 – Gastos com combustível (solar + caldeira a lenha x caldeira elétrica)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Diesel | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Lenha | Economia | % |
|--------------|--------------------------------------|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.442,30 | R\$ 729,23 | R\$ 1.713,07 | 70,14% |
| Fevereiro | R\$ 2.192,67 | R\$ 581,13 | R\$ 1.611,53 | 73,50% |
| Março | R\$ 2.434,95 | R\$ 426,09 | R\$ 2.008,86 | 82,50% |
| Maiο | R\$ 2.552,56 | R\$ 570,63 | R\$ 1.981,93 | 77,64% |
| Junho | R\$ 2.516,45 | R\$ 634,79 | R\$ 1.881,66 | 74,77% |
| Julho | R\$ 2.613,20 | R\$ 617,77 | R\$ 1.995,42 | 76,36% |
| Agosto | R\$ 2.554,39 | R\$ 541,73 | R\$ 2.012,67 | 78,79% |
| Setembro | R\$ 2.427,53 | R\$ 575,55 | R\$ 1.851,98 | 76,29% |
| Outubro | R\$ 2.475,37 | R\$ 679,36 | R\$ 1.796,02 | 72,56% |
| Novembro | R\$ 2.386,63 | R\$ 813,59 | R\$ 1.573,05 | 65,91% |
| Dezembro | R\$ 2.466,19 | R\$ 947,52 | R\$ 1.518,67 | 61,58% |
| Total | R\$ 29.464,88 | R\$ 7.514,32 | R\$ 19.944,85 | Média: 74% |

Tabela 69 — Gastos com combustível (solar + caldeira a lenha x caldeira a diesel)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Óleo Combustível | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Lenha | Economia | % |
|--------------|---|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.891,75 | R\$ 729,23 | R\$ 1.162,52 | 61,45% |
| Fevereiro | R\$ 1.698,39 | R\$ 581,13 | R\$ 1.117,26 | 65,78% |
| Março | R\$ 1.886,05 | R\$ 426,09 | R\$ 1.459,97 | 77,41% |
| Maio | R\$ 1.977,15 | R\$ 570,63 | R\$ 1.406,53 | 71,14% |
| Junho | R\$ 1.949,19 | R\$ 634,79 | R\$ 1.314,40 | 67,43% |
| Julho | R\$ 2.024,13 | R\$ 617,77 | R\$ 1.406,35 | 69,48% |
| Agosto | R\$ 1.978,58 | R\$ 541,73 | R\$ 1.436,85 | 72,62% |
| Setembro | R\$ 1.880,31 | R\$ 575,55 | R\$ 1.304,76 | 69,39% |
| Outubro | R\$ 1.917,37 | R\$ 679,36 | R\$ 1.238,01 | 64,57% |
| Novembro | R\$ 1.848,63 | R\$ 813,59 | R\$ 1.035,05 | 55,99% |
| Dezembro | R\$ 1.910,25 | R\$ 947,52 | R\$ 962,73 | 50,40% |
| Total | R\$ 22.822,83 | R\$ 7.514,32 | R\$ 13.844,41 | Média: 66% |

Tabela 70 – Gastos com combustível (solar + caldeira a lenha x caldeira óleo combustível)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Gás Natural | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Lenha | Economia | % |
|--------------|---|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 2.280,96 | R\$ 729,23 | R\$ 1.551,73 | 68,03% |
| Fevereiro | R\$ 2.047,82 | R\$ 581,13 | R\$ 1.466,69 | 71,62% |
| Março | R\$ 2.274,10 | R\$ 426,09 | R\$ 1.848,01 | 81,26% |
| Maio | R\$ 2.383,94 | R\$ 570,63 | R\$ 1.813,31 | 76,06% |
| Junho | R\$ 2.350,22 | R\$ 634,79 | R\$ 1.715,43 | 72,99% |
| Julho | R\$ 2.440,58 | R\$ 617,77 | R\$ 1.822,80 | 74,69% |
| Agosto | R\$ 2.385,66 | R\$ 541,73 | R\$ 1.843,93 | 77,29% |
| Setembro | R\$ 2.267,18 | R\$ 575,55 | R\$ 1.691,62 | 74,61% |
| Outubro | R\$ 2.311,86 | R\$ 679,36 | R\$ 1.632,50 | 70,61% |
| Novembro | R\$ 2.228,98 | R\$ 813,59 | R\$ 1.415,39 | 63,50% |
| Dezembro | R\$ 2.303,27 | R\$ 947,52 | R\$ 1.355,76 | 58,86% |
| Total | R\$ 27.518,48 | R\$ 7.514,32 | R\$ 18.157,17 | Média: 72% |

Tabela 71 – Gastos com combustível (solar + caldeira a lenha x caldeira a gás natural)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – GLP | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Lenha | Economia | % |
|--------------|-----------------------------------|--|----------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 3.491,68 | R\$ 729,23 | R\$ 2.762,45 | 79,12% |
| Fevereiro | R\$ 3.134,79 | R\$ 581,13 | R\$ 2.553,66 | 81,46% |
| Março | R\$ 3.481,17 | R\$ 426,09 | R\$ 3.055,08 | 87,76% |
| Maio | R\$ 3.649,31 | R\$ 570,63 | R\$ 3.078,69 | 84,36% |
| Junho | R\$ 3.597,70 | R\$ 634,79 | R\$ 2.962,91 | 82,36% |
| Julho | R\$ 3.736,01 | R\$ 617,77 | R\$ 3.118,24 | 83,46% |
| Agosto | R\$ 3.651,94 | R\$ 541,73 | R\$ 3.110,21 | 85,17% |
| Setembro | R\$ 3.470,57 | R\$ 575,55 | R\$ 2.895,02 | 83,42% |
| Outubro | R\$ 3.538,97 | R\$ 679,36 | R\$ 2.859,61 | 80,80% |
| Novembro | R\$ 3.412,10 | R\$ 813,59 | R\$ 2.598,51 | 76,16% |
| Dezembro | R\$ 3.525,83 | R\$ 947,52 | R\$ 2.578,31 | 73,13% |
| Total | R\$ 42.125,04 | R\$ 7.514,32 | R\$ 31.572,67 | Média: 82% |

Tabela 72 – Gastos com combustível (solar + caldeira a lenha x caldeira a GLP)

| Mês | Consumo mensal: Caldeira – Lenha | Consumo mensal: Solar + Caldeira – Lenha | Economia | % |
|--------------|-------------------------------------|--|---------------------|------------|
| Janeiro | R\$ 1.222,51 | R\$ 729,23 | R\$ 493,28 | 40,35% |
| Fevereiro | R\$ 1.097,56 | R\$ 581,13 | R\$ 516,42 | 47,05% |
| Março | R\$ 1.218,83 | R\$ 426,09 | R\$ 792,74 | 65,04% |
| Maio | R\$ 1.277,70 | R\$ 570,63 | R\$ 707,08 | 55,34% |
| Junho | R\$ 1.259,63 | R\$ 634,79 | R\$ 624,84 | 49,60% |
| Julho | R\$ 1.308,06 | R\$ 617,77 | R\$ 690,28 | 52,77% |
| Agosto | R\$ 1.278,62 | R\$ 541,73 | R\$ 736,89 | 57,63% |
| Setembro | R\$ 1.215,12 | R\$ 575,55 | R\$ 639,57 | 52,63% |
| Outubro | R\$ 1.239,07 | R\$ 679,36 | R\$ 559,71 | 45,17% |
| Novembro | R\$ 1.194,65 | R\$ 813,59 | R\$ 381,06 | 31,90% |
| Dezembro | R\$ 1.234,47 | R\$ 947,52 | R\$ 286,95 | 23,24% |
| Total | R\$ 14.748,90 | R\$ 7.514,32 | R\$ 6.428,85 | Média: 47% |

Tabela 73 – Gastos com combustível (solar + caldeira a lenha x caldeira a lenha)

ANEXO A– TABELAS E ÁBACOS HIDRÁULICOS

Os abacos e tabelas mostrados nesta seção servem de base para o cálculo do número de Reynolds e do cálculo da perda de carga na tubulação. Maiores informações e outros métodos de cálculo de perda de carga podem ser vistos em Macintyre (1997).

ÁBACO DE MOODY

O ábaco de Moody apresenta nas abscissas o número de Reynolds e nas ordenadas, à esquerda, o coeficiente de atrito f , ambos em escalas logarítmicas. Para $Re < 2.000$ utiliza-se a reta de Poiseuille que se encontra na faixa A, para Re entre 2.000 e 4.000, tem-se o regime instável ou crítico de transição do laminar ao turbulento. Utiliza-se para determinação de f a porção da reta de Poiseuille que se encontra na faixa B. para valores de $Re > 4.000$ tem-se regime turbulento e curvas representando tubos lisos e ásperos. A partir da curva E, para direita, vê-se que f não mais depende de Re e sim da rugosidade relativa.

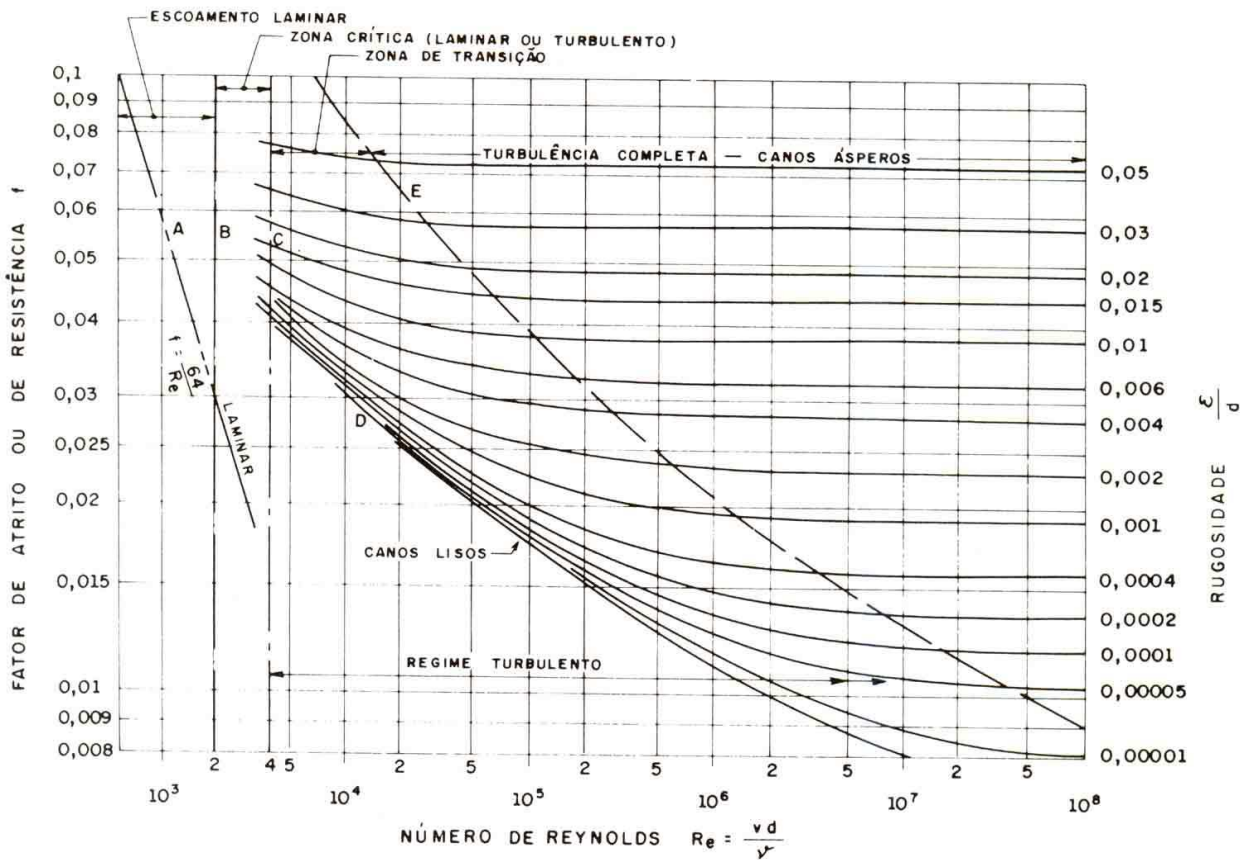


Figura 96 – Diagrama de Moody utilizado para determinação do coeficiente de perda de carga f

Fonte: Macintyre (1997)

ÁBACO DE HUNTER-ROUSE

É utilizado para se determinar o coeficiente de perda de carga f (Figura 98).

O número de Reynolds está localizado no eixo superior das abscissas em escala logarítmica. As curvas são traçadas para valores de D/ϵ de 20 a infinito.

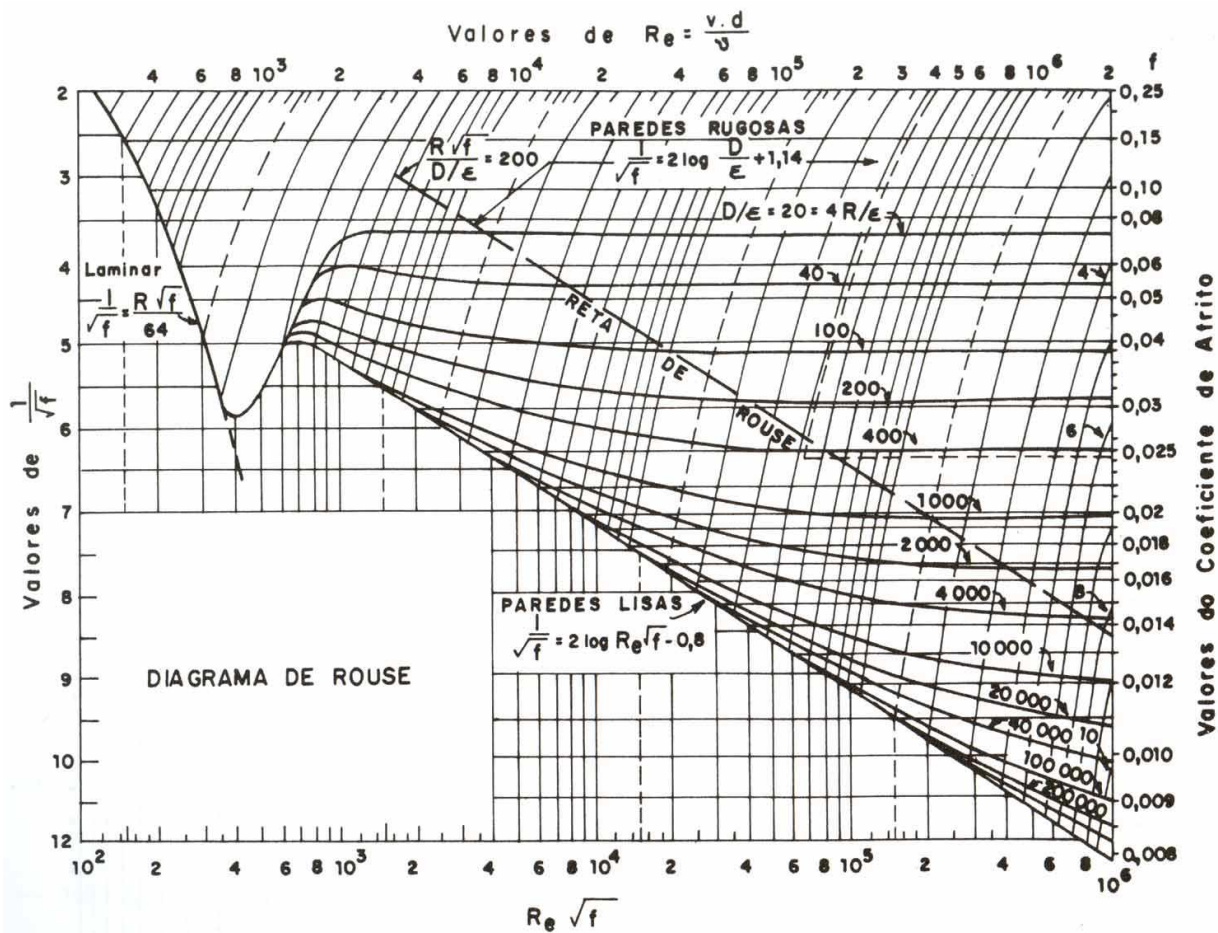


Figura 97 – Diagrama de Rouse utilizado para determinação do coeficiente de perda de carga f

Fonte: Macintyre (1997)

ÁBACO DA CRANE CORPORATION

Para determinação do comprimento equivalente liga-se por uma reta o ponto do eixo A da peça a ser utilizada, com o diâmetro indicado no eixo B, obtendo-se então no eixo C o comprimento equivalente em metros.

Exemplo: Válvula de gaveta toda aberta de 3'' (75mm). Ligando-se os pontos a e b obtém-se em c o valor de 0,52 m

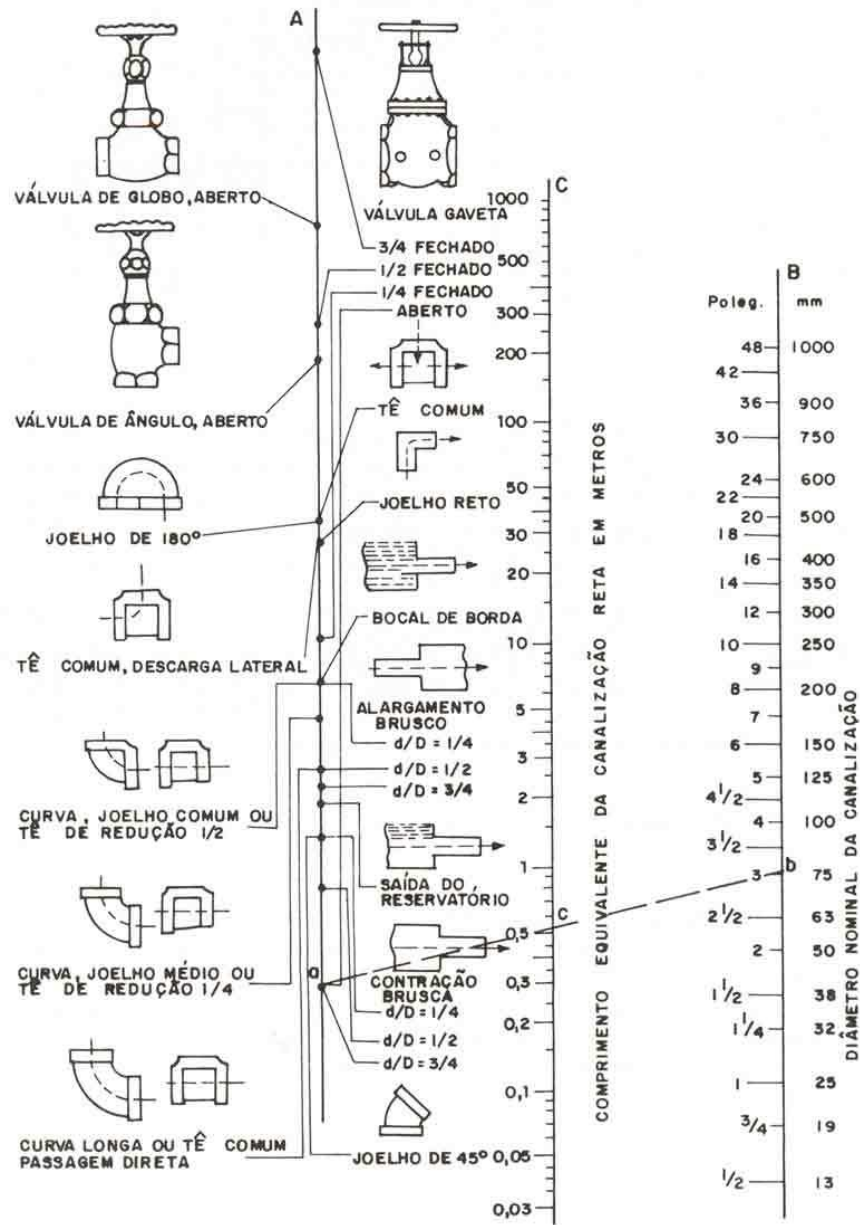


Figura 98 – Perdas de carga localizadas.

Fonte: Macintyre (1997)

TABELAS DE COMPRIMENTO EQUIVALENTE

Para cálculo da perda de carga localizada utilizando-se destas tabelas, deve-se selecionar a peça em questão na tabela apropriada. (Tabelas 74 e 75)

| DIÂMETRO NOMINAL D mm (ref) pol | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| 13 | 1/2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 4,9 | 2,6 | 0,3 | 1,0 | 1,0 | 3,6 | 0,4 | 1,1 | 1,6 |
| 19 | 3/4 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 6,7 | 3,6 | 0,4 | 1,4 | 1,4 | 5,6 | 0,5 | 1,6 | 2,4 |
| 25 | 1 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,7 | 0,2 | 8,2 | 4,6 | 0,5 | 1,7 | 1,7 | 7,3 | 0,7 | 2,1 | 3,2 |
| 32 | 1 1/4 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 0,9 | 0,2 | 11,3 | 5,6 | 0,7 | 2,3 | 2,3 | 10,0 | 0,9 | 2,7 | 4,0 |
| 38 | 1 1/2 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 0,3 | 13,4 | 6,7 | 0,9 | 2,8 | 2,8 | 11,6 | 1,0 | 3,2 | 4,8 |
| 50 | 2 | 1,1 | 1,4 | 1,7 | 0,8 | 0,6 | 0,9 | 0,4 | 0,7 | 1,5 | 0,4 | 17,4 | 8,5 | 1,1 | 3,5 | 3,5 | 14,0 | 1,5 | 4,2 | 6,4 |
| 63 | 2 1/2 | 1,3 | 1,7 | 2,0 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 0,5 | 0,9 | 1,9 | 0,4 | 21,0 | 10,0 | 1,3 | 4,3 | 4,3 | 17,0 | 1,9 | 5,2 | 8,1 |
| 75 | 3 | 1,6 | 2,1 | 2,5 | 1,2 | 1,0 | 1,3 | 0,6 | 1,1 | 2,2 | 0,5 | 26,0 | 13,0 | 1,6 | 5,2 | 5,2 | 20,0 | 2,2 | 6,3 | 9,7 |
| 100 | 4 | 2,1 | 2,8 | 3,4 | 1,5 | 1,3 | 1,6 | 0,7 | 1,6 | 3,2 | 0,7 | 34,0 | 17,0 | 2,1 | 6,7 | 6,7 | 23,0 | 3,2 | 8,4 | 12,9 |
| 125 | 5 | 2,7 | 3,7 | 4,2 | 1,9 | 1,6 | 2,1 | 0,9 | 2,0 | 4,0 | 0,9 | 43,0 | 21,0 | 2,7 | 8,4 | 8,4 | 30,0 | 4,0 | 10,4 | 16,1 |
| 150 | 6 | 3,4 | 4,3 | 4,9 | 2,3 | 1,9 | 2,5 | 1,1 | 2,5 | 5,0 | 1,1 | 51,0 | 26,0 | 3,4 | 10,0 | 10,0 | 39,0 | 5,0 | 12,5 | 19,3 |
| 200 | 8 | 4,3 | 5,5 | 6,4 | 3,0 | 2,4 | 3,3 | 1,5 | 3,5 | 6,0 | 1,4 | 67,0 | 34,0 | 4,3 | 13,0 | 13,0 | 52,0 | 6,0 | 16,0 | 25,0 |
| 250 | 10 | 5,5 | 6,7 | 7,9 | 3,8 | 3,0 | 4,1 | 1,8 | 4,5 | 7,5 | 1,7 | 85,0 | 43,0 | 5,5 | 16,0 | 16,0 | 65,0 | 7,5 | 20,0 | 32,0 |
| 300 | 12 | 6,1 | 7,9 | 9,5 | 4,6 | 3,6 | 4,8 | 2,2 | 5,5 | 9,0 | 2,1 | 102,0 | 51,0 | 6,1 | 19,0 | 19,0 | 78,0 | 9,0 | 24,0 | 38,0 |
| 350 | 14 | 7,3 | 9,5 | 10,5 | 5,3 | 4,4 | 5,4 | 2,5 | 6,2 | 11,0 | 2,4 | 120,0 | 60,0 | 7,3 | 22,0 | 22,0 | 90,0 | 11,0 | 28,0 | 45,0 |

OS VALORES INDICADOS PARA REGISTROS DE GLOBO APLICAM-SE TAMBÉM ÀS TORNEIRAS, VÁLVULAS PARA CHUVEIROS E VÁLVULAS DE DESCARGA.

Tabela 74 – Comprimentos equivalentes para tubulação de ferro galvanizado retilínea em metros.

Fonte: Macintyre (1997).

| DIÂMETRO NOMINAL DN mm (-) | (Ref) | JOELHO 90° | JOELHO 45° | CURVA 90° | CURVA 45° | TÊ 90° PASSAGEM DIRETA | TÊ 90° SAÍDA DE LADO | TÊ 90° SAÍDA BILATERAL | ENTRADA NORMAL | ENTRADA DE BORDA | SAÍDA DE CANALIZ | VÁLVULA DE PE E CRIVO | VALV. TIPO LEVE | RETENÇÃO TIPO PESADO | REGISTRO GLOBO ABERTO | REGISTRO GAVETA ABERTO | REGISTRO ÂNGULO ABERTO |
|----------------------------------|---------|------------|------------|-----------|-----------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | (1/2) | 1,1 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,7 | 2,3 | 2,3 | 0,3 | 0,9 | 0,8 | 8,1 | 2,5 | 3,6 | 11,1 | 0,1 | 5,9 |
| 20 | (3/4) | 1,2 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,8 | 2,4 | 2,4 | 0,4 | 1,0 | 0,9 | 9,5 | 2,7 | 4,1 | 11,4 | 0,2 | 6,1 |
| 25 | (1) | 1,5 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | 0,9 | 3,1 | 3,1 | 0,5 | 1,2 | 1,3 | 13,3 | 3,8 | 5,8 | 15,0 | 0,3 | 8,4 |
| 32 | (1 1/4) | 2,0 | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 1,5 | 4,6 | 4,6 | 0,6 | 1,8 | 1,4 | 15,5 | 4,9 | 7,4 | 22,0 | 0,4 | 10,5 |
| 40 | (1 1/2) | 3,2 | 1,3 | 1,2 | 0,6 | 2,2 | 7,3 | 7,3 | 1,0 | 2,3 | 3,2 | 18,3 | 6,6 | 9,1 | 35,8 | 0,7 | 17,0 |
| 50 | (2) | 3,4 | 1,5 | 1,3 | 0,7 | 2,3 | 7,6 | 7,6 | 1,5 | 2,8 | 3,3 | 23,7 | 7,1 | 10,8 | 37,9 | 0,8 | 18,5 |
| 60 | (2 1/2) | 3,7 | 1,7 | 1,4 | 0,8 | 2,4 | 7,8 | 7,8 | 1,6 | 3,3 | 3,5 | 25,0 | 8,2 | 12,5 | 38,0 | 0,9 | 19,0 |
| 75 | (3) | 3,9 | 1,8 | 1,5 | 0,9 | 2,5 | 8,0 | 8,0 | 2,0 | 3,7 | 3,7 | 26,8 | 9,3 | 14,2 | 40,0 | 0,9 | 20,0 |
| 100 | (4) | 4,3 | 1,9 | 1,6 | 1,0 | 2,6 | 8,3 | 8,3 | 2,2 | 4,0 | 3,9 | 28,6 | 10,4 | 16,0 | 42,3 | 1,0 | 22,1 |
| 125 | (5) | 4,9 | 2,4 | 1,9 | 1,1 | 3,3 | 10,0 | 10,0 | 2,5 | 5,0 | 4,9 | 37,4 | 12,5 | 19,2 | 50,9 | 1,1 | 26,2 |
| 150 | (6) | 5,4 | 2,6 | 2,1 | 1,2 | 3,8 | 11,1 | 11,1 | 2,8 | 5,6 | 5,5 | 43,4 | 13,9 | 21,4 | 56,7 | 1,2 | 28,9 |

Tabela 75 – Comprimentos equivalentes para tubulação de PVC rígido ou cobre em metros.

Fonte: Macintyre (1997).

De acordo com Macintyre (1997), para cada peça que se considera, a perda de carga que nela ocorre pode ser expressa em unidades de comprimento de tubo de igual diâmetro. Dividindo esse comprimento pelo diâmetro em questão tem-se o número de diâmetros que somados dão o comprimento equivalente. Isto é,

$$\frac{L}{d} = N^{\circ} \text{ de diâmetros} \quad (b.1)$$

Utilizando-se dos valores listados na Tabela 76 e multiplicando-se o valor do número de diâmetros pelo valor do diâmetro, obtém-se o comprimento equivalente. Este processo é utilizado em softwares devido à sua facilidade.

| Tipo de peça | Número de diâmetro (L/d) |
|--------------------------|---------------------------------|
| Cotovelo 90° | 45 |
| Cotovelo 45° | 20 |
| Curva longa 90° | 30 |
| Curva longa 45° | 15 |
| Alargamento gradual | 12 |
| Entrada em tubo | 17 |
| Redução gradual | 0,6 |
| Registro gaveta aberto | 8 |
| Registro de globo aberto | 350 |
| Saída de tubulação | 35 |
| Tê em saída lateral | 65 |
| Tê passagem direta | 20 |
| Válvula de retenção | 100 |
| Válvula de pé com crivo | 250 |

Tabela 76 –Tabela com valores L/D.

Fonte: Macintyre (1997).

ANEXO B – DADOS RELATIVOS AOS SUPRIMENTOS DE ENERGIA.

Neste anexo serão listados os dados utilizados nos cálculos e características pertinentes a este estudo. Os dados referentes aos preços dos combustíveis foram coletados entre os dias 1 e 30 de novembro de 2004 na Gasmig, Petrobras, Cemig e posteriormente atualizados para novembro de 2005. Qualquer cálculo posterior que venha a ser feito deve-se ter a preocupação de atualizar estes valores. A atualização destes valores na planilha é feita alterando-se os valores das colunas C e E da guia 09–Combustíveis. A Tabela 77 lista também valores de PCI.

| Combustível | PCI | | | | Preço | |
|------------------|----------|---------------------|--------|-------------------|----------|----------------|
| | Valor | Unidade | Valor | Unidade | Valor | Unidade |
| Óleo Diesel | 11.615 | kcal/l | 48.630 | kJ/l | R\$ 1,72 | Litro |
| Óleo Combustível | 9.590 | kcal/kg | 40.151 | kJ/kg | R\$ 1,10 | kg |
| Lenha | 3.100 | kcal/m ³ | 12.979 | kJ/m ³ | R\$ 1,30 | m ³ |
| Gás Natural | 9.365 | kcal/m ³ | 39.209 | kJ/m ³ | R\$ – | m ³ |
| GLP | 11.100 | kcal/kg | 46.473 | kJ/kg | R\$ 2,35 | kg |
| Combustível | Potência | | | | Preço | |
| | Valor | Unidade | Valor | Unidade | Valor | Unidade |
| Eletricidade | – | W | – | W | R\$ – | kWh |

Tabela 77 – PCI dos combustíveis e o seu preço por unidade. (15/01/2005)

Os combustíveis que não tiveram seus preços listados acima estão com suas tarifas ligadas ao volume de consumo do energético. Os valores estão nas Tabelas 78 e 89 a seguir.

| nº | Faixas | Classe Social | | | | |
|----|------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | | A | B | C | D | E |
| | | [R\$] | [R\$] | [R\$] | [R\$] | [R\$] |
| 1 | Até 30 KWh | 0,4102 | 0,4102 | 0,4102 | 0,1565 | 0,1565 |
| 2 | De 31 a 90 KWh | 0,4102 | 0,4102 | 0,4102 | 0,1565 | 0,1565 |
| 3 | De 91 a 100 KWh | 0,6016 | 0,6016 | 0,6016 | 0,3385 | 0,3385 |
| 4 | De 101 a 180 kWh | 0,6016 | 0,6016 | 0,6016 | 0,5077 | 0,5077 |
| 5 | ACIMA DE 180 KWh | 0,6016 | 0,6016 | 0,6016 | 0,5642 | 0,5642 |

Tabela 78 – Tarifas de energia elétrica praticadas em Minas Gerais em função do consumo e dos consumidores residenciais e residenciais de baixa renda. (15/01/2005)

| nº | Faixas | [R\$] |
|----|-------------------------------|-------|
| 1 | Até 1 a 250 m ³ | 1,30 |
| 2 | De 251 a 1000 m ³ | 0,85 |
| 3 | De 1001 a 2500 m ³ | 0,83 |
| 4 | De 2501 a 5000 m ³ | 0,75 |
| 5 | Acima de 5001 m ³ | 0,74 |

Tabela 79 – Valor do Gás Natural em função do Consumo – Fonte Gasmig (15/01/2005)

Propriedades dos gases combustíveis.

Os gases liquefeitos do petróleo são comercializados sob diversas denominações, de acordo com suas composições Pera (1990):

1. GLP propriamente dito, distribuído em larga escala, é composto por uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos (propano, n-butano e iso-butano) e olefínicos (propeno, n-butenos e iso-butenos), nas mais variadas proporções. Pode ocorrer também a presença de traços de etano, eteno, iso-pentano e butadieno-1,3.
2. Propano especial, de distribuição restrita, composto basicamente por propano (mínimo 90 %), propeno (máximo 5 %), butanos e butenos, também com a presença de traços dos hidrocarbonetos mais próximos, como no GLP.
3. Propano comercial, cuja composição apresenta, preferencialmente, propano e ou propeno.
4. Butano comercial, destinado a aplicações especiais como em aerossóis e isqueiros a gás. Sua composição contém predominantemente butanos e ou butenos, de forma que sua pressão de vapor não ultrapasse 5 kgf/cm² a 37,8°C.
5. Propileno (ou propeno) grau químico (95%) ou grau polímero (99,8%) que, além de sua utilização como matéria prima, é também usado em pequena escala como gás para oxi-corte e aplicações afins.

O gás natural distribuído para consumo, após seu processamento nas Unidades de Processamento de Gás Natural - UPGN, é uma mistura composta basicamente por metano (cerca de 90 %), etano (de 5 a 8 %), propano e traços de hidrocarbonetos mais pesados. Além disso, apresenta gases inertes como nitrogênio, gás carbônico e, às vezes, hélio. A composição do gás natural também apresenta algumas variações, de acordo com a sua origem e o seu processamento. A tabela 80 lista a composição volumétrica dos gases naturais.

| Componente | GN de Campos | GN de Santos | GN da Bolívia |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|
| Metano | 89,35 | 88,32 | 91,80 |
| Etano | 8,03 | 6,06 | 5,58 |
| Propano | 0,78 | 3,07 | 0,97 |
| Iso-Butano | 0,04 | 0,44 | 0,03 |
| N-Butano | 0,03 | 0,70 | 0,02 |
| Pentano | 0,01 | 0,27 | 0,10 |
| Hexano e superiores | – | 0,08 | – |
| Dióxido de carbono | 0,48 | 0,16 | 0,80 |
| Nitrogênio | 1,28 | 0,68 | 1,42 |

Tabela 80 – Composição volumétrica dos gases naturais em %.

Fonte: Krona Acessível em <http://www.krona.srv.br/>

Poder Calorífico.

O poder calorífico superior (PCS) de um gás combustível é o calor total obtido da queima de uma determinada quantidade unitária do gás com a correspondente quantidade de ar estequiométrico, ambos a 15,6°C antes da queima, calor esse liberado até que os produtos da combustão sejam resfriados a 15,6°C. Assim, a água gerada pela queima do hidrogênio presente no combustível estará no estado líquido. Pera (1990)

O poder calorífico inferior (PCI) de um gás combustível é obtido pelo seguinte cálculo: poder calorífico superior menos o calor latente de vaporização da água formada pela combustão do hidrogênio presente no combustível. A tabela 81 apresenta os poderes caloríficos dos gases combustíveis.

| GÁS | kcal/Nm ³ | | kcal/kg | | kJ/kg | |
|------------------------|----------------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| | PCS | PCI | PCS | PCI | PCS | PCI |
| Hidrogênio | 3.050 | 2.570 | 33.889 | 28.555 | 141.886 | 119.554 |
| Metano | 9.530 | 8.570 | 13.284 | 11.946 | 55.617 | 50.016 |
| Etano | 16.700 | 15.300 | 12.400 | 11.350 | 51.916 | 47.520 |
| Eteno ou etileno | 15.100 | 14.200 | 12.020 | 11.270 | 50.325 | 47.185 |
| Gás natural de Campos | 10.060 | 9.090 | 16.206 | 14.642 | 67.851 | 61.303 |
| Gás natural de Santos | 10.687 | 9.672 | 15.955 | 14.440 | 66.800 | 60.457 |
| Gás natural da Bolívia | 9.958 | 8.993 | 16.494 | 14.896 | 69.057 | 62.367 |
| Propano | 24.200 | 22.250 | 12.030 | 11.080 | 50.367 | 46.390 |
| Propeno ou propileno | 22.400 | 20.900 | 11.700 | 10.940 | 48.986 | 45.804 |
| n-Butano | 31.900 | 29.400 | 11.830 | 10.930 | 49.530 | 45.762 |
| iso-Butano | 31.700 | 29.200 | 11.810 | 10.900 | 49.446 | 45.636 |
| Buteno-1 | 29.900 | 27.900 | 11.580 | 10.830 | 48.483 | 45.343 |
| iso-Pentano (líquido) | – | – | 11.600 | 10.730 | 48.567 | 44.924 |
| GLP (médio) | 28.000 | 25.775 | 11.920 | 10.997 | 49.907 | 46.042 |
| Acetileno | 13.980 | 13.490 | 11.932 | 11.514 | 49.957 | 48.207 |
| Monóxido de carbono | 3.014 | 3.014 | 2.411 | 2.411 | 10.094 | 10.094 |

Tabela 81 – Poderes caloríficos dos gases combustíveis.

Fonte: Krona Acessível em <http://www.krona.srv.br/>

Densidade.

A densidade de um gás combustível é uma característica importante sob o ponto de vista da segurança, além de participar de muitos cálculos como dimensionamento de tubulações, vazões e fatores de correção.

Os gases com densidades superiores à do ar atmosférico, no caso de vazamento ou drenagem, apresentam a tendência de se acumularem temporariamente em partes baixas, como solos e rebaixos no piso ou nas edificações, infiltrando-se ainda em aberturas como bocas de lobo, valetas, poços e galerias subterrâneas.

Já os gases mais leves do que o ar, ao serem liberados na atmosfera, tendem a subir e se acumular temporariamente em partes elevadas como abóbadas e ou se infiltrarem em aberturas superiores nas edificações.

O acúmulo de gases combustíveis em ambientes confinados ou mal ventilados pode causar um acidente desde que ocorra uma condição de ignição. A tabela 82 lista a densidade dos gases combustíveis.

| GÁS | Densidade Absoluta | Densidade Relativa |
|------------------------|-----------------------|----------------------|
| | [kg/Nm ³] | ao ar (adimensional) |
| Ar | 1,29 | 1,00 |
| Hidrogênio | 0,09 | 0,07 |
| Metano | 0,72 | 0,56 |
| Etano | 1,35 | 1,05 |
| Eteno (ou etileno) | 1,26 | 0,98 |
| Gás natural de Campos | 0,79 | 0,61 |
| Gás natural de Santos | 0,83 | 0,64 |
| Gás natural da Bolívia | 0,78 | 0,60 |
| Propano | 2,01 | 1,56 |
| Propeno (ou propileno) | 1,91 | 1,48 |
| n-Butano | 2,69 | 2,09 |
| iso-Butano | 2,68 | 2,08 |
| Buteno-1 | 2,58 | 2,00 |
| GLP (médio) | 2,35 | 1,82 |
| Acetileno | 1,17 | 0,91 |
| Monóxido de carbono | 1,25 | 0,97 |

Tabela 82 – Densidade dos gases combustíveis.

Fonte: Krona Acessível em <<http://www.krona.srv.br/>>

Combustão.

A queima dos gases combustíveis pode ser feita com ar atmosférico ou com oxigênio puro. A constituição aproximada do ar atmosférico é a seguinte Pera (1990):

1. Em volume, 20,8% O₂ e 79,2% N₂;
2. Em massa, 23% O₂ e 77% N₂.

As principais reações da combustão estequiométrica dos gases são listadas na tabela 83 obtida de Pera (1990):

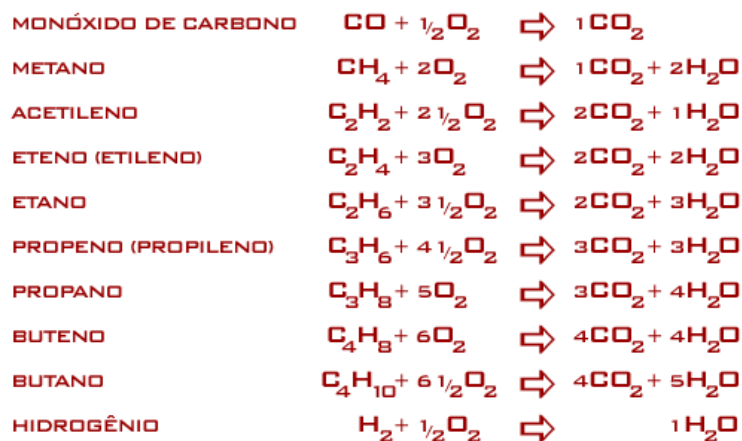


Tabela 83 – Reações da combustão estequiométrica

A tabela 84 lista a combustão estequiométrica dos gases com o ar combustível.

| GÁS | Ar de combustão | Produtos da Combustão |
|---------------------|--|--|
| | [Nm ³ ar / Nm ³ gás] | [Nm ³ p.c. / Nm ³ gás] |
| Monóxido de carbono | 2,40 | 2,90 |
| Metano | 9,62 | 10,62 |
| Acetileno | 12,02 | 12,52 |
| Eteno (etileno) | 14,42 | 15,42 |
| Etano | 16,83 | 18,33 |
| Propeno (propileno) | 21,36 | 23,13 |
| Propano | 24,04 | 26,04 |
| Buteno | 28,85 | 30,85 |
| Butano | 31,25 | 33,75 |
| Hidrogênio | 2,40 | 2,90 |

Tabela 84 – Densidade dos gases combustíveis.

Fonte: Krona Acessível em <<http://www.krona.srv.br/>>

ANEXO C – CATÁLOGOS DE EQUIPAMENTOS E FABRICANTES

A seguir serão listados uma série de equipamentos e suas características técnicas, obtidas de catálogo bem como os dados de alguns destes fabricantes.

Caldeiras

Estão listadas nesta seção alguns modelos de caldeira disponíveis no mercado. Em virtude da diversidade de modelos e faixa de operação não é possível inserir todos os modelos pesquisados.

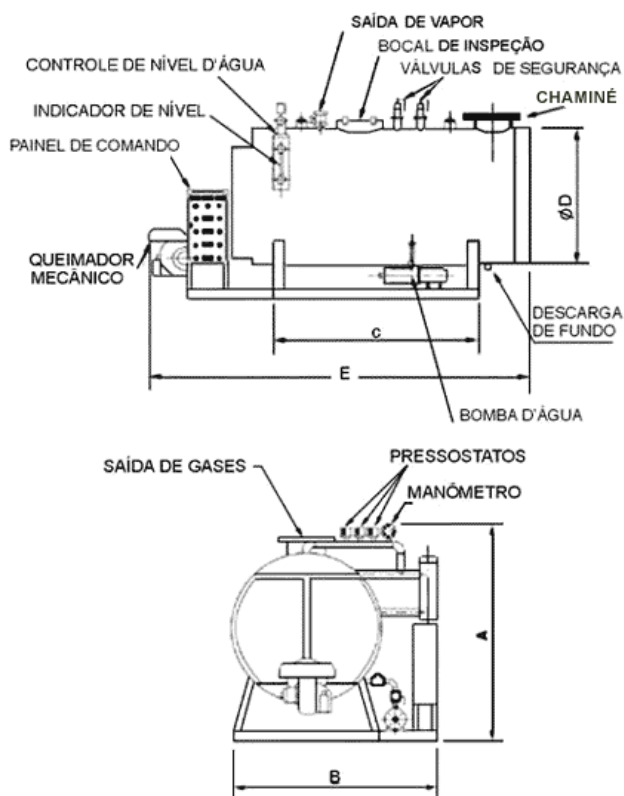


Figura 99 – Caldeira ECAL horizontal

Fonte: ECAL.

| CARACTERÍSTICAS' | | UNID. | Modelos | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | | | VMI-300 | VMI-500 | VMI-600 | VMI-800 | VMI-1000 | VMI-1200 | VMI-1500 | VMI-2000 | VMI-2500 | VMI-3000 | VMI-4000 |
| Produção de vapor c/água | 20°C | kg/h | 300 | 500 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 4000 |
| | 80°C | kg/h | 330 | 550 | 660 | 880 | 1100 | 1320 | 1650 | 2200 | 2750 | 3300 | 4400 |
| Potência técnica | | kcal/h | 192.000 | 321.000 | 400.000 | 513.000 | 642.000 | 770.000 | 963.000 | 1.284.000 | 1.605.000 | 1.926.000 | 2.568.000 |
| Potência técnica | | kJ/h | 803.866 | 1.343.963 | 1.674.720 | 2.147.828 | 2.687.926 | 3.223.836 | 4.031.888 | 5.375.851 | 6.719.814 | 8.063.777 | 10.751.702 |
| Superf. de Aquecimento | | m ² | 10,8 | 17,8 | 21,3 | 28,5 | 35,7 | 42,8 | 53,57 | 71,42 | 55,6 | 67,1 | 89,3 |
| Consumo | GLP | kg/h | 20,9 | 34,9 | 43,5 | 55,8 | 69,9 | 83,8 | 104,9 | 139,8 | 174,9 | 209,8 | 279,8 |
| | Gás Natural | m ³ /h | 24,3 | 40,6 | 50,6 | 64,9 | 81,2 | 97,4 | 121,8 | 162,4 | 203 | 243,6 | 324,8 |
| | Óleo Diesel | l/h | 26,3 | 43,9 | 54,7 | 70,6 | 87,8 | 105,3 | 131,7 | 175,6 | 219,6 | 263,5 | 351,3 |
| Saída de vapor | | Pol. | 1 1/4 | 1 1/2 | 2 | 2 | 2 1/2 | 2 1/2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|
| Válvulas de Segurança (2x) | Pol. | 1 | 1 1/4 | 1 1/4 | 1 1/4 | 1 1/2 | 1 1/2 | 1 1/2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| Valv. descarga de fundo | Pol. | 1 1/2 | 1 1/2 | 2 | 2 | 2 | 2 1/2 | 2 1/2 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Saída de Gases (chaminé) | mm | 250 | 300 | 300 | 300 | 350 | 350 | 350 | 400 | 400 | 450 | 500 | |
| Peso (vazio) aproximado | kg | 2500 | 3000 | 3300 | 4100 | 4900 | 5400 | 5900 | 7000 | 7500 | 8500 | 11000 | |
| Dimensões | A | mm | 1800 | 1950 | 1950 | 1950 | 2300 | 2400 | 2400 | 2500 | 2700 | 2700 | 3000 |
| | B | mm | 1000 | 1700 | 1700 | 2000 | 2000 | 2000 | 2150 | 2150 | 2200 | 2200 | 2450 |
| | C | mm | 1200 | 1600 | 1600 | 1960 | 2345 | 2700 | 2750 | 3000 | 3000 | 3000 | 3670 |
| | D | mm | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1500 | 1500 | 1600 | 1850 | 2200 | 2200 | 2325 |
| | E | mm | 3000 | 3700 | 3700 | 4200 | 4800 | 4800 | 5200 | 6300 | 5300 | 5400 | 6100 |

Tabela 85 – Caldeiras Ecal

Fonte: ECAL.

Preço da caldeira VMI-300 a óleo diesel coletado no dia 25/11/04 R\$24.000,00 na empresa ECAL.

Geradoras de Água Quente

Geradoras de Água Quente JMS (Figura 101).



Figura 100 – Geradoras de água quente JMS.

Fonte: JMS, acessível em <<http://www.jmsaquecimento.com.br>>

Principais características:

- Corpo interno em chapa de aço carbono ASTM-A 285, grau C, tratada contra corrosão pelo processo de jateamento de granalhas de aço ao metal branco, sob Norma SIS 05 5900 1967, padrão Sa 3, com posterior aplicação de primer etil

silicato de zinco, com dupla camada de 125 microns e acabamento final com três demãos de resina epóxi bi-componente.

- Trocador de calor flangeado, do tipo aquatubular, em tubos de aço Schedule 40, com duplo passe de queima. Este processo difere dos demais por contar com a maior superfície de troca térmica (15.000 kcal/m²). O fluxo de aquecimento é introduzido pelo trocador de calor, percorrendo toda a sua superfície até o final e retornando pelos tubos superiores. Resulta daí a exclusividade da Geradora de Água Quente JMS cuja eficiência medida é de até 60% superior à das geradoras convencionais, de um único passe.
- Porta de inspeção flangeada de 500 mm de diâmetro, para acesso ao interior do reservatório, facilitando a limpeza e eventual manutenção.
- Trocador de calor removível. Este se distingue dos demais, fixos, pelo seu sistema, que permite fácil remoção. Possibilita manutenção preventiva e corretiva, assim como sua eventual substituição.
- Queimador atmosférico multigás tipo jato livre, de grande eficiência, provido de válvula controladora de chama e ignição automática, sem chama piloto.
- Opcionalmente as geradoras poderão ser fornecidas com dois queimadores independentes.
- Isolamento térmico contra perdas de calor por irradiação em espuma de poliuretano ecológica, sem CFC.
- Acabamento final em alumínio stucco, que protege o isolamento térmico contra umidade e radiação solar e proporciona beleza e robustez ao aparelho.
- Caixa de fumaça e exaustão com damper manual.
- Controle de temperatura da água. As geradoras JMS são totalmente automáticas. O queimador é ligado e desligado sempre que necessário, dispensando o manuseio de operadores.
- Monitoramento e segurança são feitos através de termômetro, manômetro analógico e válvula de segurança, integrados ao equipamento.

Geradora de Água Quente Vertical (Figura 102)

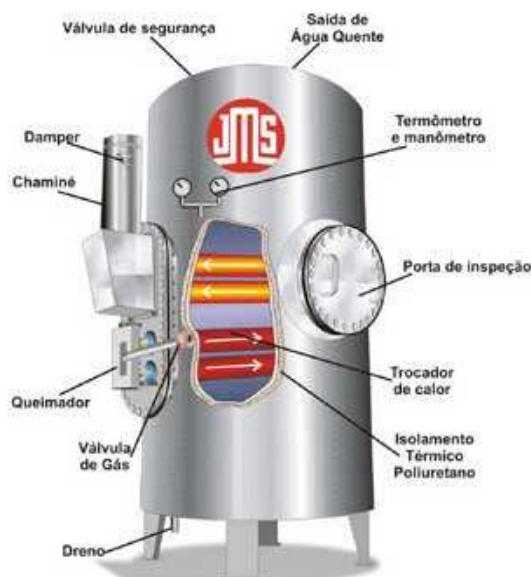


Figura 101 – Geradora de água quente vertical.

Fonte: JMS, acessível em <<http://www.jmsaquecimento.com.br>>

| GERADORA DE ÁGUA QUENTE – VERTICAL – DIMENSÕES EXTERNAS | | | | | | | | | | | |
|---|--------|------|-----------|-----------------|-----------------|----------|---------|----------------|-------------------|---|------|
| Capacidade | Altura | Ø | Ø Chaminé | TUBOS | | Potência | | Consumo de Gás | | Produção de Água Quente $\Delta T 40^\circ$ l/h | Peso |
| | | | | Entrada / saída | Retorno / dreno | kcal/h | kJ/h | GLP kg | GN m ³ | | |
| Litros | mm | mm | mm | 2" | 1" | | | | | | |
| 1000 | 1795 | 1080 | 200 | 2" | 1" | 30.000 | 125.604 | 2,7 | 3,2 | 750 | 470 |
| 1500 | 1795 | 1310 | 200 | 2" | 1" | 45.000 | 188.406 | 4 | 4,8 | 1125 | 592 |
| 2000 | 1885 | 1310 | 200 | 2" | 1" | 60.000 | 251.208 | 5,4 | 6,4 | 1500 | 712 |

Tabela 86 – Geradora de água quente vertical.

Fonte: JMS, acessível em <<http://www.jmsaquecimento.com.br>>

Geradora de Água Quente Horizontal (Figura 103)

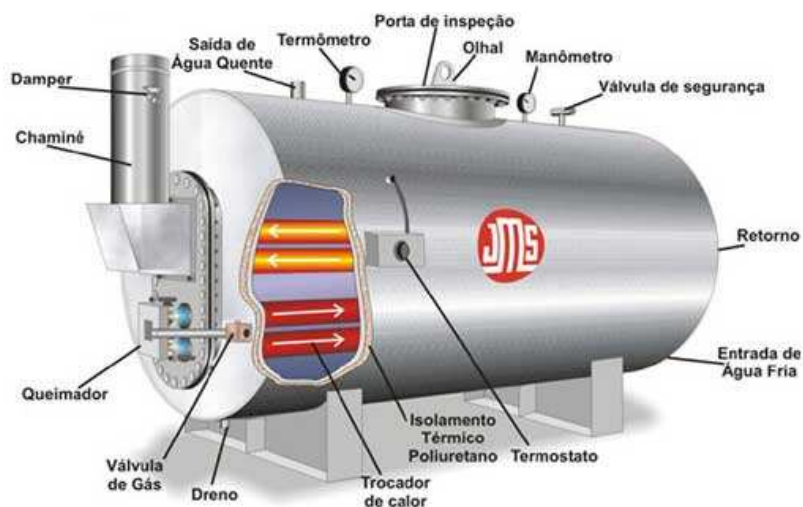


Figura 102 – Geradora de água quente horizontal.

Fonte: JMS, acessível em <<http://www.jmsaquecimento.com.br>>.

| DIMENSÕES EXTERNAS | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|------|--------|-----------|-----------------|-----------------|----------|----------|----------------|-------|------------------------------------|
| Cap. | Comp. | Ø | Altura | Ø Chaminé | TUBOS | TUBOS | Potência | Potência | Consumo de Gás | | Produção de Água Quente ΔT 40° l/h |
| Litros | mm | mm | mm | mm | Entrada / saída | Retorno / dreno | Kcal/h | KJ/h | GLP kg | GN m³ | |
| 1000 | 1780 | 1030 | 1375 | 200 | 2" | 1" | 30.000 | 125.604 | 2,7 | 3,2 | 750 |
| 1500 | 2130 | 1130 | 1475 | 200 | 2" | 1" | 45.000 | 188.406 | 4 | 4,8 | 1125 |
| 2000 | 2630 | 1130 | 1475 | 200 | 2" | 1" | 60.000 | 251.208 | 5,4 | 6,4 | 1500 |
| 2500 | 3130 | 1130 | 1475 | 200 | 2" | 1" | 60.000 | 251.208 | 5,4 | 6,4 | 1500 |
| 3000 | 3630 | 1130 | 1475 | 200 | 2" | 1" | 80.000 | 334.944 | 7,3 | 8,5 | 2000 |
| 4000 | 3720 | 1310 | 1835 | 200 | 3" | 1 1/2" | 90.000 | 376.812 | 8,2 | 9,6 | 2250 |
| 5000 | 4320 | 1310 | 1835 | 200 | 3" | 1 1/2" | 100.000 | 418.680 | 9,1 | 10,6 | 2500 |

Tabela 87 – Geradora de água quente horizontal.

Fonte: JMS, acessível em <<http://www.jmsaquecimento.com.br>>.

Preço da geradora de água quente horizontal de 1000 litros coletado dia 13/11/05 R\$ 8.290,00.

Preço da geradora de água quente horizontal de 1500 litros coletado dia 13/11/05 R\$ 10.789,00.

Preço da geradora de água quente horizontal de 2500 litros coletado dia 13/11/05 R\$15.824,00.

Preço da geradora de água quente horizontal de 5.000 litros coletado dia 13/11/05 R\$24.900,00.

Reservatório Térmico JMS

O reservatório térmico JMS é isolado termicamente com poliuretano expandido para minimizar as perdas de calor. Fabricado em aço inoxidável, garante uma vida útil compatível com o investimento exigido para a instalação do sistema de aquecimento solar. Possui um sistema auxiliar de aquecimento que pode ser elétrico ou a gás que controlado por um termostato entra em funcionamento automaticamente sempre que necessário. O reservatório é revestido externamente por uma capa metálica com função de proteger o isolamento térmico da umidade excessiva e da radiação solar, quando exposto ao tempo (Tabela 88).

| Reservatórios Térmicos – JMS | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| CAP. | l | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 8000 | 10000 |
| DIAM. | mm | 520 | 760 | 760 | 850 | 930 | 1090 | 1300 | 1250 | 1380 | 1500 | 1510 | 1630 |
| COMP. | mm | 1450 | 1450 | 2050 | 1900 | 2000 | 2800 | 2900 | 4100 | 4120 | 4170 | 5370 | 5440 |
| PESO | kg | 23 | 45 | 59 | 63 | 92 | 150 | 220 | 276 | 315 | 416 | 514 | 600 |
| TUBOS | Bsp | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 1/4 | 1 1/4 | 1 1/2 | 1 1/2 | 2 | 2 | 2, 1/2 | 2, 1/2 |
| APOIO | kW | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 2x3,0 | 3x3,0 | 3x4,0 | 3x5,0 | 3x5,0 | 3x6,0 | 3x7,0 |

Tabela 88 – Reservatório térmico JMS.

Fonte: JMS, acessível em <<http://www.jmsaquecimento.com.br>>.

Preço do reservatório de água quente de 5.000 litros ref: (dia 15/11/04) R\$ 12.400,00.

Preço do reservatório de água quente de 10.000 litros ref: (dia 15/11/04) R\$25.900,00.

Preços coletados na Empresa JMS em 15/11/2004.

Lista dos associados à ABRAVA que também fazem parte do programa Brasileiro de Etiquetagem

| Razão Social | Telefone | Fax | Web Site |
|--|----------------|----------------|-----------------------------|
| Metalúrgica Albacete Indústria E Comércio Ltda. | (21) 2643-8787 | (21) 2643-1787 | www.albacete.com.br |
| Alpina Termoplásticos Ltda | (11) 5011-0122 | (11) 5012-1017 | www.alosolar.com.br |
| Alternativa Solar Ltda. | (31) 3817-2532 | (31) 3817-2532 | www.alternativasolar.com.br |
| Aquasólis Tecnologia Solar E Construções Ltda. | (31) 3281-5725 | (31) 3541-5963 | www.aquasolis.com.br |
| AqueSol Indústria Aquecimento Solar Ltda. | (51) 3714-1733 | (51) 3714-1733 | www.aquesol.ind.br |
| ArkSol Indústria E Comércio Ltda. | (31) 3491-2088 | (31) 3492-3476 | www.arksol.com.br |
| A Atual Indústria E Comércio De Aquecedores Solares Ltda. | (31) 3831-2660 | (19) 3831-2661 | |
| ColSol Coletores Solares. | (19) 3875-0951 | (19) 3875-0951 | www.colsol.com.br |
| Aquecedores Cumulus S/A Indústria E Comércio | (11) 6436-2277 | (11) 6436-1716 | |
| Enalter Eng. Ind. E Com. Ltda | (31) 3581-7033 | (31) 3581-7696 | www.enalter.com.br |
| Engear Indústria, Comércio E Representações Ltda. Me | (27) 3229-9712 | (27) 3229-9712 | |
| Frimmex Indústria Metalúrgica Ltda. | (14) 3584-8500 | (14) 3584-8500 | |
| Giacomet Termo Metalúrgica Ltda. | (54) 222-3611 | (54) 222-3981 | |
| Heliotek Máquinas E Equipamentos Ltda. | (11) 4772-4500 | (11) 4772-4547 | www.heliotek.com.br |
| HidroSol Aquecedor Solar Ltda – Me | (31) 3773-5041 | (31) 3773-5148 | |
| Jms Industrial Ltda. | (31) 3362-8000 | (31) 3333-8000 | |
| Liver Sol Ind. E Com. De Aquecedores Solares Ltda | (16) 3371-9502 | (16) 3371-0685 | |
| Maxtemper Energia Solar Ltda | (31) 3476-7733 | (31) 3476-6070 | |
| Ouro Fino Indústria De Plásticos Reforçados Ltda. | (11) 4827-0311 | (11) 4827-0319 | |
| Pantho Industrial Ltda. | (31) 3491-1935 | (31) 3491-1935 | www.pantho.com.br |
| PoliSol Do Brasil Ltda. | (31) 3492-4041 | (31) 3492-4041 | www.polisol.com.br |
| Sodramar Indústria E Comércio Ltda | (11) 4053-7600 | | |
| Solágua Indústria E Comércio Ltda. | (27) 3328-3314 | (27) 3328-3314 | |
| Solar Minas Ltda Epp. | (35) 3713-1352 | (35) 3713-1062 | |
| Solar Tec Industrial Ltda. | (16) 626-1521 | (16) 626-1521 | |
| Rogério Pinheiro Kluppel | (83) 222-7856 | (83) 222-7856 | |
| Indústria E Comércio De Aquecedores Ltda. | (19) 3227-0017 | (19) 3227-0023 | |
| Alternegia Indústria, Comércio, Representação E Serviços Ltda. | (48) 259-1980 | (48) 259-1980 | |
| SolarSol Ind. De Aquecedor Solar Ltda. | (44) 232-1789 | (44) 232-1789 | |
| Soletrol Indústria E Comércio Ltda. | (14) 3812-2000 | (14) 3841-4080 | www.soletrol.com.br |
| Aparelhos Térmicos TecnoSol Ltda. | (47) 371-5122 | (47) 371-1679 | |
| TecnoSol Aquecedores E Hidráulica Ltda – Me. | (11) 4612-2777 | | |
| Contini & Porto Indústria Comércio Ltda. | (12) 3931-2477 | (12) 3931-2477 | |
| Transen Indústria E Comércio Ltda. | (18) 3649-2000 | (18) 3649-2003 | www.transen.com.br |
| Tuma Industrial Ltda. | (31) 3385-2233 | (31) 3385-1399 | www.tuma.com.br |
| Unipac Indústria E Comércio Ltda. | (14) 3405-2100 | (14) 3452-1950 | www.unipac.com.br |
| Euclides José Mininel – Me | (16) 3664-5625 | (16) 3664-6084 | |

Tabela 89 – Fabricantes associados à Abrava e participantes do programa brasileiro de etiquetagem.

Fonte: Green Solar

Uma vez que seria necessário à planilha de cálculo apresentar dados referentes aos coletores solares de mercado, foi feita uma extensa pesquisa de preços com vários fabricantes, para que fosse composto um preço médio para os coletores solares listados na planilha. Os dados dos coletores solares da planilha de cálculo podem ser vistos na tabela 90.

| MODELO | ÁREA EXT. COLETOR | PROD. MÉDIA MENSAL DE ENERGIA | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MÉDIA (%) | FAIXA CLASSIFICAÇÃO | Preço | Preço kWh |
|--------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|------------|-----------|
| | m ² | kWh/mês | | | | |
| M1-A | 1,72 | 138,70 | 57,3 | A | R\$ 541,00 | R\$ 3,90 |
| M2-A | 1,98 | 153,70 | 57,1 | A | R\$ 447,00 | R\$ 2,91 |
| M3-A | 2,40 | 220,00 | 42,4 | A | R\$ 703,00 | R\$ 3,20 |
| M4-A | 2,80 | 268,00 | 49 | A | R\$ 820,40 | R\$ 3,06 |
| M1-B | 1,72 | 121,30 | 50,9 | B | R\$ 453,00 | R\$ 3,73 |
| M2-B | 1,79 | 128,30 | 55,1 | B | R\$ 437,00 | R\$ 3,41 |
| M3-B | 2,98 | 236,00 | 56,7 | B | R\$ 428,00 | R\$ 1,81 |
| M4-B | 1,58 | 104,40 | 49,3 | B | R\$ 330,00 | R\$ 3,16 |
| M1-C | 1,65 | 104,00 | 47,8 | C | R\$ 367,00 | R\$ 3,53 |
| M2-C | 1,39 | 85,20 | 44,4 | C | R\$ 255,79 | R\$ 3,00 |

Tabela 90 – Dados dos coletores solares utilizados na planilha de cálculo.

ANEXO D – LEGISLAÇÃO PERTINENTE

PORTARIA Nº 16, DE 19 DE JULHO DE 1991

RESOLVE: Estabelecer as definições dos tipos de uso, recipientes e instalações para GLP, suas prioridades e condições de fornecimento e utilização.

ALTERADA: pela Portaria DNC Nº 4 de 07/02/92.

A DIRETORA DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEL – DNC no uso das atribuições que lhe confere o art. 12, anexo 1 do Decreto nº 35, de 11 de fevereiro de 1991.

CONSIDERANDO a necessidade de serem revisados os procedimentos para fornecimento e a nacionalização do uso de Gás Liquefeito de Petróleo – GLP.

CONSIDERANDO o disposto no inciso II do art. 1º da Lei nº 8.176, de 08 de fevereiro de 1991.

CONSIDERANDO o disposto do art. 12 da Portaria MINFRA nº 841, de 31 outubro de 1990, resolve:

Art. 1º – Estabelecer as definições dos tipos de aço, recipientes e instalações para o GLP:

I – TIPOS DE USO

- a) Doméstico – Destinado ao atendimento do consumidor, em sua residência, quando adquirido por pessoa física ou condomínio residencial;
- b) Institucional – Quando consumido em hospitais, casas de saúde, estabelecimentos de ensino, creches, instituições filantrópicas, quartéis e repartições públicas.
- c) Comercial – Quando consumido em qualquer estabelecimento comercial.
- d) Industrial – Quando consumido em qualquer estabelecimento industrial.
- e) Outros Usos – Empilhadeiras e assemelhados e outros a critérios do DNC.

II – TIPOS DE RECIPIENTES TRANSPORTÁVEIS

- a) Botijão portátil – Recipiente com capacidade nominal de 02 (dois) e 05 (cinco) quilogramas de GLP (P-2 e P-5).
- b) Botijão doméstico – Recipiente com capacidade nominal de 13 (treze) quilogramas de GLP (P-13).
- c) Cilindro – Recipiente com capacidade nominal de 45 (quarenta e cinco) e 90 (noventa) quilogramas de GLP (P-45 e P-90).
- d) Cilindro para empilhadeira e assemelhados – Recipiente com capacidade nominal de 20 (vinte) quilogramas de GLP (P-20).

III – TIPO DE RECIPIENTE ESTACIONÁRIO

Tanque fixo destinado a receber o GLP a granel, podendo ser enterrado, aterrado ou de superfície.

IV – INSTALAÇÃO CENTRALIZADA

- a) Fixa – Conjunto constituído de recipiente(s) estacionário(s).
- b) Bateria – Conjunto, de 02 (dois) ou mais cilindros interligados por tubo coletor.
- c) Individual – Conjunto constituído de um recipiente transportável de GLP e acessórios padronizados, interligado ao ponto de consumo por tubulação rígida.

V – INSTALAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO

- a) Rede de Distribuição – Tubulação e seus acessórios compreendida entre a instalação centralizada e a projeção horizontal da edificação.
- b) Rede Predial – tubulação e seus acessórios a partir da rede de distribuição, situados na edificação.

PARÁGRAFO ÚNICO – Os recipientes transportáveis de GLP, com capacidade diversa da definida no inciso II deste artigo, terão seu uso restrito aos fabricados até 15 de março de 1991 e serão equiparados de acordo com o seguinte critério:

- a) P-1 a P-5 Botijão portátil;
- b) P-10 Botijão doméstico;
- c) P-16 Cilindro para empilhadeira e assemelhados.

Art. 2º – O GLP terá as seguintes prioridades de fornecimento e uso:

- I – Doméstico e institucional;
- II – Comercial;
- III – Industrial e Outros Usos.

Art. 3º – o fornecimento e a utilização de GLP para o segmento Industrial e para os Outros Usos dependem de prévia autorização do DNC.

§ 1º – Para fins do disposto no caput desse Artigo, a construção da instalação para armazenamento do GLP somente poderá ser iniciada após o deferimento do pedido de autorização.

§ 2º – O disposto neste artigo não se aplica à cocção de alimentos, empilhadeiras e lavanderias.

§ 3º – O pedido de autorização será encaminhado através de uma Distribuidora e deverá conter informações que permitam avaliar a excepcionalidade do uso do GLP, nos seguintes casos:

- a) quando constituir insumo essencial ao processo de fabricação;
- b) quando for utilizado como combustível que não possa, por motivos técnicos, ser substituído por outro energético;
- c) quando for indispensável a preservação do meio ambiente.

§ 4º – O pedido de autorização deverá ser acompanhado dos seguintes documentos e informações:

- a) descrição completa do processo industrial, nas placas onde o GLP é empregado, e dos equipamentos que o consumirão;
- b) consumos específicos por equipamento e por unidade de produto acabado;

c) consumo mensal previsto, pelo período de um ano;
d) equipamentos e combustíveis alternativos, com os respectivos consumos específicos, por unidade de produto acabado;

Art. 4º – A Distribuidora somente poderá abastecer uma instalação centralizada após comprovar que tanto a construção quanto os ensaios e testes foram realizados de acordo com as normas vigentes.

PARÁGRAFO ÚNICO – O fornecimento de GLP deverá ser suspenso pela Distribuidora se constatado que a instalação centralizada não mantém as condições técnicas e de segurança previstas no projeto.

Art. 5º – É permitida a construção de instalação centralizada de GLP, fora dos limites da propriedade do(s) consumidor(res), para a distribuição canalizada do produto através de medidores individuais.

Art. 6º – O uso do botijão P-13 somente será permitido no segmento doméstico e, excepcionalmente, em “trailers”, pequenas unidades comerciais, exclusivamente na cocção de alimentos desde que não haja espaço físico para guarda de cilindros, bem como na avicultura para aquecimento de aves.

Art. 7º – Não é permitido o uso do GLP em motores de qualquer espécie, saunas, caldeiras e aquecimento de piscinas ou para fins automotivos.

Art. 8º – As Distribuidoras e os Consumidores terá o prazo de 120 (cento e vinte) dias para se adaptarem ao disposto nesta Portaria.

Art. 9º – revogam-se as Portarias DNC nº 09, de 06 de março de 1991, DNC nº 10, de 14 de março de 1991, e DNC nº 14, de 23 de abril de 1991.

Art. 10º – Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

MARIA AUXILIADORA JACOBINA VIEIRA

PORTARIA Nº 04, DE 07 DE FEVEREIRO DE 1992

RESOLVE: Alterar redação dos Artigos 3º e 7º da Portaria DNC Nº 16, de 19/07/91, autorizando as Distribuidoras a fornecer GLP para uso industrial, em caráter excepcional.

A DIRETORA DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEL – DNC no uso das atribuições que lhe confere o art. 12, anexo 1 do Decreto nº 35, de 11 de fevereiro de 1991,

CONSIDERANDO o disposto nas Portarias MINFRA nº 843 de 31 de outubro de 1990 e 225 de 08 de outubro de 1991, resolve:

Art. 1º – Os artigos 3º e 7º da Portaria DNC nº 16, de 19 de julho de 1991, passam a vigorar com as seguintes redações:

"Art. 3º – As Distribuidoras ficam autorizadas a fornecer gás liquefeito de petróleo (GLP) para uso industrial, em caráter excepcional, desde que observadas as seguintes condições:

I – quando insumo essencial ao processo de fabricação;

II – quando utilizado como combustível que não possa, por motivos técnicos, ser substituído por outro agente energético;

III – quando indispensável para a preservação do meio ambiente.

"Art. 7º – É vedado o uso de GLP em:

I – Motores de qualquer espécie;

II – Fins automotivos, exceto quando em empilhadeiras;

III – Saunas;

IV – Caldeiras; e

V – Aquecimento de piscinas, exceto para fins medicinais."

Art. 2º – Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

MARIA AUXILIADORA JACOBINA VIEIRA

PORTARIA Nº 14, DE 17 DE ABRIL DE 1996

RESOLVE: Autorizar as pessoas físicas e jurídicas a disporem de instalações de armazenamento e abastecimento de combustíveis líquidos ou gasosos para o uso privativo, exceto querosene de aviação.

O DIRETOR DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEIS, no uso das atribuições que lhe confere o art. 12 do Anexo I do Decreto nº 507, de 23 de abril de 1992, resolve:

Art. 1º Autorizar as pessoas físicas e jurídicas a disporem de instalações de armazenamento e abastecimento de combustíveis líquidos ou gasosos para o uso privativo, exceto querosene de aviação.

Parágrafo Único. As instalações a que se refere o "caput" deste artigo compreendem os tanques de armazenamento, bombas, tubulações, compressores, medidores e demais equipamentos necessários ao manuseio dos respectivos produtos.

Art. 2º Os produtos movimentados em instalações autorizadas nos termos do art. 1º desta Portaria serão destinados exclusivamente ao uso do detentor das instalações ou de grupos fechados, de pessoas físicas ou jurídicas, previamente identificadas e associadas em forma de cooperativas, condomínios, clubes ou assemelhados.

Art. 3º Denomina-se Posto de Abastecimento – PA instalação que possua equipamento com registrador de volume apropriado para o abastecimento de equipamentos móveis, veículos automotores terrestres, aeronaves ou embarcações.

Art. 4º Os produtos adquiridos para uso de grupo, formado nos termos do art. 2º desta Portaria, serão comercializados exclusivamente para os seus membros.

Parágrafo Único. No local onde ocorrer a comercialização do combustível, deverá estar disponível lista atualizada constando informações que permitam a identificação dos componentes do grupo.

Art. 5º As instalações citadas no art. 1º desta Portaria, quando possuírem capacidade de armazenamento superior a 10 m³ ou capacidade de compressão de gás natural superior a 100 m³/hora, antes de receber qualquer tipo de combustível, líquido ou gasoso, deverão ser cadastradas no Departamento Nacional de Combustíveis – DNC.

Parágrafo Único. O cadastramento será realizado através do preenchimento e protocolização, no DNC, da Ficha Cadastral – FC, a qual se encontra à disposição dos interessados na sede do Órgão, em Brasília–DF, e nas Delegacias do Ministério de Minas e Energia, nos Estados.

Art. 6º As instalações com capacidade de armazenamento superior a 150 m³ deverão ser previamente autorizadas nos termos da Resolução CNP–08, de 21 de setembro de 1971.

Art. 7º As instalações de armazenamento, movimentação ou compressão de combustíveis deverão atender integralmente às normas de segurança e de proteção ao meio ambiente.

Art. 8º Quando houver a comercialização do combustível nos termos do art. 4º desta Portaria, o responsável pelo Posto de Abastecimento ficará sujeito às seguintes obrigações:

I – fornecer os combustíveis de acordo com as especificações e condições de registro determinadas pelo DNC;

II – manter os equipamentos medidores de acordo com as normas e especificações estabelecidas pelo DNC e Inmetro;

III – informar acerca da:

a) nocividade e periculosidade do produto;

b) procedência do produto, inclusive nome do fornecedor;

IV – comercializar somente combustíveis adquiridos de empresa legalmente habilitada para o comércio desses combustíveis.

Art. 9º A autorização de que trata esta Portaria poderá ser cancelada nos seguintes casos:

I – a requerimento do interessado;

II – quando for verificado pelo DNC, em processo administrativo, que o responsável pela instalação está comercializando combustíveis em desacordo com as normas em vigor.

Art. 10º As pessoas físicas ou jurídicas responsáveis por instalações enquadradas nos termos desta Portaria terão o prazo de 120 dias, a contar da data de sua publicação, para enviar ao DNC a Ficha Cadastral – FC e regularizar suas instalações sob os aspectos de segurança e meio ambiente.

Art. 11º O descumprimento do disposto nesta Portaria sujeitará os infratores à interdição das instalações e às sanções previstas no Decreto nº 1.021, de 27 de dezembro de 1993.

Art. 12º Os pedidos de autorização em tramitação no DNC serão analisados de acordo com as disposições desta Portaria.

Art. 13º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

RICARDO PINTO PINHEIRO

Essa portaria segue a portaria do MINFRA:

Port. MINFRA nº 225 de 08/10/91, publicada no DOU de 09/10/91

LEI Nº 8.176, DE 08 DE FEVEREIRO DE 1991

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte lei:

Art. 1º Constitui crime contra a ordem econômica:

I – adquirir, distribuir e revender derivados de petróleo, gás natural e suas frações recuperáveis, álcool etílico, hidratado carburante e demais combustíveis líquidos carburantes, em desacordo com as normas estabelecidas na forma da lei;

II – usar gás liquefeito de petróleo em motores de qualquer espécie, saunas, caldeiras e aquecimento de piscinas, ou para fins automotivos, em desacordo com as normas estabelecidas na forma da lei.

Pena: detenção de um a cinco anos.

Art. 2º Constitui crime contra o patrimônio, na modalidade de usurpação, produzir bens ou explorar matéria-prima pertencentes à União, sem autorização legal ou em desacordo com as obrigações impostas pelo título autorizativo.

Pena: detenção, de um a cinco anos e multa.

§ 1º Incorre na mesma pena aquele que, sem autorização legal, adquirir, transportar, industrializar, tiver consigo, consumir ou comercializar produtos ou matéria-prima, obtidos na forma prevista no caput deste artigo.

§ 2º No crime definido neste artigo, a pena de multa será fixada entre dez e trezentos e sessenta dias–multa, conforme seja necessário e suficiente para a reprovação e a prevenção do crime.

§ 3º O dia–multa será fixado pelo juiz em valor não inferior a quatorze nem superior a duzentos Bônus do Tesouro Nacional (BTN).

Art. 3º (Vetado).

Art. 4º Fica instituído o Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis.

§ 1º O Poder Executivo encaminhará ao Congresso Nacional, dentro de cada exercício financeiro, o Plano Anual de Estoques Estratégicos de Combustíveis para o exercício seguinte, do qual constarão as fontes de recursos financeiros necessários a sua manutenção.

§ 2º O Poder Executivo estabelecerá, no prazo de sessenta dias as normas que regulamentarão o Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis e o Plano Anual de Estoques Estratégicos de Combustíveis.

Art. 5º Esta lei entra em vigor cinco dias após a sua publicação.

Art. 6º Revogam–se as disposições em contrário, em especial o art. 18 da Lei nº 8.137, de 27 de dezembro de 1990, restaurando–se a numeração dos artigos do Decreto–Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 Código Penal Brasileiro, alterado por aquele dispositivo.

Brasília, 8 de fevereiro de 1991; 170º da Independência e 103º da República.

FERNANDO COLLOR

Jarbas Passarinho

Zélia M. Cardoso de Mello

Ozires Silva

Este texto não substitui o publicado no D.O.U. de 13.2.1991

PORTARIA ANP Nº 319, DE 27 DE DEZEMBRO DE 2001 – DOU 28.12.2001

"Institui a obrigatoriedade de apresentação, pelo consumidor final, de dados relativos à aquisição de óleo diesel e biodiesel de produtor, de importador e diretamente no mercado externo, e de distribuidor."

O substituto eventual do DIRETOR–GERAL da AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP, de acordo com o disposto no § 3º do art. 6º do Anexo I ao Decreto nº 2.455, de 14 de janeiro de 1998, considerando as disposições da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e a Resolução de Diretoria nº 1012, de 27 de dezembro de 2001, torna público o seguinte ato:

"Art. 1º. Ficam estabelecidos, pela presente Portaria, procedimentos a serem observados por consumidor final na aquisição de óleos diesel B, D, marítimo e biodiesel de produtor, de importador e diretamente no mercado externo, e de distribuidor."

"Art. 2º Para os efeitos desta Portaria, ficam estabelecidas as seguintes definições:

I – Consumidor final: pessoa jurídica que utiliza óleo diesel e/ou biodiesel para consumo próprio, na produção de bens ou prestação de serviços, e que não o comercializa com terceiros;

II – Produtor: refinarias, centrais de matérias–primas petro–químicas, formuladores e produtores de biodiesel autorizados pela ANP;

III – Importador: empresa autorizada pela ANP a exercer a atividade de importação dos produtos de que trata o artigo anterior."

"Art. 3º. O consumidor final fica obrigado a apresentar, mensalmente, à ANP os dados relativos aos volumes adquiridos de óleos diesel B, D, marítimo e biodiesel de produtor, de importador e diretamente no mercado externo, e de distribuidor.

§ 1º Os dados de que trata o caput deverão ser encaminhados, por meio magnético, até o dia 15 (quinze) do mês subsequente ao de aquisição do produto, em conformidade com as instruções disponibilizadas na página da ANP na Internet (www.anp.gov.br).

§ 2º Exclusivamente por ocasião da primeira aquisição de óleo diesel e biodiesel de produtor, de importador ou diretamente no mercado externo, o consumidor final deverá encaminhar à ANP, juntamente com os dados de que trata o caput, informações relativas ao seu consumo de óleo diesel e biodiesel dos últimos 12 (doze) meses."

(Nota)

"Art. 4º. O consumidor final fica sujeito à auditoria, por parte da ANP ou por empresa contratada, com o objetivo de verificar o histórico de consumo e a destinação de óleo diesel e biodiesel."

(Nota)

Art. 5º. O não cumprimento do disposto nesta Portaria sujeita o infrator às penalidades previstas no inciso XVI, art. 3º da Lei nº 9.847, de 26 de outubro de 1999.

Art. 6º. Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

JÚLIO COLOMBI NETTO

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)