
Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural

Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural

Março 2011



Índice

1	PREFÁCIO	5
1.1	PROGRAM P&D / C&R COMGAS	5
1.2	O MANUAL TÉCNICO	5
1.3	EQUIPE DE TRABALHO.....	5
1.4	AGRADECIMENTOS.....	6
2	INTRODUÇÃO.....	7
3	EQUIPAMENTOS.....	9
3.1	AQUECEDOR A GÁS NATURAL	9
3.1.1	<i>Aquecedor de passagem (instantâneo)</i>	9
3.1.2	<i>Caldeira mural e piso</i>	10
3.1.3	<i>Aquecedor de acumulação</i>	11
3.1.4	<i>Sistema conjugado</i>	12
3.2	COLETOR SOLAR.....	13
3.2.1	<i>Coletores planos com cobertura</i>	13
3.2.2	<i>Coletores planos sem cobertura</i>	14
3.2.3	<i>Coletores a vácuo</i>	15
3.2.4	<i>Eficiência dos coletores</i>	15
3.2.5	<i>Posicionamento</i>	16
3.2.6	<i>Associações de coletores</i>	17
3.3	RESERVATÓRIOS E TROCADORES DE CALOR.....	18
3.3.1	<i>Reservatórios</i>	18
3.3.2	<i>Trocadores de calor</i>	20
3.4	ACESSÓRIOS.....	20
3.4.1	<i>Controles</i>	20
3.4.2	<i>Bombas</i>	21
3.4.3	<i>Válvulas termostáticas</i>	22
3.4.4	<i>Vasos de expansão</i>	22
4	CONFIGURAÇÕES DE SISTEMAS SOLAR & GÁS NATURAL.....	23
4.1	SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR COM APOIO DE AQUECEDOR INDIVIDUAL DE PASSAGEM A GÁS NATURAL.....	23
4.1.1	<i>Reservatório solar central e aquecedores de passagem individuais a gás natural</i>	23
4.1.2	<i>Reservatório solar individual e aquecedores de passagem individuais a gás natural</i>	25
4.2	SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR COM APOIO DE AQUECEDOR INDIVIDUAL DE ACUMULAÇÃO A GÁS NATURAL.....	26
4.2.1	<i>Aquecedores de acumulação individuais</i>	26
4.2.2	<i>Aquecedores de acumulação conjugados individuais</i>	28
4.3	AQUECIMENTO SOLAR ASSOCIADO A SISTEMA DE AQUECIMENTO COLETIVO A GÁS NATURAL	29
4.3.1	<i>Sistema conjugado central (geradora de água quente)</i>	29
4.3.2	<i>Aquecedores de passagem coletivos</i>	31
5	DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR & GÁS NATURAL	33
5.1	CÁLCULO DA DEMANDA DE ÁGUA QUENTE.....	33
5.1.1	<i>Método das vazões dos pontos de consumo</i>	33
5.1.2	<i>Método do volume médio</i>	34
5.1.3	<i>Outros métodos</i>	35
5.1.4	<i>Método das vazões máximas</i>	36
5.2	CÁLCULO DAS PERDAS TÉRMICAS NO TRAJETO	37
5.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	37
5.3.1	<i>Cálculo do reservatório do sistema central coletivo</i>	37
5.3.2	<i>Cálculo do reservatório de acumulação individual</i>	38

5.3.3	<i>Cálculo da área de coletores</i>	38
5.4	DIMENSIONAMENTO DOS AQUECEDORES DE PASSAGEM A GÁS NATURAL	44
5.4.1	<i>Determinação das vazões instantâneas</i>	44
5.4.2	<i>Determinação da potência de aquecedores de passagem</i>	44
5.5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ACUMULAÇÃO INDIVIDUAL	45
5.5.1	<i>Cálculo do volume de água quente em uma hora do período de maior consumo</i>	45
5.5.2	<i>Cálculo do volume mínimo de água quente armazenada</i>	45
5.5.3	<i>Determinação da potência dos aquecedores a gás natural</i>	46
5.6	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA CENTRAL COLETIVO A GÁS NATURAL.....	46
5.6.1	<i>Cálculo do volume diário de água quente</i>	46
5.6.2	<i>Cálculo do volume de água quente em uma hora do período de maior consumo</i>	47
5.6.3	<i>Cálculo do volume mínimo de água quente armazenada</i>	48
5.6.4	<i>Determinação da potência dos aquecedores a gás natural</i>	48
6	EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO	50
6.1	CÁLCULO DA DEMANDA DE ÁGUA QUENTE.....	50
6.2	DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR	51
6.2.1	<i>Cálculo do reservatório do sistema central coletivo</i>	51
6.2.2	<i>Cálculo do reservatório de acumulação individual</i>	51
6.2.3	<i>Cálculo da área de coletores</i>	52
6.3	DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO A GÁS NATURAL.....	56
6.3.1	<i>Dimensionamento dos aquecedores de passagem</i>	56
6.3.2	<i>Dimensionamento do sistema de acumulação individual</i>	56
6.3.3	<i>Dimensionamento do sistema central coletivo</i>	57
6.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR COM APOIO A GÁS NATURAL	58
7	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	59
	ANEXO A – TABELA DE RADIAÇÃO SOLAR	61

Tabelas

Tabela 1	– Dados informativos sobre vazão de aparelhos sanitários (Fonte: Norma ABNT 5626). 34
Tabela 2	– Dados informativos sobre volume de consumo de água quente por pessoas/usuário nas edificações..... 35
Tabela 3	– Dados informativos sobre número de pessoas que habitam as edificações
Tabela 4	– Dados informativos sobre número de pessoas que habitam as edificações
Tabela 5	– Dados informativos sobre número de pessoas que habitam as edificações
Tabela 6	– Dados informativos sobre fator de armazenamento..... 48
Tabela 7	– Resumo de alternativas de dimensionamento

Figuras

Figura 1	– Esquema dos aquecedores instantâneos	9
Figura 2	– Detalhe da caldeira mural	10
Figura 3	– Esquema do aquecedor de acumulação de contato direto.....	11
Figura 4	– Sistema conjugado de aquecimento	12
Figura 5	– Esquema aquecedor solar de placa plano.....	13
Figura 6	– Coletor plano sem cobertura.....	14
Figura 7	– Coletores a vácuo	15
Figura 8	– Eficiências dos coletores planos com e sem vidro	16
Figura 9	– Trajetória do sol e desvio do Norte geográfico (ângulos azimutais de superfície)	17
Figura 10	– Ligação dos coletores	17
Figura 11	– Ligação de conjuntos de coletores em série.....	18
Figura 12	– Ligação de conjuntos de coletores em paralelo.....	18
Figura 13	– Tipos de reservatórios térmicos	19

Figura 14 – Detalhe do trocador de placa	20
Figura 15 – Sistema de controle com diferencial de temperatura.....	20
Figura 16 – Exemplo de bomba de circulação	21
Figura 17 – Exemplo de válvulas de controle de temperatura	22
Figura 18 – Exemplo de vaso de expansão	22
Figura 19 – Esquema sistema solar com aquecedores de passagem a gás natural	24
Figura 20 - Esquema sistema solar distribuído com aquecedores de passagem a gás natural	25
Figura 21 – Esquema sistema solar com sistemas de acumulação individual	27
Figura 22 – Esquema sistema solar com sistemas conjugados individuais	28
Figura 23 – Esquema sistema solar com sistema conjugado coletivo.....	30
Figura 24 – Esquema sistema solar com central de passagem coletivo	31
Figura 25 – Fator de simultaneidade do consumo de água quente.....	47

1 Prefácio

1.1 Program P&D / C&R Comgas

O Programa Comgas para Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, Conservação e Racionalização do Uso do Gás Natural – Programa P&D/C&R, abrange um conjunto de projetos, proposto e executado pela Comgas, sendo aprovado, acompanhado e fiscalizado pela ARSESP – Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo.

O Programa P&D/C&R visa implantar medidas que tenham por objetivo a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico do setor de gás canalizado, bem como o incremento da eficiência energética e da segurança no uso do gás natural.

Uma visita ao site Comgas, www.comgas.com.br, possibilita conhecer os vários Projetos executados e em andamento, assim como identificar de que forma participar.

1.2 O Manual Técnico

Este Manual Técnico do Projeto “*Sistema de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural – Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural*” é resultado de um projeto desenvolvido dentro do Programa P&D/C&R da Comgas.

O Manual Técnico tem como objetivo fornecer orientação adicional aos profissionais responsáveis por projetos e execução de sistemas de aquecimento e procura documentar o desenvolvimento dos estudos relacionados ao tema. O documento concentra o resultado de dois anos de pesquisas, incorporando experiências nacionais e internacionais sobre conceitos de serviços prediais, metodologias de aplicação e tecnologias disponíveis no mercado, aplicadas aos sistemas de aquecimento de água solar com apoio a gás natural.

Este documento consolida um projeto desenvolvido em duas etapas: a primeira responsável pela análise de estruturas, identificação de componentes e estabelecimento de sistemas de aquecimento disponíveis no Brasil, concluída através da publicação do “*Manual de Instalações para Sistema de Aquecimento de Água através do uso da Energia Solar e Gás Natural em Edifícios*”; e uma segunda contemplando a extensão de pesquisas em diversos países, bem como a realização de missões técnicas internacionais, resultando também na publicação desta nova versão do Manual Técnico.

Em função da extensão do assunto, das características técnicas e culturais distintas de cada região, bem como dos fatores ambientais que contribuem para uma grande diversidade de opções tecnológicas e soluções construtivas dos sistemas, este Manual Técnico não pretende tratar ou resolver todas as situações encontradas para se projetar e instalar um sistema predial de aquecimento de água solar com apoio do gás natural. Sua intenção é estabelecer parâmetros básicos de projeto e oferecer aos profissionais diretamente envoltimentos no estabelecimento e implantação de soluções, critérios que o auxiliem a tomar decisões adequadas para desenvolver uma instalação que corresponda às necessidades da edificação e proporcione um serviço adequado ao longo da sua vida útil.

1.3 Equipe de Trabalho

O trabalho foi coordenado pela COMGÁS – Companhia de Gás de São Paulo e desenvolvido em parceria com a ABRINSTAL - Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações e equipe de professores e pesquisadores do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP).

A pesquisa foi elaborada em duas etapas, sendo a primeira ao longo do biênio 2008/2009, e a segunda etapa no biênio 2009/2010, no âmbito do Programa P&D/C&R. Contou-se com ampla cooperação de organizações da sociedade envolvidas com o tema, dentre os quais se destacam: ABRASIP, ABRAVA, ASBEA, SECOVI, SINDINSTALAÇÃO E SINDUSCON. Para os trabalhos internacionais houve a colaboração das seguintes empresas e organizações: American Gas Association – AGA, Baur solar Components, Bosch Portugal, Bosch-Buderus, HG Baunach GmbH &Co., Innova Renewable Consult, National Fire Protection Association – NFPA, Riello Group, Rinnai Austrália, Wagner & Co Solartechnik, Willo GbmH.

A colaboração de todos os parceiros foi fundamental para que neste Manual Técnico pudéssemos apresentar técnicas e métodos construtivos para sistemas para aquecimento de água utilizando a energia solar associada ao gás natural com resultados eficazes no uso racional de energia.

1.4 Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem a contribuição de várias empresas e profissionais, que auxiliaram na disponibilização de informações, na interlocução com entidades nacionais e internacionais, no desenvolvimento dos debates e validação dos resultados, nas missões técnicas internacionais, entre outras atividades. A todos agradecemos o apoio incondicional.

2 Introdução

A radiação solar recebida na superfície da Terra pode ser convertida em calor e contribuir para atender as necessidades energéticas destinadas ao aquecimento de água no setor residencial. Os coletores solares transferem a energia solar absorvida para o fluido a ser aquecido. A possibilidade de utilização da energia solar em edifícios residenciais permite ao consumidor - cada vez mais suscetível às questões ambientais - a possibilidade de uso dessa alternativa energética de forma complementar ao seu consumo atual.

Com relações às questões econômicas e ambientais, a disponibilidade de recursos naturais impôs nos últimos anos a alteração de nossa matriz energética para a produção de eletricidade, promovendo o crescimento mais acentuado da termoeletricidade em detrimento ao da hidroeletricidade. Esta nova realidade exige - seja pela oferta de fontes de energia primária ou pela eficiência na cadeia da sua transformação em energia útil - reflexão a respeito do modo de obtenção de calor.

A utilização dos gases combustíveis representa um grande potencial de economia de energia primária para a produção direta de calor. No setor residencial, a substituição da eletricidade por gases combustíveis para a produção de água quente, além de contribuir para amenizar a pressão sobre as fontes primárias, é primordial para postergar investimentos em transmissão e distribuição de energia elétrica, ao reduzir a demanda particularmente nos horários de pico.

Segundo a Comgás, o mercado residencial constitui o principal foco estratégico de expansão dos seus negócios, devendo influenciar diretamente a estratégia de ampliação das redes de distribuição. Através dessa estratégia, a Comgás deve ampliar o grau de penetração do gás natural, procurando aproximá-lo daquele como o da eletricidade ou do GLP. Percebe-se, portanto, que a realidade transforma-se rapidamente e, dada a perspectiva de se conviver com uma indústria de gás com capacidade de oferta ampliada, a grande ênfase volta-se ao desenvolvimento mais rápido dos mercados.

O aquecimento solar de água que utiliza como energia auxiliar o gás natural traz um grande benefício para a sociedade. Permite a utilização de duas fontes de energia compatíveis com a energia útil, com vantagens para o consumidor e contribuindo para racionalizar os recursos naturais, com vantagens para o meio ambiente.

Para atender a esta perspectiva é necessário refletir sobre alguns desafios a serem vencidos quanto ao projeto e execução das instalações de sistemas prediais para aquecimento de água utilizando-se a energia solar e o gás natural.

A energia solar para o aquecimento de água no setor residencial é uma solução em desenvolvimento no país. Há necessidade de melhor conhecimento sobre dimensionamento, componentes e características técnicas dos sistemas. Há carências tanto de um maior número de profissionais capacitados para atender a demanda, quanto de uma maior divulgação de informações técnicas a respeito.

É importante que a indústria de equipamentos disponibilize tecnologias para responder aos desafios que o mercado apresenta, bem como disponibilize equipamentos que garantam a eficiência e conforto das novas edificações residenciais, as quais deverão sofrer mudanças na infraestrutura para incorporar o sistema solar. Esta é uma tendência que será imposta e atingirá toda a cadeia da construção civil, com certo impacto nos custos, porém, aceitável se os sistemas forem projetados convenientemente.

A utilização da energia solar no setor residencial se apresenta como um grande desafio para projetistas, arquitetos e instaladores. Cada projeto será um projeto diferente, exigindo destes

profissionais: facilidade de adequação, inovação e flexibilidade na execução de projetos e instalação. É necessário aproximar os profissionais da construção civil das soluções técnicas de utilização da energia solar com o gás natural, adaptadas à nossa realidade e utilizadas com sucesso em diversos países.

É com a intenção de subsidiar o profissional a vencer tal desafio que este “Manual técnico para sistemas prediais de aquecimento de água através do uso da energia solar e do gás natural” é apresentado, por iniciativa da maior distribuidora de gás natural do Brasil.

3 Equipamentos

O sistema predial de aquecimento de água através do uso da energia solar e do gás natural é composto por diversos equipamentos e componentes. Este capítulo apresenta o detalhamento dos elementos considerados mais relevantes na construção desse sistema.

3.1 Aquecedor a gás natural

Existem diversos tipos de aparelhos para aquecimento de água a gás natural existentes no mercado com características específicas e que permitem diversidade de aplicações, tais como, água para banho e lavatório, aquecimento de piso e ambiente, piscina, saunas e etc.

Os aparelhos para aquecimento de água podem ser classificados em função do tipo de transmissão de calor para aquecer a água, direto ou indireto; e também do tipo de funcionamento, instantâneo ou de acumulação.

As referências internacionais identificam a utilização de quatro sistemas de aquecimento de água: aquecedor de passagem, caldeira mural e piso, aquecedor de acumulação e sistema conjugado.

3.1.1 Aquecedor de passagem (instantâneo)

Os aquecedores de passagem a gás, também conhecidos como aquecedores instantâneos, são aparelhos compactos que aquecem a água no instante em que existe uma solicitação de demanda nos pontos de consumo. A Figura 1 apresenta um esquema deste tipo de aquecedor.

De uma forma geral, todos os aquecedores de passagem são constituídos por uma unidade de aquecimento na qual há um queimador que permite a combustão adequada do gás natural, e um trocador de calor que transfere o calor gerado pela queima para a água de consumo. Os aquecedores de passagem a gás são concebidos para propiciar, além da melhor eficiência possível, uma adequada exaustão dos gases queimados para o exterior da edificação.

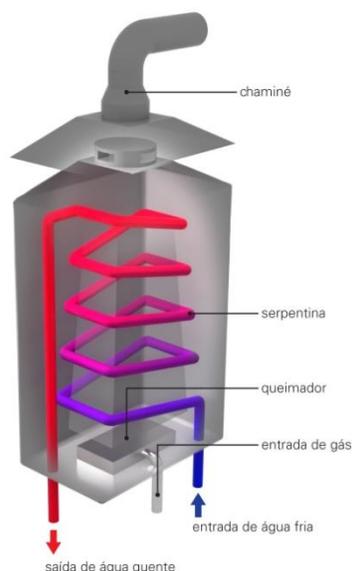


Figura 1 – Esquema dos aquecedores instantâneos

Os aquecedores de passagem a gás natural possuem diversos sistemas auxiliares incorporados que permitem melhor eficiência e controle operacional. Entre as suas principais características que podem ser úteis nos projetos de sistemas de aquecimento solar e gás natural estão: o monitoramento da entrada de água fria, a variação automática da potência do aparelho e o sistema de segurança sobre alta temperatura da água de entrada.

3.1.2 Caldeira mural e piso

As caldeiras murais e piso são equipamentos que possuem um complexo sistema de aquecimento, servindo a diversas aplicações simultaneamente associadas. Esses equipamentos podem ser instalados na parede (mural), assemelhando-se aos aquecedores de passagem, ou apoiados no piso, e possuem diversas variações em função da potência do aparelho.

Os usos simultâneos podem estar associados a um ou mais sistemas independentes de aquecimento de água, que podem ser destinados a aplicações distintas, com circuitos de temperaturas e características de funcionamento específicas.

Na Figura 2 é apresentado um exemplo da caldeira mural sob a capa protetora externa, sendo possível observar vários de seus componentes: o trocador de calor do aquecedor, parte dos queimadores, o exaustor dos gases de combustão, a bomba de circulação de água para circuitos fechados e a estrutura de controle do aparelho.

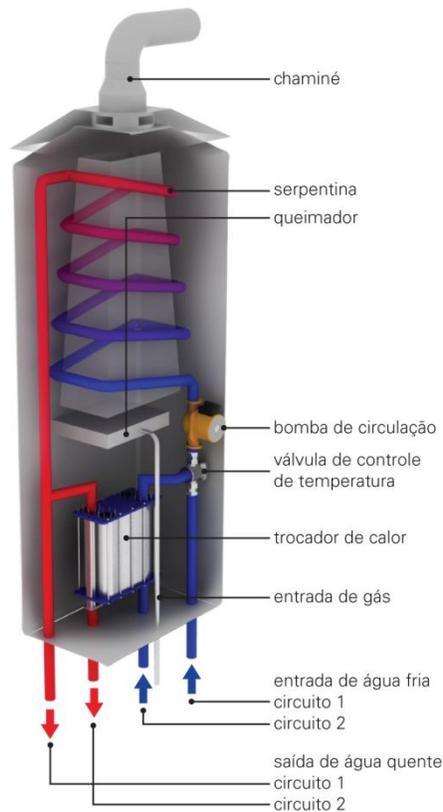


Figura 2 – Detalhe da caldeira mural

As caldeiras murais, assim como os aquecedores de passagem, podem trabalhar como equipamento de aquecimento de um sistema conjugado, sendo possível trocar calor com a água do reservatório através de contato direto ou indireto.

3.1.3 Aquecedor de acumulação

O aquecedor de água do tipo acumulação é um aparelho constituído basicamente por um reservatório de água e uma unidade de aquecimento, que mantém o volume de água armazenado aquecido e disponível para consumo. Este aquecimento é controlado através de termostato, podendo ser ajustado conforme as necessidades do usuário, ligando ou desligando a unidade de aquecimento. Os reservatórios são protegidos com isolante térmico, reduzindo assim a transmissão do calor da água quente armazenada para o ambiente.

Os reservatórios são normalmente construídos em aço, mas outros tipos de materiais são utilizados em função das características da água a ser armazenada, tais como reservatórios em aço revestido com vitrificado ou em aço inoxidável. Destaca-se para reservatórios em aço carbono, a necessidade de utilização de bastões de sacrifício (de alumínio ou anôdo), para evitar corrosão e prolongar a vida útil do reservatório.

Os aquecedores de acumulação são divididos em duas categorias conforme a característica da transferência de calor entre o queimador (fonte de calor) e o reservatório, podendo ser de contato “direto” ou “indireto”, conforme detalhado a seguir.

O sistema de aquecimento é considerado “direto” quando o meio de aquecimento, no caso a fonte de calor, entra em contato direto com a superfície que está em contato com a água de consumo. O aquecedor de acumulação de contato direto é constituído basicamente de um reservatório aquecido por um queimador localizado na parte inferior, que tem por finalidade aquecer a água armazenada.

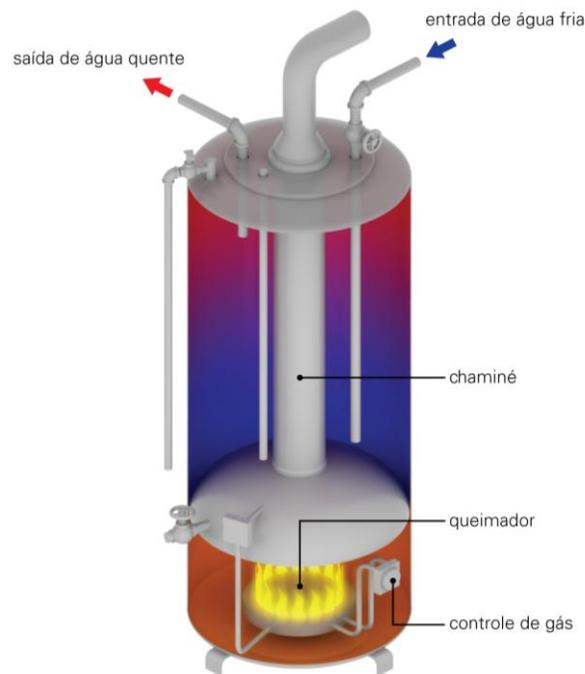


Figura 3– Esquema do aquecedor de acumulação de contato direto

Além do contato da chama do queimador, os gases queimados na combustão, que passam por um tubo central dentro reservatório, também contribuem para troca de calor com a água armazenada. Para aumentar a eficiência da troca de calor existem “chicanas” que provocam turbulências nos gases de combustão com as paredes do reservatório. A Figura 3 apresenta um aquecedor de acumulação de um sistema direto de aquecimento.

Este tipo de sistema de aquecimento apresenta, normalmente, menor durabilidade, se comparado ao sistema de aquecimento indireto, devido às constantes variações de temperatura e a existência de “choques térmicos” que ocorrem entre as altas temperaturas do queimador e baixa temperatura da água que entra no reservatório, normalmente próxima da temperatura ambiente.

No sistema de aquecimento indireto, a fonte de calor não entra em contato direto com a superfície do reservatório que contém água de consumo. Para o aquecimento do reservatório é utilizado um fluido intermediário, podendo ser água (não a de uso), óleo ou outro fluido, que é responsável pela transferência de calor. Este sistema é composto por um queimador, que controla e mantém a temperatura do fluido que irá trocar calor com a água de consumo.

A configuração do sistema de aquecimento indireto permite a utilização de uma geradora de calor para diversos reservatórios, com pressão de usos distintos, além da possibilidade de deslocamento e segregação, entre a geradora e o reservatório de água para consumo. Dessa forma, consegue-se estruturar inúmeras alternativas para implantação de sistemas de aquecimento a gás natural.

3.1.4 Sistema conjugado

O sistema conjugado para aquecimento de água quente é composto por um, ou mais, aquecedor de passagem, responsável pelo aquecimento da água, e de um reservatório térmico para armazenamento da água quente. Em muitos casos podem ser de contato direto ou indireto (quando utilizado trocadores de calor intermediários). A Figura 4 apresenta um esquema de sistema de aquecimento conjugado.

A característica de uso dos sistemas conjugados pode ser comparada aos aquecedores de acumulação, pois possuem o mesmo princípio de funcionamento: o reservatório mantém armazenado um volume de água quente, a certa temperatura, disponível para uso.

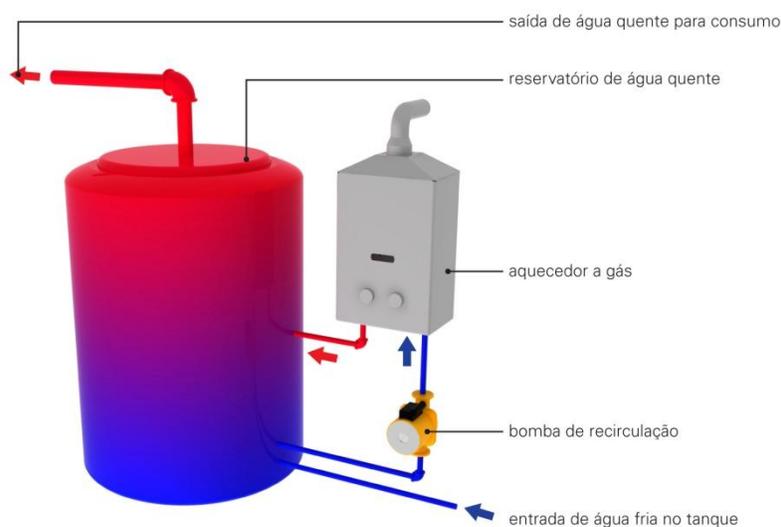


Figura 4 – Sistema conjugado de aquecimento

Nesse tipo de sistema é possível alterar a potência do sistema realizando apenas a troca dos aquecedores, permitindo adequação da potência instalada ao longo da vida útil do sistema e das necessidades de seus usuários. Além disso, é possível trabalhar com diversos aquecedores para aquecimento de água de um mesmo reservatório, o que pode garantir potências mais elevadas e maior segurança quanto ao fornecimento de água quente.

A utilização deste sistema de aquecimento é praticada em diversos países, com a particularidade de utilização de caldeiras murais (ou piso) e troca de calor de forma indireta.

3.2 Coletor Solar

O coletor solar é um trocador de calor que transforma a energia solar radiante em calor. É um dispositivo concebido para absorver a maior quantidade possível de radiação solar, e transferir a maior parte desta radiação para um determinado fluido. São vendidos em módulos que podem ser acoplados entre si conforme a necessidade de energia de aquecimento.

Encontram-se disponíveis no mercado diversos tipos e modelos de sistemas de aquecimento solar, com características específicas para aplicações prediais. A abordagem deste Manual Técnico se concentra na utilização dos sistemas de aquecimento solar destinados ao aquecimento de água em residências multifamiliares (edifícios).

Os coletores são normalmente selecionados em função de sua aplicação, através da definição de características específicas para o uso pretendido. Os coletores solares devem ser resistentes às condições exteriores (clima, intempéries, etc.) e eficiente na conversão da energia compatível com o uso.

3.2.1 Coletores planos com cobertura

Nos coletores planos o fluxo da radiação incidente (irradiância) é uniforme para toda a sua superfície coletora. São equipamentos destinados a aquecer a água a temperaturas compatíveis ao uso sanitário e outras aplicações, tendo sua estrutura apresentada na Figura 5.

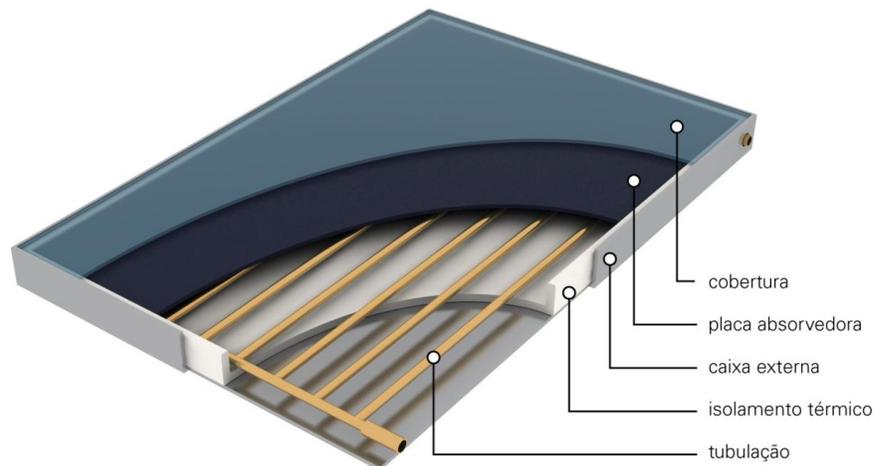


Figura 5 – Esquema aquecedor solar de placa plano

O coletor solar plano é composto por diversos elementos responsáveis pelo melhor aproveitamento possível da radiação solar, conforme detalhado a seguir:

- *Cobertura transparente (A)*: permite a passagem de grande parte da radiação solar (baixos comprimentos de onda) e retém grande parte da radiação emitida pela placa absorvedora. Reduz as perdas de calor por convecção entre a placa absorvedora e o ambiente. Representa uma barreira mecânica à ação meteorológica sobre a placa absorvedora. Este componente pode ser dispensado quando se deseja menores temperaturas para o aquecimento da água.
- *Placa absorvedora (B)*: componente de um coletor solar que absorve parte da energia radiante e a transfere para um fluido.
- *Isolamento térmico (C)*: materiais de baixo coeficiente de condutividade térmica, e tem por objetivo reduzir as perdas de calor entre a placa absorvedora e a estrutura do coletor (caixa).
- *Caixa (D)*: estrutura que protege todos os componentes da ação do meio ambiente. Deve ser estanque e ao mesmo tempo permitir a dilatação térmica dos componentes
- *Tubulação do fluido (E)*: geralmente produzido em material metálico (bom condutor de calor), tem a finalidade de conduzir o fluido a ser aquecido e transferir a energia absorvida da placa absorvedora para o fluido.

3.2.2 Coletores planos sem cobertura

O coletor solar sem cobertura permite a incidência dos raios do sol diretamente na placa absorvedora. Por não possuir cobertura não retém a radiação emitida pela placa absorvedora e produz aquecimento a temperaturas menores que a dos coletores com cobertura, o que os torna mais adequado para aplicações que exigem temperaturas mais baixas, como por exemplo, o aquecimento de piscina. A Figura 6 apresenta um exemplo de coletor sem cobertura.

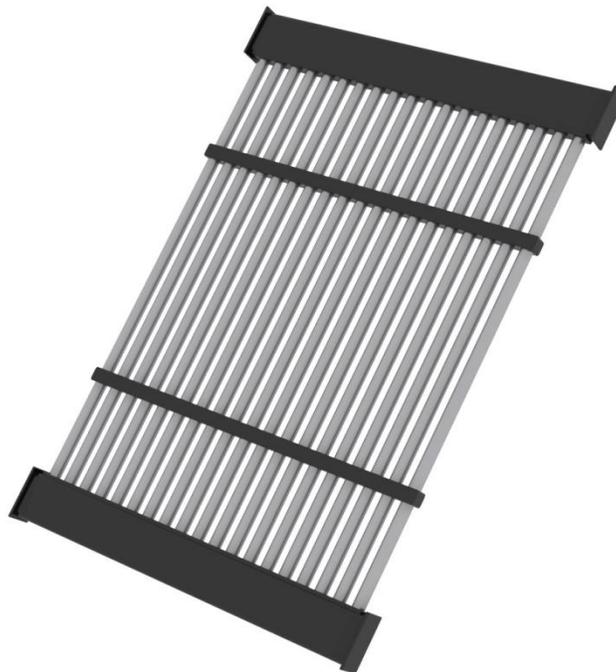


Figura 6 - Coletor plano sem cobertura

3.2.3 Coletores a vácuo

Conforme a aplicação os coletores possuem características que se adaptam à utilização desejada. Em alguns casos, pode-se necessitar de coletores que produzam água a temperaturas mais elevadas, ou até mesmo vapor, como é o caso do uso em complexos hospitalares.

Temperaturas mais elevadas podem ser obtidas através da redução da perda térmica no coletor solar. Diversas técnicas podem ser aplicadas tais como: redução das perdas ópticas com coberturas específicas para essa finalidade, melhor absorção através de coletores de absorção seletiva e, redução das perdas por convecção no interior dos coletores através da criação de vácuo entre o absorvedor e a cobertura. Esta última alternativa caracteriza o coletor a vácuo, cujo exemplo é apresentado na Figura 7.



Figura 7 - Coletores a vácuo

3.2.4 Eficiência dos coletores

A eficiência dos coletores é variável em função das condições climáticas do local, possuindo um comportamento característico para cada coletor, principalmente em função da diferença de temperatura entre a água na entrada e na saída do coletor.

Dessa forma a definição da melhor placa para determinadas aplicações deve ser feita em função das curvas de eficiência, que podem ser obtidas com os dados fornecidos pela Tabela de Eficiência dos coletores solares do INMETRO.

Para exemplificar, a Figura 8 apresenta um gráfico comparativo de rendimentos entre os coletores planos com cobertura e sem cobertura, e coletores a vácuo.

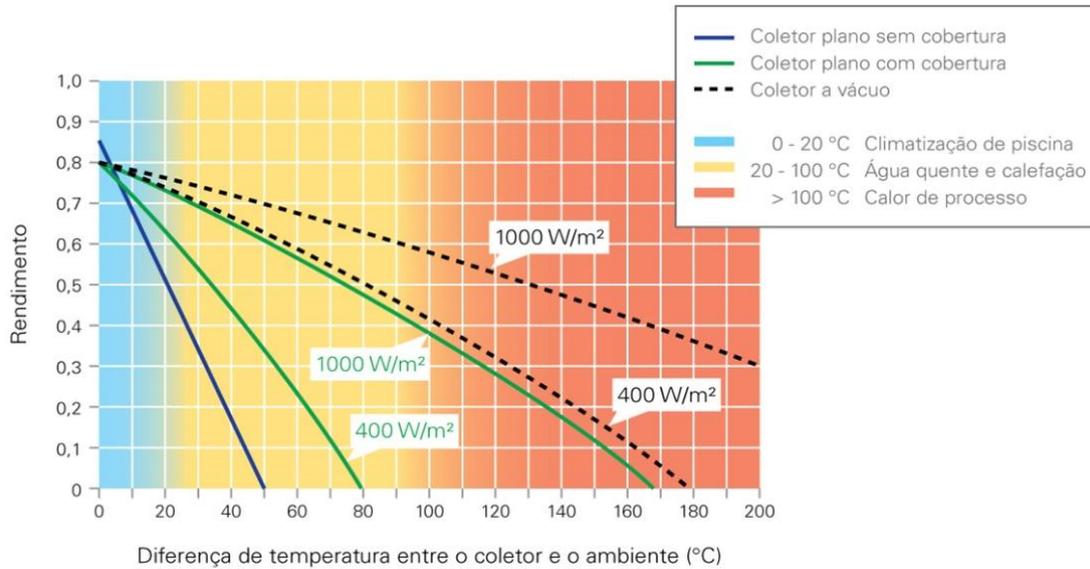


Figura 8 – Eficiências dos coletores planos com e sem vidro

3.2.5 Posicionamento

O posicionamento do conjunto de coletores solares é essencial para o desempenho do sistema de aquecimento solar e sua compreensão possibilita a construção de instalações mais eficientes, onde se aproveita melhor a radiação do sol.

A inclinação em relação ao plano horizontal e a direção de instalação dos coletores solares são os dois elementos que influenciam o dimensionamento do sistema de aquecimento solar. Os coletores solares devem estar expostos ao sol de tal forma que a incidência da radiação solar atinja o coletor o mais que possível perpendicularmente. Como há uma variação da inclinação do sol, conforme a época do ano, os coletores são instalados com uma inclinação que maximiza e uniformiza, mês a mês, a incidência da radiação solar durante o período de um ano.

Como regra básica, identificada em diversas metodologias internacionais, é recomendada que a instalação possua uma inclinação equivalente à latitude da região onde será instalado o sistema solar, somando-se 10°. Como exemplo, para a cidade de São Paulo, localizada a latitude aproximada de 23°, recomenda-se a instalação dos coletores com 33° de inclinação. Dependendo da fonte onde é pesquisada a radiação solar incidente do local há a informação da melhor inclinação para otimização do aproveitamento.

Além da inclinação, os coletores devem estar direcionados simétricos em relação à trajetória do sol, posição que permite o maior tempo de incidência do sol ao longo do dia. O maior aproveitamento ocorre quando os coletores solares são direcionados para o Norte Geográfico (quando instalados no hemisfério Sul como no caso do Brasil). A instalação pode ser realizada dentro de uma faixa de tolerância da direção, conforme apresentado na Figura 9.

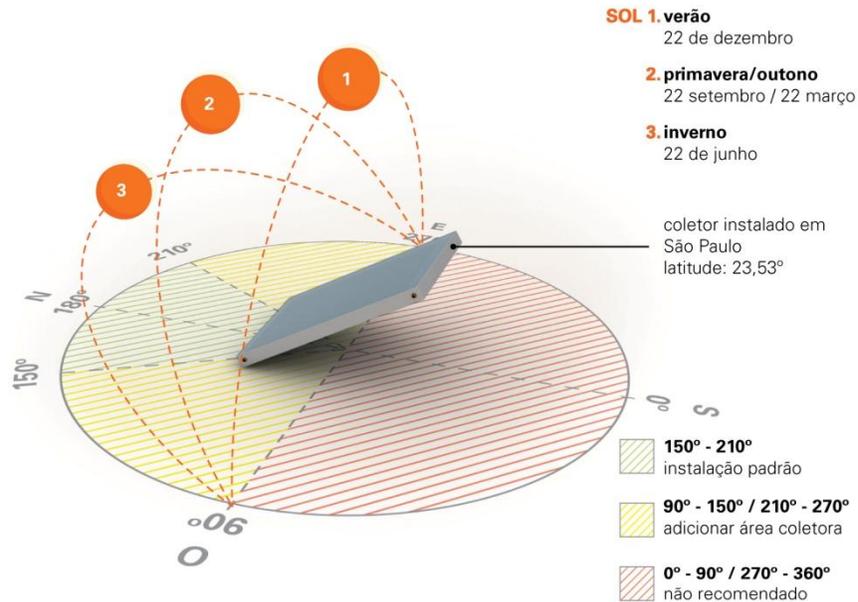


Figura 9 – Trajetória do sol e desvio do Norte geográfico (ângulos azimutais de superfície)

3.2.6 Associações de coletores

Os coletores solares devem ser instalados, e interligados entre si, conforme orientação do fabricante, devendo ser verificado o sentido do fluxo da água e a configuração do sistema.

Como princípio básico de interligação dos coletores, pode-se resumir as associações em: paralelo, em série ou misto, conforme a Figura 10.

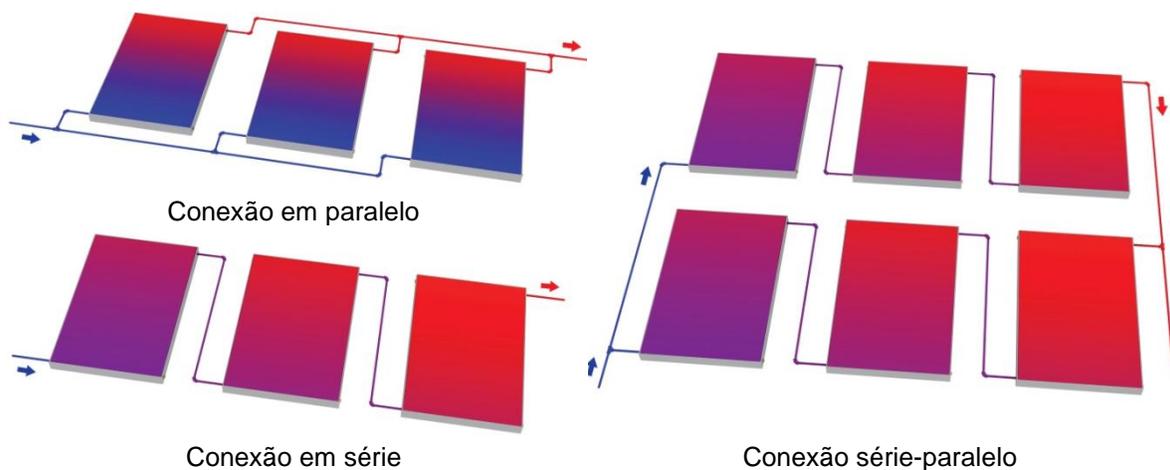


Figura 10 – Ligação dos coletores

As ligações em série permitem que um determinado volume de água obtenha uma maior temperatura de água em função do maior tempo de percurso dentro dos coletores, conforme apresentado na Figura 11.

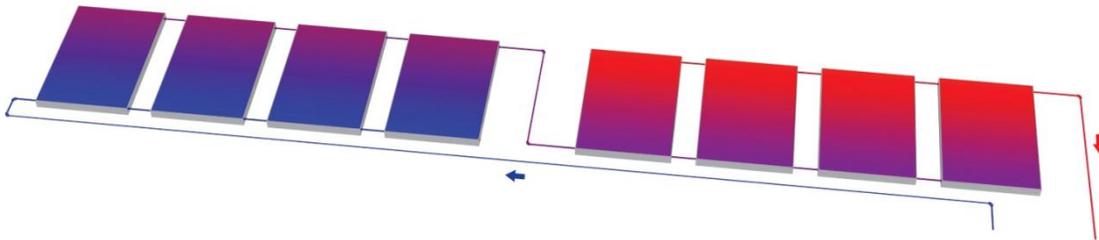


Figura 11 – Ligação de conjuntos de coletores em série

Contudo, temperaturas elevadas tendem a reduzir a eficiência de troca de calor, entre a água e o coletor. Dessa forma, evitam-se muitos coletores ligados em série mesclando o sistema com fileiras de coletores em paralelo, conforme apresentado na Figura 12.

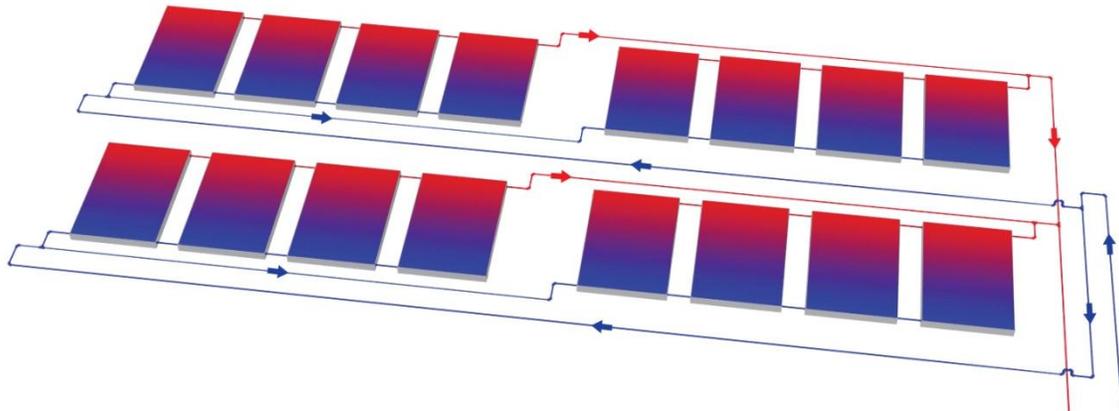


Figura 12 – Ligação de conjuntos de coletores em paralelo

O critério para a seleção dos coletores em série e paralelo são muito divergentes conforme a referência a ser utilizada. Essa divergência normalmente ocorre vinculada às diferenças das características específicas dos coletores solares ou dos sistemas de circulação adotados (características das bombas de circulação).

Recomenda-se a consulta aos fabricantes de coletores solares para identificação da associação mais eficiente.

3.3 Reservatórios e trocadores de calor

3.3.1 Reservatórios

A produção de água quente pode ser armazenada em reservatórios térmicos, permitindo sua disponibilização em função da real necessidade dos usuários.

Os reservatórios possuem diversas configurações que devem ser analisadas e selecionadas em função das características do sistema de aquecimento e do local da instalação. O volume dos reservatórios é uma das principais configurações a serem determinadas, e normalmente deve ser

calculado em função da necessidade de água quente que deve estar disponível para uso da edificação. Referências internacionais indicam a utilização de diferentes volumes em função da quantidade de pessoas residentes numa determinada unidade habitacional como, por exemplo: 160 a 200 litros para 1 a 2 pessoas, 300 a 370 litros para 3 ou 4 pessoas e 440 litros nos casos de 5 a 6 pessoas.

Como esses reservatórios armazenam água quente por longos períodos, devem possuir isolamento térmico para reduzir a troca de calor entre a água quente armazenada e o ambiente. Em geral, o isolamento térmico é maior quando os reservatórios ficam expostos ao ambiente.

Os diferentes tipos de materiais utilizado nos reservatórios são normalmente estabelecidos em função das características da água utilizada nos sistemas de aquecimento, porém são geralmente confeccionados em aço inoxidável ou aço vitrificado com revestimento em epóxi. Os reservatórios podem ser do tipo “sem trocador”, com trocador do tipo “serpentina interna” e com trocador do tipo “camisa”. No reservatório sem trocador a água de consumo é a mesma que passa pelo sistema de aquecimento, exceto quando utilizado trocadores externos aos reservatórios. O reservatório com serpentina e o reservatório com camisa são sistemas de troca de calor do tipo indireto, onde a água quente que circula pela serpentina, ou pela camisa externa, troca calor por condução com a água destinada ao consumo. Esses modelos são apresentados na Figura 13.

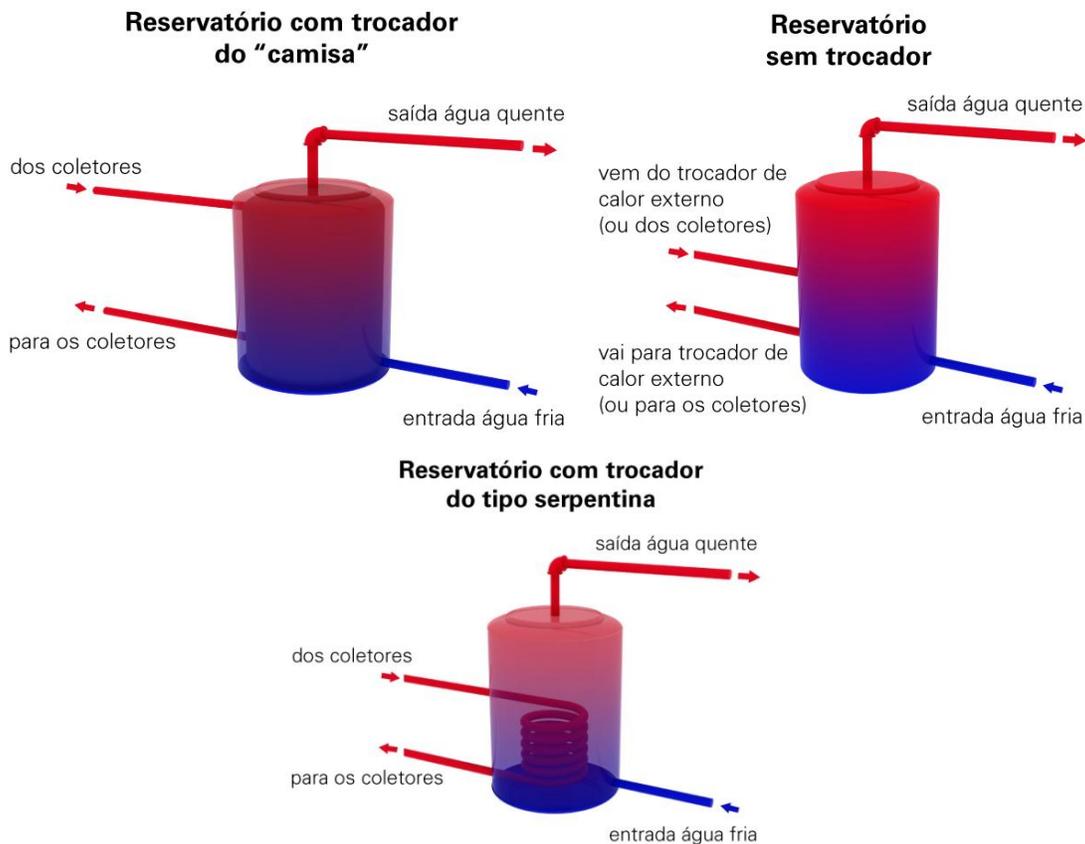


Figura 13 – Tipos de reservatórios térmicos

3.3.2 Trocadores de calor

Os trocadores de calor são equipamentos que promovem a troca de calor entre dois fluídos sem que estes se misturem. Para isto existem diversos modelos, podendo ser do tipo serpentina, placa, aletas etc. Na Figura 14 é apresentado um trocador de calor, do tipo placa.

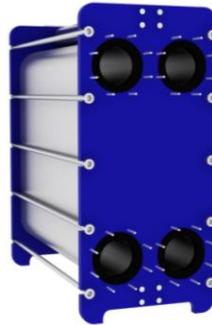


Figura 14 – Detalhe do trocador de placa

A utilização de trocadores de calor nos sistemas de aquecimento solar instalados, entre os coletores solares e o reservatório, ou o sistema de distribuição: permite que o circuito do sistema de aquecimento solar utilize líquidos com aditivos de forma a minimizar efeitos de corrosão e deposição de sólidos, assim como reduzir os efeitos de congelamento. São geralmente utilizados com o intuito de aumentar a vida útil dos coletores solares.

3.4 Acessórios

3.4.1 Controles

Sistemas de controle são essenciais para otimizar o funcionamento dos sistemas de aquecimento solar, de forma a permitir um melhor aproveitamento da radiação solar e da redução das perdas térmicas do sistema.

O sistema mais simples utilizado, considerado como básico em qualquer instalação de sistema de aquecimento solar com circulação forçada, é o de monitoramento da temperatura diferencial entre os coletores solares e o reservatório térmico, conforme apresentado na Figura 15.

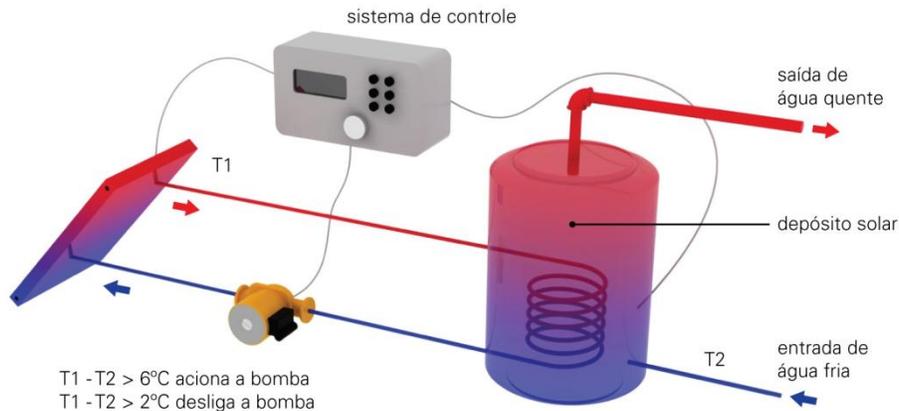


Figura 15 – Sistema de controle com diferencial de temperatura

Nesta configuração, quando a temperatura do coletor possui uma determinada temperatura acima da temperatura do reservatório, a bomba de recirculação é acionada e transporta o fluido dos coletores para dentro o reservatório, caso contrário o sistema é desligado. Alguns valores podem ser adotados com relação à diferença de temperatura de acionamento, que a bomba é acionada com 6°C de diferencial e desligada com 2°C. Essa função evita a ocorrência de resfriamento da água armazenada nos coletores quando estes estão com temperatura mais baixa.

Pode-se utilizar um sistema de monitoramento dos coletores solares, além do acionamento para o aquecimento do reservatório, para evitar o congelamento em dias com baixa temperatura, através da circulação de água nos coletores.

Também podem ser utilizadas válvulas misturadoras na saída de água quente do reservatório, ou na entrada de cada unidade habitacional, de forma a controlar a temperatura máxima na rede de água quente.

Os principais tipos de sistemas de controle que podem ser utilizados são os seguintes:

- Alerta de mau funcionamento
- Aquecimento seco (quando o tanque está sem água)
- Aviso de falha no sistema
- Configuração de temperatura e aquecimento
- Controle de temperatura
- Controle de vazão variável (para suprir demanda de diferentes pontos de consumo simultaneamente, sem flutuação)
- Controle eletrônico de temperatura
- Controle remoto de temperatura (permite ajustar a temperatura ideal para diferentes pontos de consumo)
- Desligamento automático em caso de super aquecimento
- Painel de controle com funções de acionamento e desligamento automático
- Proteção contra super aquecimento
- Válvula de fechamento automático do gás

Além do sistema de monitoramento dos coletores há aplicações de sistemas de controle para monitorar a alimentação de água quente nos apartamentos de forma otimizada, ou o gerenciamento das temperaturas dos reservatórios em função da demanda de água quente.

3.4.2 Bombas

As bombas são usadas em sistemas de circulação forçada, onde a água ou fluido térmico precisa circular com velocidade e fluxos específicos de forma a garantir o funcionamento e eficiência do sistema de aquecimento. O tamanho das bombas depende do tamanho do sistema e da distância/altura entre os coletores e o reservatório térmico. A Figura 16 apresenta um exemplo de bomba de circulação.



Figura 16 – Exemplo de bomba de circulação

3.4.3 Válvulas termostáticas

As válvulas misturadoras, ou termostáticas, tem a função de controlar, ou limitar, a temperatura da rede de distribuição de água quente, adicionando água fria, caso a rede esteja com temperaturas mais elevadas que a pré-estabelecida. Na Figura 17 há um exemplo de válvula de controle de temperatura.



Figura 17 – Exemplo de válvulas de controle de temperatura

A temperatura de acionamento da válvula pode ser regulada, sendo que as mais comuns trabalham com temperaturas entre 49 e 71 °C.

3.4.4 Vasos de expansão

Os vasos de expansão são itens de segurança imprescindíveis para os sistemas de aquecimento indiretos, pois absorvem parte das variações de pressões da rede geradas por expansão térmica (variação de temperatura). Nesses vasos existe uma câmara onde o ar é preso dentro de um diafragma, que se expande ou contrai de acordo com a pressão no sistema. A Figura 18 apresenta um exemplo de vaso de expansão.



Figura 18 – Exemplo de vaso de expansão

4 Configurações de sistemas Solar & Gás Natural

Por questões econômicas ou técnicas, os sistemas de aquecimento solar nem sempre são projetados para atender a demanda total de água quente durante o ano inteiro. Para complementar a demanda de água quente utiliza-se um sistema de aquecimento auxiliar (apoio). Este Manual Técnico trata com exclusividade os sistemas de aquecimento de água que utilizam a energia solar e tem como apoio o gás natural.

As configurações do sistema solar & gás natural descritas a seguir são fruto do resultado das pesquisas internacionais realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho. Investigações foram realizadas no sentido de se identificar quais as principais soluções adotadas em diversos países que se utilizam do gás natural como energia complementar. Neste Manual são apresentadas as configurações que melhor se adaptam às características específicas das construções encontradas no Brasil.

Destaca-se que apesar das configurações apresentadas refletirem a referência internacional atual, variações podem ser necessárias de forma a adequar o sistema às características particulares de cada edificação a ser projetada.

4.1 Sistema de aquecimento solar com apoio de aquecedor individual de passagem a gás natural

Esta configuração consiste no conjunto composto por coletores solares, reservatório térmico de água quente e aquecedores individuais instalados em cada unidade habitacional. O reservatório tem por objetivo armazenar a produção de água quente do sistema solar para atender a demanda coletiva da edificação, tratado e dimensionado independentemente do sistema auxiliar de aquecimento a gás natural; e os aquecedores individuais são utilizados para aquecer a água proveniente do sistema solar quando sua temperatura encontra-se abaixo da desejável para uso.

Para que os aquecedores sejam acionados com temperaturas pré-determinadas, fornecendo apenas a quantidade de energia necessária para atingir uma temperatura desejada, devem ser instalados dispositivos de controle de temperatura e aquecedores a gás com potência modulável. Nestes casos, sensores identificam quando a temperatura da água do sistema solar encontra-se abaixo da especificada pelo usuário, acionando o aquecedor de passagem a gás natural para suprir apenas a diferença da temperatura necessária.

Além do controle de temperatura para acionamento do aquecedor individual de passagem, é importante que o sistema tenha dispositivos adicionais para monitorar a temperatura nos coletores solares e na rede de distribuição de água quente, evitando que haja circulação de água quente no sistema quando a temperatura dos coletores estiver mais baixa que a temperatura de água da rede.

4.1.1 Reservatório solar central e aquecedores de passagem individuais a gás natural

O funcionamento desta configuração consiste na utilização do sistema de aquecimento solar como um pré-aquecimento de água, a ser complementado pelos aquecedores de passagem a gás, localizados em cada unidade habitacional. A Figura 19 apresenta um esquema de funcionamento desse tipo de configuração.

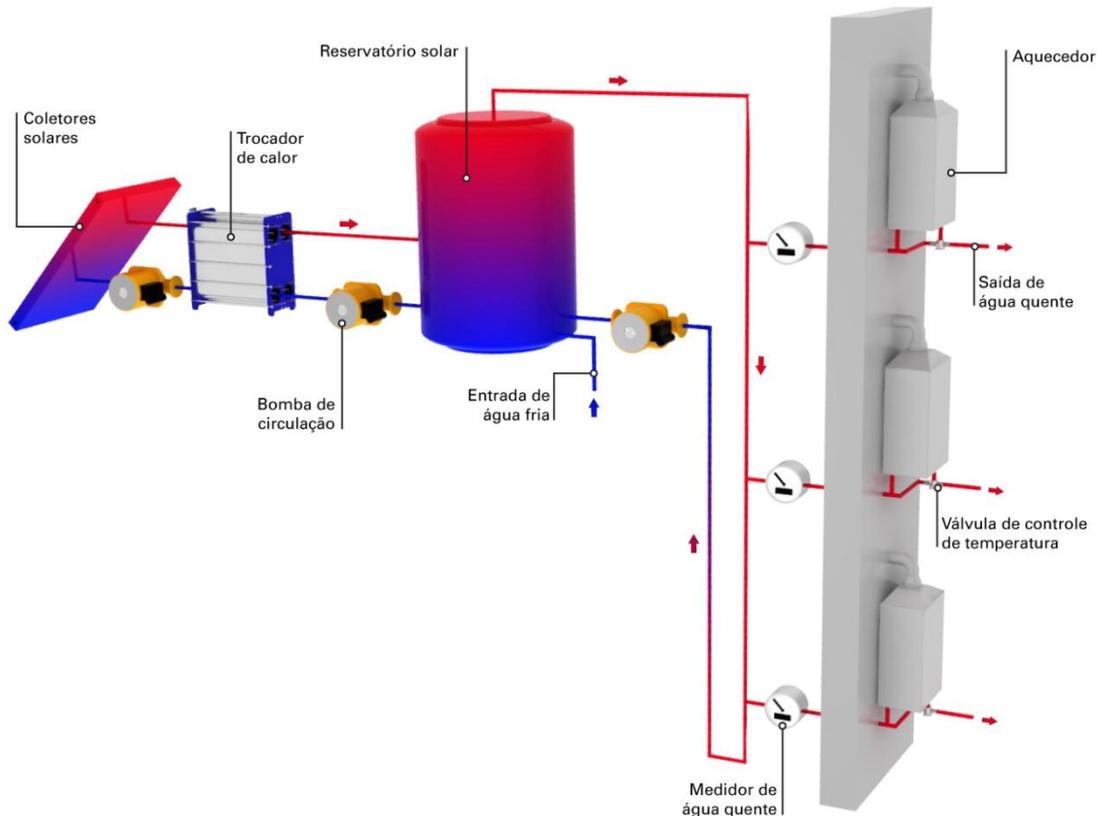


Figura 19 – Esquema sistema solar com aquecedores de passagem a gás natural

O sistema solar é acionado sempre que a temperatura do coletor solar é superior à temperatura da água fria do reservatório térmico, através de bombas de circulação que promovem a movimentação dos fluidos entre trocador-coletor (primário) e trocador-reservatório (secundário), transferindo assim o calor proveniente dos coletores para o reservatório do sistema solar através de uma troca térmica em um trocador de calor. Esta transferência de calor pode ser feita sem a utilização de trocadores de calor, sendo realizada de forma direta com apenas uma bomba, porém impossibilita a utilização de outros tipos de fluidos (permitindo maior durabilidade dos coletores e a incorporação de anti-congelante) no circuito dos coletores solares.

Após o aquecimento da água do reservatório térmico, esta circula através de prumadas que possibilitam sua distribuição entre os andares (rede de distribuição coletiva) de forma a manter uma rede de água constantemente quente. Quem garante a manutenção desta rede de água aquecida é a bomba de circulação da rede (distribuição), que extrai a água quente e devolve a água morna para o reservatório térmico através de um controle de temperatura (liga ou desliga a bomba conforme a temperatura da água na rede).

Quando o usuário solicita água quente para consumo, ela sai da rede de distribuição coletiva e entra no apartamento. Antes de ir para o ponto de consumo a água passa por uma válvula de controle de temperatura que tem por finalidade direcionar seu fluxo: a) direciona a água quente diretamente para o consumo (quando a temperatura estiver adequada), ou direciona para o aquecedor de passagem complementar o aquecimento de água para as condições de uso. É recomendável que sejam utilizados aquecedores de passagem com controle de temperatura, de forma que, quando acionado o aquecedor, este forneça apenas a energia necessária para atingir a temperatura requisitada para uso.

Neste tipo de configuração, apesar da existência do sistema central solar, é o aquecedor de passagem que tem a função de atender toda a demanda de água quente, ficando limitado às vazões máximas desse aparelho a gás.

A medição do consumo de água quente da unidade habitacional pode ser feita através de medidores individuais específicos para o uso em água quente, instalados na entrada de cada unidade habitacional. O consumo de gás é individual associado à utilização dos aquecedores de passagem de cada unidade habitacional.

4.1.2 Reservatório solar individual e aquecedores de passagem individuais a gás natural

O funcionamento desta configuração consiste na utilização do sistema de aquecimento solar como um pré-aquecimento da água, a ser eventualmente complementado pelos aquecedores de passagem a gás, sendo que os reservatórios térmicos e os aquecedores são localizados em cada unidade habitacional. Essa alternativa é apresentada na Figura 20.

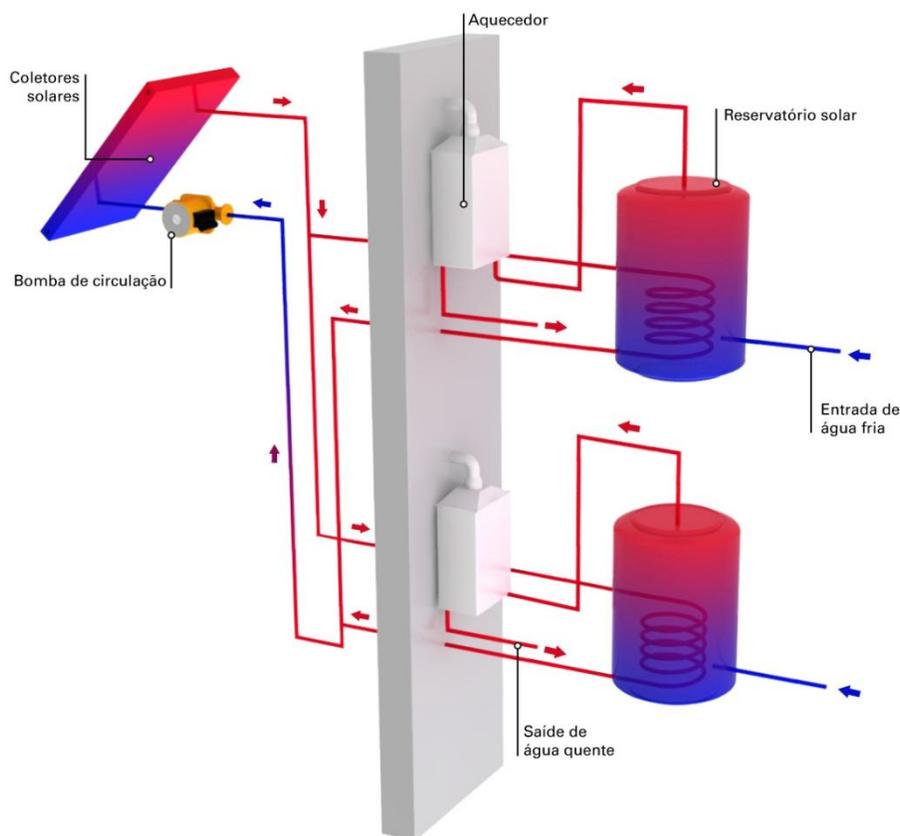


Figura 20 - Esquema sistema solar distribuído com aquecedores de passagem a gás natural

O funcionamento do sistema solar ocorre através do acionamento da bomba da rede de distribuição coletiva sempre que a temperatura da água no coletor solar for maior do que o retorno existente na rede de distribuição. Essa rede de água quente transfere o calor para os reservatórios térmicos através de trocadores de calor (interno ou externo ao tanque). A distribuição de água quente deve ocorrer de forma a permitir uma homogeneidade nas pressões e vazões de água que circula por cada reservatório, evitando a priorização de fornecimento de energia para uma ou outra unidade habitacional. Caso esta equalização não seja possível podem ser utilizadas bombas de

circulação individual para cada unidade habitacional, acionadas em função de termostatos que indiquem a possibilidade de complementação de água quente advindo do sistema solar.

A partir dos reservatórios térmicos de cada unidade habitacional, a quantidade de água a ser solicitada para o consumo passará por um aquecedor de passagem para complementar a temperatura até que atinja a temperatura adequada de consumo. Este aquecedor deverá possuir dispositivo que analise a temperatura da água e deve ser acionado somente quando necessário.

Embora o reservatório térmico esteja localizado no interior da unidade habitacional, ele pode não fornecer água quente diretamente para o consumo, uma vez que pode ser necessário o acionamento do apoio a gás. Neste caso deve-se considerar as limitações associadas ao uso do aquecedor de passagem, particularmente a limitação de vazão no fornecimento da água quente.

Através desta configuração a água quente para consumo não provém do sistema de aquecimento solar. Deste sistema será retirado somente o calor, dispensando assim a necessidade de medidores individuais para água quente, pois a medição de consumo será feita pelo consumo de água fria que alimenta o reservatório térmico. O consumo de gás é medido individualmente, vinculado à utilização dos aquecedores de passagem instalados nas unidades habitacionais.

4.2 Sistema de aquecimento solar com apoio de aquecedor individual de acumulação a gás natural

No sistema de aquecimento solar associado a um sistema de acumulação individual a gás natural pode haver, ou não, a necessidade de um reservatório solar coletivo. Nesta configuração o sistema de aquecimento solar transfere calor para diversos reservatórios de acumulação localizados dentro de cada unidade habitacional. Desta forma, os reservatórios também funcionam como apoio do sistema solar.

Deve-se prever uma rede de recirculação que distribua a água quente proveniente do sistema de aquecimento solar. Válvulas monitoram a temperatura de cada reservatório transferindo calor do sistema solar sempre que necessário. Dessa forma a distribuição de calor ocorre apenas nos instantes em que os reservatórios necessitam, evitando uma distribuição desigual da energia.

O aquecimento dos reservatórios é realizado normalmente através de serpentinas, sem que haja a mistura de pressões da rede, o que evita a necessidade de redutoras de pressão no sistema de distribuição coletivo de água quente (não dispensando, no entanto, a redução da pressão do sistema de distribuição de água fria).

No caso em que o reservatório contenha água a temperatura inferior a desejável pelo usuário, o sistema de aquecimento a gás natural é acionado.

A principal razão para o uso deste sistema é a necessidade de consumo de água quente com vazões acima dos limites fornecidos pelos aquecedores de passagem existentes no mercado, necessitando assim um armazenamento adicional de água quente.

4.2.1 Aquecedores de acumulação individuais

O funcionamento desta configuração consiste na utilização do sistema de aquecimento solar como um pré-aquecimento de água a ser complementado através de aquecedores de acumulação individuais localizados em cada unidade habitacional. A Figura 21 ilustra esse tipo de solução.

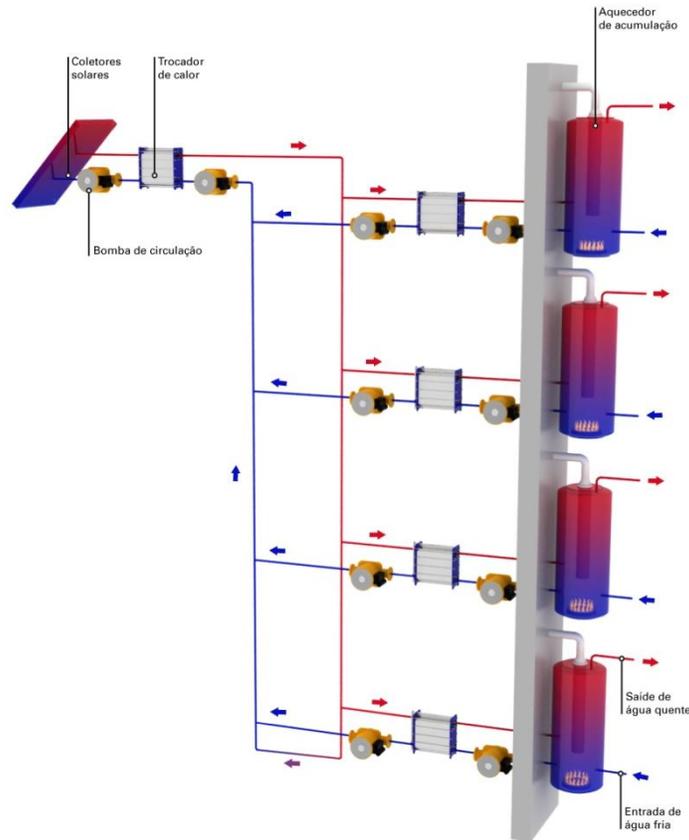


Figura 21 – Esquema sistema solar com sistemas de acumulação individual

O sistema solar é acionado sempre que a temperatura da água do coletor solar é superior à temperatura na rede de distribuição coletiva, através do acionamento das bombas de circulação do trocador-coletor (primário), transferindo assim o calor proveniente dos coletores para o trocador de calor e depois para a rede de distribuição coletiva de água quente (secundário). Esta transferência de calor pode ser feita sem a utilização de trocadores de calor, fazendo-a de forma direta com apenas uma bomba. Neste caso observam-se cuidados adicionais com a utilização de aditivos na água para uma maior durabilidade dos coletores e a incorporação de anti-congelante no circuito dos coletores solares.

Quando a temperatura da água no interior do aquecedor de acumulação estiver abaixo da temperatura programada de armazenamento, e se a temperatura da água na rede de distribuição for maior que a do reservatório de acumulação, aciona-se o sistema de troca térmica transferindo-se o calor disponível na rede de distribuição para o aquecedor de acumulação. Este sistema pode ser composto por duas bombas de circulação no caso de trocador de calor externo ao reservatório, ou através de uma única bomba de circulação caso o trocador esteja dentro do reservatório. Nos casos em que a rede de distribuição não possui temperatura suficiente para aquecimento do aquecedor de acumulação individual o queimador a gás incorporado será acionado.

Desta forma é possível manter um volume de água quente armazenado garantido pelo sistema solar e pelo sistema a gás, o que possibilita o consumo de água quente sem restrições de vazão e demanda. É importante que o reservatório esteja adequadamente dimensionado em função da demanda.

Nesta configuração não há o consumo de água quente permanente do sistema de aquecimento solar, realizando-se apenas o consumo de calor, o que dispensa a necessidade de medidores de

água quente. O consumo de gás é individualizado em função da utilização dos aquecedores de acumulação individuais instalados nas unidades habitacionais.

4.2.2 Aquecedores de acumulação conjugados individuais

Através desta configuração os reservatórios térmicos e aquecedores a gás estão localizados em cada unidade habitacional. O funcionamento se dá utilizando-se o sistema de aquecimento solar como um pré-aquecimento de água para os sistemas de aquecimento conjugados individuais. Na Figura 22 há um esquema típico deste tipo de sistema.

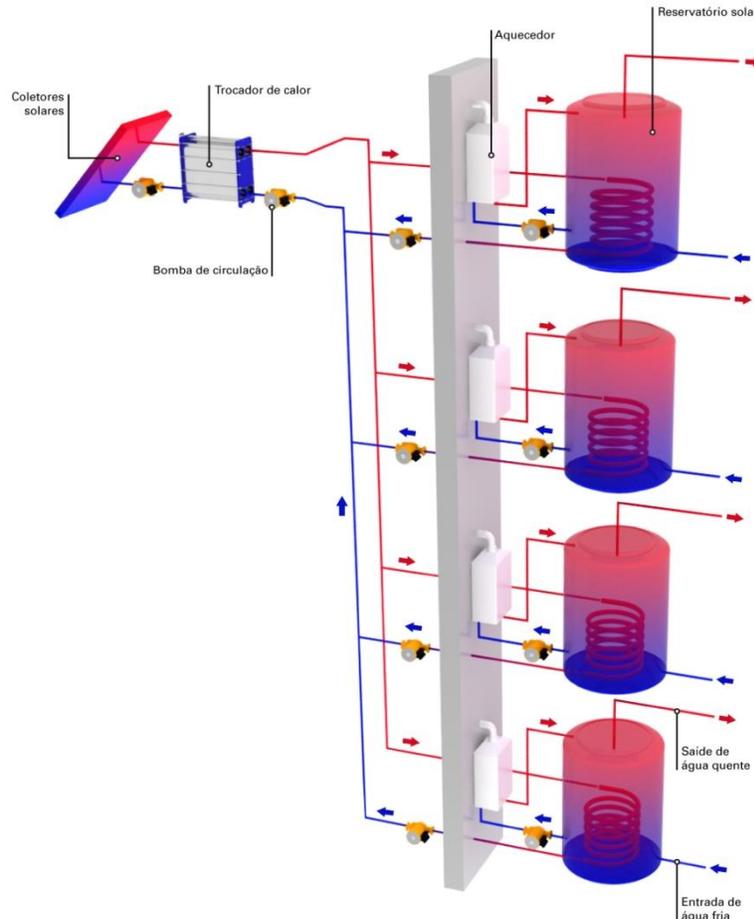


Figura 22 – Esquema sistema solar com sistemas conjugados individuais

Nesta configuração o sistema solar entra em funcionamento através da bomba de circulação da rede de distribuição coletiva, sempre que a temperatura da água do coletor solar for maior do que a da rede de distribuição. A transferência de calor entre a água aquecida pelos coletores solares e a rede de distribuição pode ocorrer através da utilização de trocadores de calor.

Conectados a rede de distribuição, há uma derivação para cada unidade habitacional, na qual se encontra instalado um reservatório térmico, que possibilita a utilização do calor da rede de distribuição coletiva para o aquecimento da água armazenada. A troca de calor é realizada por bombas de circulação acionadas em função da diferença de temperatura entre os reservatórios e a rede de distribuição de água quente.

Quando a temperatura do reservatório individual estiver abaixo da temperatura da rede de água quente, é acionada a bomba de circulação individual que pega a água da rede de distribuição, circula pelo trocador de calor do reservatório (que pode ser interno ao tanque ou externo), transfere calor para o reservatório e envia a água fria para a rede de retorno do sistema de distribuição, até que a temperatura do reservatório atinja a temperatura programada.

Apenas quando a temperatura do reservatório atinge valores abaixo do limite mínimo pré determinado (definido pelo usuário) é que o sistema auxiliar a gás será acionado, através da bomba de circulação do aquecedor de passagem, a qual aciona o aquecedor, recuperando assim, a temperatura do reservatório.

Dessa forma é possível manter um volume de água quente armazenado garantido pelo sistema solar e pelo sistema a gás, permitindo um consumo de água quente sem restrições específicas de vazão e demanda. Observa-se que o reservatório deva estar adequadamente dimensionado e em função da demanda.

Nesta configuração não há consumo de água quente do sistema de aquecimento solar, havendo apenas o consumo de calor, o que dispensa a necessidade de medidores de água quente. O consumo de gás é individual, função da utilização dos aquecedores de passagem instalados nas unidades habitacionais.

4.3 Aquecimento solar associado a sistema de aquecimento coletivo a gás natural

Esta configuração é a que mais se aproxima do sistema convencional de aquecimento solar. Nela o apoio a gás é feito através de uma central de água quente.

Dessa forma, o sistema de aquecimento a gás natural aquece apenas o reservatório destinado e dimensionado para este apoio, otimizando o funcionamento de todo o sistema.

Em função das variações no suprimento de água quente e da capacidade de recuperação do sistema de aquecimento solar, o tamanho do reservatório térmico necessário para atender a demanda prevista do edifício pode tornar a solução inviável do ponto de vista prático. Nesses casos é possível a adoção de reservatórios independentes, uma para armazenamento da água quente proveniente do sistema de aquecimento solar e outro para o sistema de aquecimento central a gás.

4.3.1 Sistema conjugado central (geradora de água quente)

O funcionamento desta configuração consiste na utilização do sistema de aquecimento solar como um pré-aquecimento de um sistema central conjugado a gás (ou de uma geradora de água quente a gás). A Figura 23 ilustra um sistema de aquecimento solar com apoio de sistema de aquecimento central a gás natural.

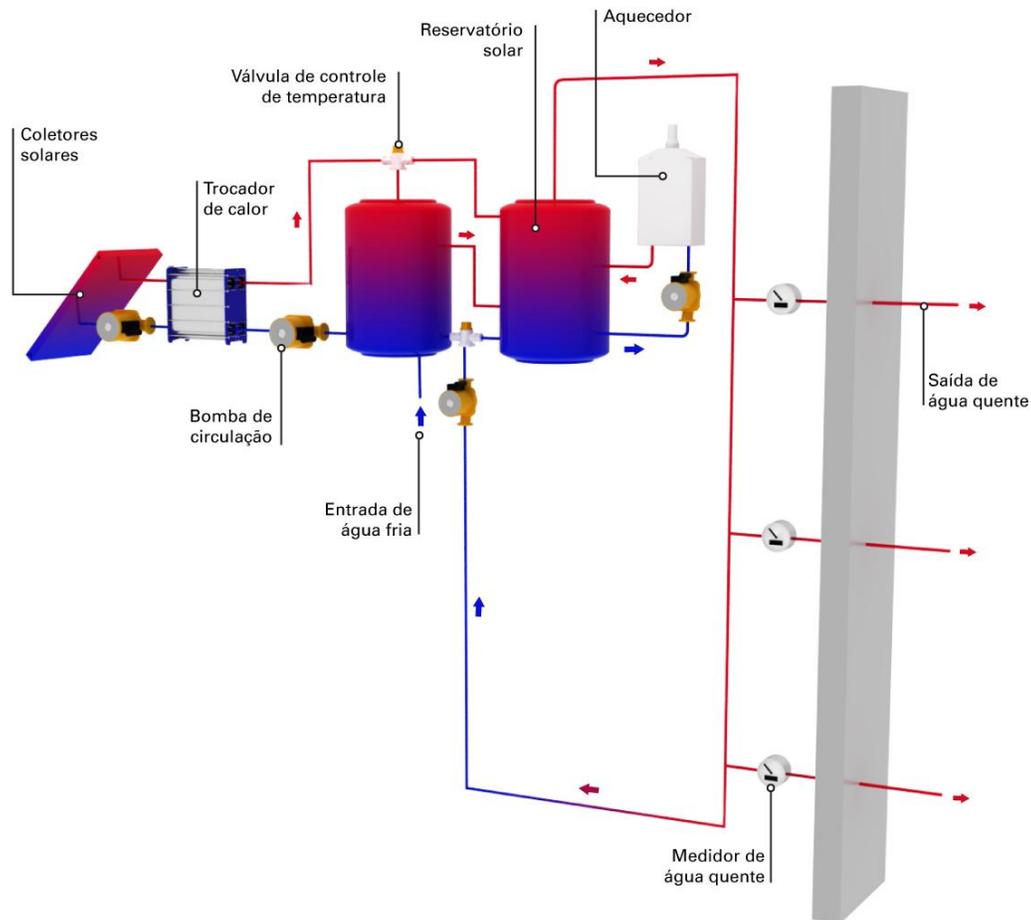


Figura 23 – Esquema sistema solar com sistema conjugado coletivo

O sistema solar é acionado sempre que a temperatura do coletor solar for superior à temperatura da água fria do reservatório térmico do sistema solar, acionando as bombas de circulação do trocador-coletor (primário) e do trocador-reservatório (secundário), transferindo assim o calor proveniente dos coletores para o trocador de calor e depois para o reservatório do sistema solar. Esta transferência de calor pode ser feita sem a utilização de trocadores de calor, de forma direta com utilização de uma bomba de circulação, porém impossibilita a utilização de aditivos na água (como anti-congelante) que possibilitam maior durabilidade dos coletores solares.

O reservatório do sistema coletivo a gás é instalado em série ao reservatório do sistema solar. Dessa forma, a água quente proveniente do trocador de calor passa por uma válvula controladora de temperatura que vai analisar a temperatura da água e direcionar para o reservatório do sistema solar ou para o reservatório do sistema coletivo a gás. Essa decisão do direcionamento da água quente ocorre para permitir que a água com temperatura elevada mais seja direcionada para o reservatório do sistema a gás, aumentando a temperatura média deste reservatório de forma mais rápida, evitando a entrada em operação dos aquecedores; porém, no caso de temperatura da água abaixo da temperatura média do reservatório do sistema a gás, a água é direcionada para o reservatório do sistema solar, evitando o resfriamento do sistema coletivo a gás.

Seja pelo consumo de água quente pelas unidades habitacionais, ou pelo acionamento da bomba de circulação da rede de distribuição de água quente (com o objetivo de manter a temperatura mínima da água na rede de distribuição coletiva), a água sai do ponto mais alto do reservatório do sistema a gás (região na qual a água está com maior temperatura) fazendo com que a água mais quente do reservatório solar entre no ponto mais baixo do reservatório do sistema a gás.

No sistema de circulação da rede de distribuição de água quente, o retorno da rede também passa por uma válvula controladora de temperatura que analisa a temperatura da água e direciona o fluxo de água para o reservatório do sistema solar ou para o reservatório do sistema gás, com o objetivo de aproveitar o calor residual da rede, porém sem resfriar o reservatório do sistema a gás.

Através da medição de água quente é possível fazer o rateio do consumo de gás, de forma proporcional ao consumo de água quente.

4.3.2 Aquecedores de passagem coletivos

O funcionamento desta configuração consiste na utilização de um sistema de aquecimento solar central que se utiliza de um conjunto de aquecedores de passagem a gás para aquecimento complementar. A Figura 24 ilustra um sistema de aquecimento solar com apoio através de aquecedores de passagem centrais.

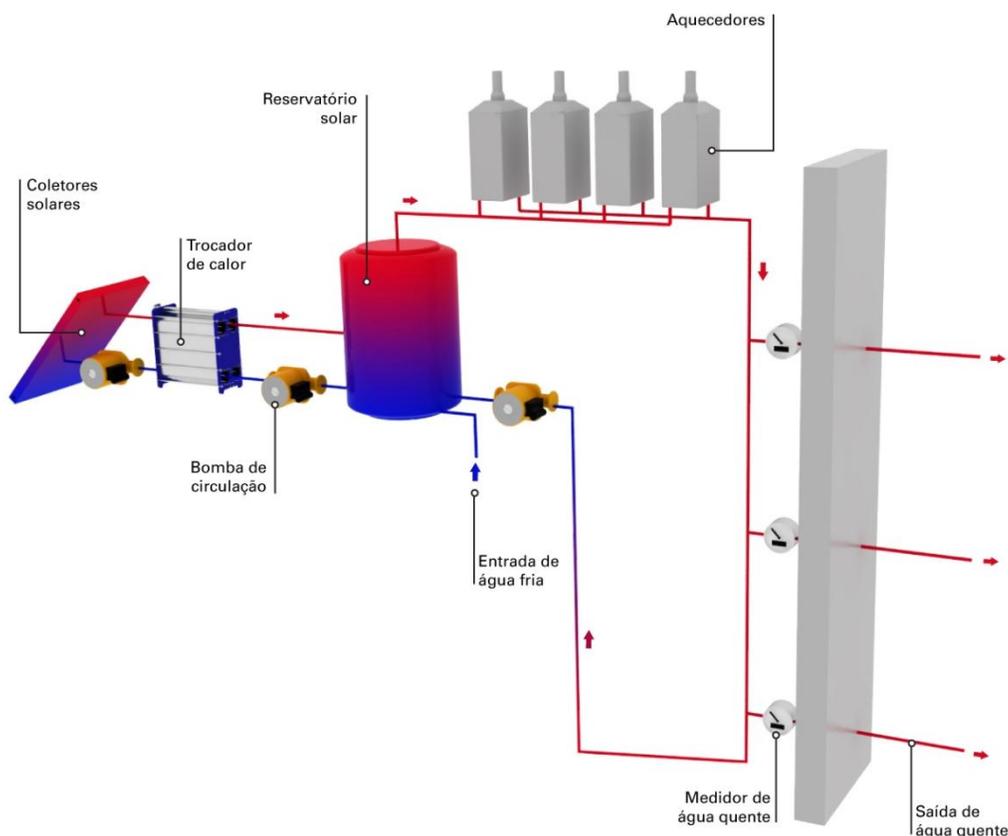


Figura 24 – Esquema sistema solar com central de passagem coletivo

O sistema solar é acionado sempre que a temperatura do coletor solar for superior à temperatura da água fria do reservatório térmico do sistema solar, acionando as bombas de circulação do trocador-coletor (primário) e do trocador-reservatório (secundário), transferindo o calor proveniente dos coletores para o reservatório térmico do sistema solar. Esta transferência de calor pode ser feita sem a utilização de trocadores de calor, de forma direta com utilização de uma bomba, porém impossibilita a utilização de aditivos na água que possibilitem maior durabilidade dos coletores solares.

A água quente sai do ponto mais alto do reservatório do sistema solar (onde a água possui temperatura mais elevada), e passa pelos aquecedores de passagem, para atendimento direto do

consumo de água quente pelas unidades habitacionais, ou para atendimento da circulação da rede de distribuição de água quente (com o objetivo de manter a temperatura mínima da água na rede de distribuição coletiva).

Os aquecedores de passagem a gás têm por objetivo complementar o aquecimento da temperatura de saída da água do reservatório coletivo do sistema solar até atingir uma temperatura adequada de uso. Em função da vazão de água solicitada, bem como da sua temperatura, um número determinado de aquecedores é acionado de forma a garantir adequado atendimento da demanda das unidades habitacionais. Para que haja uma sequência no acionamento de cada aquecedor deverá ser previsto um sistema de controle, que além de determinar a quantidade exata de aquecedores a serem acionados, organizará o acionamento em forma de rodízio evitando o desgaste desproporcional dos aparelhos a gás.

Os aquecedores de passagem devem ser dimensionados pela vazão máxima que o sistema poderá solicitar, e não apenas pela potência instalada.

Através da medição de água quente é possível fazer o rateio do consumo de gás, de forma proporcional ao consumo de água quente.

5 Dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar & gás natural

O dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar com o apoio a gás natural deve contemplar as diversas particularidades de cada um dos sistemas independentes, além das características da arquitetura da edificação, da concepção do projeto hidráulico, demanda de água quente dos usuários, pontos de consumo, entre outros fatores. Neste capítulo é apresentada uma metodologia padrão para o dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar, dos sistemas de aquecimento a gás natural e a sua combinação como sistema unificado. Outras formas de cálculo podem ser utilizadas, visando as especificidades de cada instalação.

Os métodos de cálculo e as considerações feitas foram baseados em metodologias internacionais identificadas juntos a fabricantes e técnicos especialistas em sistemas de aquecimento solar. O dimensionamento do sistema solar foi baseado na metodologia do *F-Chart*¹ reconhecido internacionalmente, que consiste na determinação da fração solar anual ou porcentagem da demanda energética que é coberta pela instalação solar. O dimensionamento do sistema de aquecimento de água a gás deve prever a totalidade da demanda de água quente, considerando a possível ausência da energia solar.

5.1 Cálculo da demanda de água quente

Existem diversas metodologias para o cálculo da demanda de água quente ou fria, disponíveis na literatura nacional e internacional. Os métodos geralmente variam conforme as disponibilidades de informações do projeto ou da edificação, seja através do consumo diário, seja através das informações dos aparelhos de consumo ou volumes fixos por pessoa. Neste trabalho adotamos as formas apresentadas a seguir.

5.1.1 Método das vazões dos pontos de consumo

Uma das formas de se obter o volume diário de água quente a ser disponibilizado para consumo é através de levantamento dos consumos individuais de cada aparelho sanitário que possui previsão de consumo de água quente. Nesse levantamento devem ser verificadas as vazões de funcionamento desses aparelhos, considerando principalmente a pressão de trabalho da rede.

O somatório da vazão de cada aparelho multiplicada pelo tempo médio de sua utilização e pela frequência com que esses aparelhos são utilizados determina o volume de água quente a ser disponibilizada para consumo. A seguinte expressão pode ser utilizada:

$$V_{consumo} = \sum (m_{pu} \times T_u \times f) \times N$$

onde:

$V_{consumo}$	volume total de água quente consumido diariamente na edificação (l/dia)
m_{pu}	vazão da peça de utilização (l/min)
T_u	tempo médio de uso diário da peça de utilização (min)
f	número total de utilização da peça por dia
N	quantidade de pessoas residentes na edificação

¹ Solar Heating Design by the F-chart method, BECKMAN, W. A., Klein S. A. and DUFFIE, J. A., Wiley-Interscience, New York (1977).

A Tabela 1 apresenta alguns dados informativos sobre vazões padrões aparelhos sanitários.

Tabela 1 – Dados informativos sobre vazão de aparelhos sanitários (Fonte: Norma ABNT 5626)

Aparelho sanitário	Peça de utilização	Vazão mínima de projeto (l/min)
Banheira	Misturador	18
Bidê	Misturador	6
Chuveiro ou ducha	Misturador	12
Lavadora de pratos ou roupas	Registro de pressão	18
Lavatório	Torneira ou misturador	9
Pia	Torneira ou misturador	15

Apesar das normas nacionais de referências não tratarem do assunto, diversas referências internacionais foram encontradas limitando a vazão das peças de utilização com o objetivo de racionalização do consumo, permitindo também um dimensionamento mais preciso da demanda de água quente. Recomenda-se a adoção de vazões que garantam conforto e levem em consideração aspectos relacionados ao uso racional da água.

5.1.2 Método do volume médio

Uma alternativa para a determinação do volume total de água quente consumido diariamente na edificação é utilizar uma estimativa do consumo *per capita*. O valor a ser adotado para o consumo por pessoa deve estar fundamentado em diversas variáveis, tais como: localização geográfica (cultura, temperatura ambiente, etc.), características de uso, perfil dos usuários, classe social, entre outras.

Além disso, a determinação do número de usuários é imprescindível para a determinação do volume diário de água quente consumida diariamente na edificação. A seguinte expressão pode ser utilizada para cálculo do volume de consumo:

$$V_{consumo} = V_{dia} \times N$$

Onde:

$V_{consumo}$ volume total de água quente consumido diariamente na edificação (l/dia)
 V_{dia} consumo de água quente por dia por pessoa (l/dia)
 N quantidade de pessoas residentes na edificação

O volume diário de água consumida pela edificação pode também ser avaliado a partir do volume diário consumido por cada unidade habitacional multiplicado pelo número de unidades da edificação. A determinação do volume de água quente consumido diariamente na unidade habitacional pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$V_{individual} = V_{dia} \times N_{apartamento}$$

Onde:

$V_{individual}$ volume de consumo diário por unidade habitacional (l/dia)
 V_{dia} consumo de água por dia, por pessoa (l/dia)
 $N_{apartamento}$ quantidade de pessoas residentes na unidade habitacional

A Tabela 2 apresenta alguns dados informativos sobre consumo estimado de água quente por pessoa.

Tabela 2 – Dados informativos sobre volume de consumo de água quente por pessoas/usuário nas edificações

Região/País	Peça de utilização	Volume (l/dia)
Brasil (ABNT NBR 12 269)	Chuveiro	66 a 120
Brasil (ABNT NBR 12 269)	Lavatório	6 a 9,6
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Chuveiro	80
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Cozinha	10
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Lavatório	5

A Tabela 3 apresenta dados informativos sobre adoção de número de pessoas em edificações.

Tabela 3 – Dados informativos sobre número de pessoas que habitam as edificações

Região/País	Região/País	Pessoas por apartamento
IBGE (ABRAVA)	Brasil	3,6
Recomendações técnicas (ABRASIP e ABRAVA)	São Paulo	1 por dormitório + 1 (Max. 5 pessoas) (*)

Nota (*): neste caso multiplica-se o total de pessoas por um fator de ocupação, que varia conforme a quantidade de apartamentos no edifício, sendo $F=1$ para edifícios com menos de 10 apartamentos, $F=1,2 - 0,02 \times$ (apartamentos) para edifícios de 10 a 25 apartamentos e $F=0,7$ para edifícios com mais de 25 apartamentos.

5.1.3 Outros métodos

Durante a realização das investigações internacionais outros métodos locais foram identificados. A seguir são apresentadas, a título de ilustração, metodologias de cálculo de dimensionamento da demanda de água quente utilizados no cenário internacional.

Método de consumo de água quente na Espanha

São considerados os seguintes parâmetros para cálculo do dimensionamento de água quente de uma edificação:

- Consumo mínimo de 35 a 40 litros por pessoa por dia a 45°C
- Temperatura de água fria (referência): 10°C
- Fator de simultaneidade:
 - $F = 1$, para edifícios com menos de 10 residências
 - $F = 1,2 - 0,02 \times n$ para edifícios de 10 a 25 residências
 - $F = 0,7$ para edifícios com mais de 25 residências
- Considera-se em cada residência 4 pessoas

O Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE - Espanha) adota, de forma mais simplificada, os seguintes valores para determinação do consumo diário de água quente da edificação:

- Residências multifamiliares: 30 litros por dia por pessoa

- Residências unifamiliares: 40 litros por dia por pessoa

Método de volume de água quente na Itália

Na Itália são apresentados dois critérios para definir o volume de água quente a ser considerado no dimensionamento do sistema de aquecimento solar, sendo o critério “A” baseado na média de consumo de água por pessoa e o critério “B” baseado no consumo por pessoa de uma ocupação total.

No critério “A” é apresentada uma tabela com o consumo de água quente por pessoa por dia em duas diferentes temperaturas, de 45°C que é a temperatura de banho, e de 60°C que é a temperatura de armazenamento, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Dados informativos sobre número de pessoas que habitam as edificações

Tipo de uso	Temperatura de uso (litro/dia/ pessoa) a 45°C	Temperatura de uso (litro/dia/ pessoa) a 60°C
Habitação – alto conforto	75	56
Habitação – médio conforto	50	37,5
Habitação – baixo conforto	35	26

O critério “B” é baseado no consumo avaliado no número estimado de pessoas por unidade, para a temperatura de armazenamento de 60°C, utilizando os parâmetros apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados informativos sobre número de pessoas que habitam as edificações

Consumo de água a 60°C	Edifícios residenciais (unidades pequenas)	Edifícios residenciais (unidades grandes)
Litros/dia/residência	30 a 35	20 a 25
Número de pessoas por residência	1,5 pessoa/dormitório	1,5 pessoa / dormitório

Método de volume de água na Alemanha e França

Segundo os manuais da Alemanha e da França o cálculo de volume de água quente por dia considera a presença de quatro pessoas por residência e um volume diário de 50 litros de água quente a 60°C, por pessoa.

5.1.4 Método das vazões máximas

Para o cálculo da vazão máxima de água a ser consumida instantaneamente é preciso somar as vazões dos pontos de consumo que podem ser utilizadas simultaneamente, da seguinte forma:

$$m_{máxima} = \sum (P_{consumo} \times Q_{pontos})$$

onde:

$m_{máxima}$ vazão máxima de água quente demandada na unidade habitacional
 $P_{consumo}$ pontos de consumo de água quente
 Q_{pontos} vazão de água quente no ponto de consumo (l/min)

5.2 Cálculo das perdas térmicas no trajeto

As redes de distribuição de água quente, independente de seu comprimento, possuem perdas térmicas que são quantificadas em função da diferença de temperatura, material aplicado, qualidade do isolamento térmico, etc.

No sistema de distribuição de água quente o contato da tubulação – embutida ou aparente – com temperaturas mais baixas do ambiente provoca perda de calor da água reduzindo a temperatura no ponto de consumo. Nas referências internacionais cuidados a respeito do isolamento térmico da tubulação sempre são descritos e detalhados, informando que a espessura do isolamento varia de acordo com a espessura do tubo (em mm) e a temperatura da água que circula em seu interior.

Recomenda-se que as perdas do sistema sejam consideradas nos cálculos de dimensionamento do sistema de aquecimento².

5.3 Dimensionamento do sistema de aquecimento solar

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar é normalmente baseado na metodologia *f-Chart*, conforme mencionado anteriormente, destacando-se a adoção de simplificações encontradas em manuais de fabricantes, como também na Norma ABNT NBR 15569.

Várias são as ocorrências de simplificação no caso dos dimensionamentos de coletores e reservatórios solares, no entanto entendeu-se que a metodologia consagrada do *f-Chart* deve ser a mais apropriada para qualquer tipo de situação.

Nos itens seguintes são detalhados os procedimentos para cálculo do sistema de aquecimento solar com base nas premissas estabelecidas no método *f-Chart*.

5.3.1 Cálculo do reservatório do sistema central coletivo

O reservatório do sistema central coletivo tem por finalidade armazenar a água quente gerada através dos coletores solares, que será consumida diariamente pela edificação. Além disso, a acumulação adequada de água quente permite reduzir a temperatura de água na entrada dos coletores solares, evitando uma redução da sua eficiência, lembrando que a eficiência alcançada pelas placas coletoras é maior quanto maior for a diferença entre a entrada de água fria e a saída de água quente na placa.

Segundo recomendações de métodos de dimensionamento, como o *f-Chart*, os reservatórios térmicos devem ter um volume entre 50 e 100 litros por m² de coletor solar.

Para atender a todas as unidades de consumo, o dimensionamento dos reservatórios é feito através da seguinte expressão:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{\text{água.fria}})}{(T_{armaz} - T_{\text{água.fria}})}$$

onde:

$V_{consumo}$	volume total de água quente consumido diariamente na edificação (l/dia)
V_{armaz}	volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar (l)
$T_{consumo}$	temperatura de consumo de utilização (°C) (<i>sugere-se que seja adotado 40°C</i>)
T_{armaz}	temperatura de armazenamento da água (°C) ($T_{armaz} \geq T_{consumo}$)

² Mariotoni, Ilha (1993) apresenta detalhes sobre o cálculo de perda de calor em tubulações aparentes e embutidas do sistema de distribuição de água quente.

$T_{\text{água fria}}$ temperatura da água fria do local de instalação (°C)

5.3.2 Cálculo do reservatório de acumulação individual

O reservatório de acumulação individual é utilizado para suprir as necessidades de consumo de cada unidade habitacional, sendo o dimensionamento executado da seguinte forma:

$$V_{\text{armaz ind}} = \frac{V_{\text{individual}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{água fria}})}{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{água fria}})}$$

onde:

$V_{\text{armaz ind}}$ volume armazenado de água quente por unidade habitacional (l/uda)
 $V_{\text{individual}}$ volume de consumo diário por unidade habitacional litros (l)
 T_{consumo} temperatura de consumo de utilização (°C)
 T_{armaz} temperatura de armazenamento da água (°C)
 $T_{\text{água fria}}$ temperatura da água fria do local de instalação (°C)

No caso do volume dos reservatórios individuais serem elevados, pode haver uma mistura entre reservatórios centrais e individuais, respeitando, no caso dos reservatórios individuais, um mínimo de 100 litros de água quente acumulada para apartamentos de edifícios multifamiliares e 150 litro para residências unifamiliares.

5.3.3 Cálculo da área de coletores

A área de coletores é calculada em função da energia necessária para promover o aquecimento do volume de armazenamento de água quente e atendimento do consumo previsto. Em alguns casos, em função da restrição de área disponível, determina-se a área coletora e em seguida se verifica a disponibilidade de energia para o atendimento da demanda de consumo.

Em determinadas regiões existe a obrigatoriedade de atendimento de uma determinada porcentagem da demanda através do uso da energia solar, estabelecendo-se critérios para determinação da área coletora mínima.

Cálculo da demanda de energia útil

O cálculo da energia solar considera os valores de radiação solar mês a mês, o que permite uma análise mais precisa do aproveitamento térmico solar ao longo do ano, permitindo uma programação de oscilação de energia conforme as diferentes estações climáticas, utilizando a seguinte expressão:

$$DE_{\text{mês}} = Q_{\text{dia}} \times N \times (T_{\text{ACS}} - T_{\text{AF}}) \times 1,16 \times 10^{-3}$$

onde:

$DE_{\text{mês}}$ demanda energética (kWh/mês)
 Q_{dia} consumo diário de água quente a temperatura de referência T_{ACS} (litros/dia)
 N número de dias do mês considerado, dias/mês
 T_{ACS} temperatura utilizada para a quantificação do consumo de água quente (°C)
 T_{AF} temperatura da água fria da rede (°C)

Para a análise mensal de sistemas mais complexos é possível utilizar valores de acordo com as condições climáticas da região, como por exemplo, o consumo diário de água quente e a temperatura média mensal da água fria.

Para facilitar a análise mensal é possível utilizar uma tabela de referência, conforme exemplo a seguir:

Q_{dia}	litros/dia
T_{ACS}	°C

Mês	N (dias/mês)	TAF (°C)	DE mês (kWh/mês)
Jan			
Fev			
Mar			
Abr			
Mai			
Jun			
Jul			
Ago			
Set			
Out			
Nov			
Dez			
Total			

Cálculo da eficiência das placas coletoras

Para o dimensionamento da área de coletores necessária para atender a demanda de energia é preciso determinar a eficiência dos coletores solares, calculada através do quociente entre a quantidade de energia aproveitável ou útil e a quantidade de energia recebida, conforme a seguinte expressão:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_r}$$

onde,

- η rendimento do coletor
- Q_u quantidade de energia transferida ao fluido do sistema solar
- Q_r quantidade de energia recebida da radiação solar

Para facilitar a obtenção dos dados, principalmente com os valores específicos dos coletores, é utilizada uma fórmula de eficiência do coletor solar em função da temperatura da água, a temperatura ambiente, a radiação recebida e os fatores que determinam as perdas ópticas e térmicas, utilizando a seguinte expressão:

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L \times \frac{(T_s - T_{AMB})}{I}$$

Onde,

- η rendimento do coletor
- $F_R (\tau\alpha)_n$ fator de eficiência óptica

$F_R U_L$	coeficiente global de perdas, em $W/(m^2 \times K)$
T_e	temperatura de entrada do coletor, em K
T_{AMB}	temperatura ambiente exterior, em K
I	intensidade da radiação solar incidente no plano do coletor, em W/m^2

O fator de eficiência óptica ($F_R (\tau\alpha)_n$) e o coeficiente global de perdas ($F_R U_L$) são obtidos, no caso brasileiro, da *Tabela de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água* do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro.

A temperatura de entrada do coletor (T_e) é calculada em função das características construtivas do sistema solar, onde reservatórios pequenos tendem a fornecer temperaturas mais elevadas. Com relação à temperatura ambiente (T_{AMB}) o valor é variável com as condições climáticas da região variável ao longo do ano.

Para a intensidade da radiação solar incidente no plano do coletor devem ser adotados valores específicos para a região onde o sistema será instalado. Há diversas fontes de pesquisas que fornecem a radiação incidente específica para cada região, ou através do Atlas Solarimétrico da região.

Cálculo da produção energética de uma instalação

O cálculo da produção energética de uma instalação solar é realizada através do modelo *F-Chart*, a partir das magnitudes adimensionais D_1 e D_2 através da seguinte expressão:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

Este procedimento prevê a realização dos seguintes passos:

- Cálculo da radiação solar mensal incidente $EI_{mês}$ sobre a superfície inclinada dos coletores
- Cálculo do parâmetro D_1
- Cálculo do parâmetro D_2
- Determinação da fração energética mensal f , fornecidas pelo sistema de captação solar
- Grau de cobertura solar ou fração solar anual F
- Determinação da superfície de coletor solar S_c
- Cálculo da produção solar mensal e anual

Para o cálculo da radiação solar mensal incidente ($EI_{mês}$) sobre a superfície inclinada dos coletores é utilizado a seguinte fórmula:

$$EI_{mês} = H_{dia} \times N$$

onde,

$EI_{mês}$	energia incidente no coletor, em kWh/m^2
H_{dia}	radiação solar incidente no plano inclinado, em $kWh/(m^2 \times dia)^3$
N	número de dias do mês

A radiação solar incidente no plano inclinado (H_{dia}) é obtida em mapas solarimétricos, variável em função da região. No Anexo A são apresentados valores para algumas cidades do Estado de São Paulo.

Com este cálculo é elaborado uma tabela com os valores variando conforme o mês do ano, conforme exemplo abaixo, obtendo os valores da energia incidente ($EI_{mês}$) em cada mês do ano.

³ Informação disponível no CRESESB para a Latitude e Longitude do local.

Mês	N (dias/mês)	Hdia (kWh/(m ² x dia))	EI mês (kWh/m ²)
Jan			
Fev			
Mar			
Abr			
Mai			
Jun			
Jul			
Ago			
Set			
Out			
Nov			
Dez			
Total			

Para o cálculo do parâmetro D_1 , que expressa a relação entre a energia absorvida pelo coletor plano $EA_{mês}$ e a demanda energética mensal do edifício $DE_{mês}$, é utilizado a seguinte fórmula:

$$D_1 = \frac{EA_{mês}}{DE_{mês}}$$

Onde a energia absorvida pelo coletor, $EA_{mês}$, é dado pela seguinte equação:

$$EA_{mês} = S_c \times F'_R(\tau\alpha) \times EI_{mês}$$

onde,

$EA_{mês}$ energia solar mensal absorvida pelos coletores, em kWh/mês
 S_c superfície do coletor, em m²
 $EI_{mês}$ energia solar mensal incidente sobre superfície dos coletores, em kWh/(m² x mês)
 $F'_R(\tau\alpha)$ fator adimensional fornecido pelo fabricante

sendo,

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n \times \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \times \frac{F_{1R}}{F_R}$$

onde,

$F_R(\tau\alpha)_n$ fator de eficiência óptica do coletor, disponível na tabela de eficiência do coletor do INMETRO.

$\left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right]$ modificador do ângulo de incidência, na ausência desta informação pode-se adotar 0,96 para coletores com cobertura de vidro.

$\frac{F_{1R}}{F_R}$ fator de correção do conjunto coletor – trocador, na ausência desta informação pode-se adotar 0,95.

S_c	m ²
$F_R(\tau\alpha)_n$	
$F'_{1R}(\tau\alpha)$	

Mês	DE mês (kWh/mês)	EI mês (kWh/m ²)	EA mês (kWh/mês)	D ₁
Jan				
Fev				
Mar				
Abr				
Mai				
Jun				
Jul				
Ago				
Set				
Out				
Nov				
Dez				
Total				

Para o cálculo do parâmetro D_2 , que expressa a relação entre a energia perdida pelo coletor $EP_{mês}$ e a demanda energética mensal é utilizado a seguinte fórmula:

$$D_2 = \frac{EP_{mês}}{DE_{mês}}$$

sendo,

$$EP_{mês} = S_c \times F'_R U_L \times (100 - T_{AMB}) \times \Delta T \times K_1 \times K_2$$

onde,

$EP_{mês}$ a energia solar mensal não aproveitada pelos coletores, em kWh/mês

S_c a superfície do coletor solar, em m²

$F'_R U_L$ um fator calculado pela seguinte fórmula, em kW/(m² x K)

$$F'_R U_L = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times 10^{-3}$$

onde,

$F'_R U_L$ é o coeficiente global de perdas do coletor, em W/(m² x K)

$\frac{F'_R}{F_R}$ fator de correção do conjunto coletor – trocador. Recomenda-se utilizar o valor 0,95

T_{AMB} é a temperatura média mensal do ambiente em °C

ΔT é o período de tempo considerado em horas

K_1 fator de correção para armazenamento

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25}$$

Onde V é o volume de acumulação solar (litros). Recomenda-se que o valor de V seja tal que obedeça a condição $50 < \frac{V}{S_c} < 100$.

K_2 fator de correção para o sistema de aquecimento solar que relaciona as diferentes temperaturas

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 T_{AC} + 3,86 T_{AF} - 2,32 T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})}$$

Sendo que T_{AC} é a temperatura mínima admissível da água quente que normalmente utiliza-se em 45°C.

S_c	m ²
V	litros
T_{ACS}	°C
$E_{H_2O}(\text{mês})_w$	
$E'_{H_2O}(\text{mês})$	

Mês	$DE_{\text{mês}}$ (kWh)	T_{AMB} (°C)	T_{AF} (°C)	Δt (horas)	K_1	K_2	$EP_{\text{mês}}$ (kWh)	D_2
Jan								
Fev								
Mar								
Abr								
Mai								
Jun								
Jul								
Ago								
Set								
Out								
Nov								
Dez								
TOTAL								

Com os valores de D_1 e D_2 calcula-se o valor de f , utilizando a seguinte expressão, conforme apresentado anteriormente:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

Mês	D_1	D_2	f
Jan			
Fev			
Mar			
Abr			
Mai			
Jun			
Jul			
Ago			
Set			
Out			
Nov			
Dez			
TOTAL			

Com o valor de f calculado, determina-se a fração solar anual F através da energia útil mensal $EU_{\text{mês}}$ absorvida pela instalação solar para a produção de água quente sanitária do edifício, através da seguinte fórmula:

$$EU_{mês} = f \times DE_{mês}$$

Sendo,

$EU_{mês}$ a energia útil mensal coletada em kWh/mês

f a fração solar mensal

$DE_{mês}$ a demanda energética em kWh/mês

Mês	$DE_{mês}$ (kWh)	f	$EU_{mês}$ (kWh)
Jan			
Fev			
Mar			
Abr			
Mai			
Jun			
Jul			
Ago			
Set			
Out			
Nov			
Dez			
TOTAL			

Com isso a fração solar anual F que a superfície dos coletores S_c proporciona é:

$$F = \frac{\sum_1^{12} EU_{mês}}{\sum_1^{12} DE_{mês}}$$

Caso a fração solar anual obtida não seja satisfatória, os cálculos deverão ser repetidos até obter uma superfície de captação S_c que satisfaça a condição estabelecida.

5.4 Dimensionamento dos aquecedores de passagem a gás natural

Existem vários tipos de aquecedores de água a gás natural com diferentes potências, fornecendo diferentes vazões de água quente. A definição do aquecedor adequado deve levar em consideração a vazão máxima pretendida

5.4.1 Determinação das vazões instantâneas

Para o levantamento das vazões instantâneas máximas deve-se levar em consideração o perfil dos usuários e a quantidade de pessoas de uma unidade habitacional.

Recomenda-se que a vazão do aquecedor seja igual ou maior que a somatória das vazões dos pontos de consumo que podem estar em funcionamento simultâneo.

5.4.2 Determinação da potência de aquecedores de passagem

A potência dos aquecedores de passagem pode ser calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$Q = m_{máxima} \times c \times (T_{consumo} - T_{água\ fria})$$

onde:

Q	potência útil do(s) aquecedor(es) (kcal/h)
$m_{máxima}$	vazão máxima de água demandada simultaneamente (l/h)
c	calor específico da água (igual a 1 kcal/kg.°C)
$T_{consumo}$	temperatura de consumo de utilização (°C) (sugere-se que seja adotado 40°C)
$T_{água\ fria}$	temperatura da água fria do local de instalação.

As vazões dos pontos de consumo podem ser determinadas através de consulta aos fabricantes das peças (duchas, torneiras, etc) a serem instaladas nas dependências da unidade habitacional, ou através de referências de Normas ou estudos técnicos. No capítulo 6 há referências como exemplos.

Em catálogos de fabricantes desses tipos de aquecedores podem ser encontrados gráficos de números de chuveiros que são atendidos por aparelho. Dessa forma é apresentado um cálculo simplificado, porém com considerações pré-estabelecidas, como por exemplo, a vazão dos chuveiros a serem atendidos.

5.5 Dimensionamento do sistema de acumulação individual

O dimensionamento do sistema de acumulação individual é realizado com base no volume de água quente solicitado durante o período de maior consumo, conforme as etapas apresentadas a seguir.

5.5.1 Cálculo do volume de água quente em uma hora do período de maior consumo

O cálculo do volume de água quente necessário no período de maior consumo (para efeito prático considera-se o período de 1 hora – “first-hour rating”) é realizado adotando-se fator de simultaneidade aplicado ao volume de consumo diário, conforme a seguinte expressão:

$$V_{pico} = V_{individual} \times FS_{individual}$$

onde:

V_{pico}	volume de água quente máximo consumido em uma hora (l);
$V_{individual}$	volume de consumo diário por unidade habitacional (l)
$FS_{individual}$	fator que representa a simultaneidade de uso, em uma unidade habitacional;

Para determinação do Fator de Simultaneidade do consumo de água quente de cada unidade habitacional pode ser utilizado o valor de 0,45.

5.5.2 Cálculo do volume mínimo de água quente armazenada

Determinado o volume de água necessária para suprir a hora de maior consumo, define-se o volume mínimo do reservatório de água quente através de um fator de armazenamento, conforme seguir:

$$V_{armaz\ gás} = V_{pico} \times F_{armaz}$$

Onde,

$V_{armaz\ gás}$	volume mínimo de armazenamento do sistema de aquecimento a gás (l)
V_{pico}	volume de água quente máximo consumido em uma hora (l)
F_{armaz}	fator de minoração para determinar o volume mínimo de armazenamento

Independente do resultado final do cálculo, informações de fabricantes consideram 100 litros de água quente como volume mínimo do reservatório de forma a garantir uma temperatura mínima de estagnação.

5.5.3 Determinação da potência dos aquecedores a gás natural

Para determinar a potência dos aquecedores a gás natural é necessário definir a capacidade de recuperação do reservatório no instante mais crítico, determinado anteriormente como sendo a hora de maior consumo. Calcula-se o volume de recuperação do sistema como sendo a diferença entre o volume de água quente demandado e o volume armazenado, calculado pela seguinte expressão:

$$V_{recup} = V_{pico} - V_{armaz.gás}$$

Onde:

V_{recup} volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (l/h)
 V_{pico} volume de água quente máximo consumido em uma hora (l)
 $V_{armaz.gás}$ volume de armazenamento do sistema de aquecimento a gás (l)

Definido o volume necessário de recuperação do sistema é preciso calcular a potência do aquecedor que atende a estas condições, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q = V_{recup} \times c \times (T_{armaz} - T_{água.fria})$$

Onde:

Q potência útil do(s) aquecedor(es) (kcal/h)
 V_{recup} volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (l/h)
 c calor específico da água (igual a 1 kcal/kg.°C)
 T_{armaz} temperatura de armazenamento da água (°C)
 $T_{água.fria}$ temperatura da água fria do local de instalação (°C)

5.6 Dimensionamento do sistema central coletivo a gás natural

5.6.1 Cálculo do volume diário de água quente

Para o cálculo do volume de água quente necessário na primeira hora deve-se utilizar o volume de água quente máximo possível consumido durante uma hora, corrigido pelas temperaturas de banho e ambiente, utilizando-se a seguinte expressão:

$$V_{diária} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{água.fria})}{(T_{armaz} - T_{água.fria})}$$

onde,

$V_{diário}$ volume diário consumido de água quente (l)
 $V_{consumo}$ volume total de água quente consumido diariamente (l/dia)
 $T_{consumo}$ temperatura de consumo de utilização (°C) (sugere-se que seja adotado 40°C)

T_{armaz} temperatura de armazenamento da água (°C) ($T_{armaz} \geq T_{consumo}$)
 $T_{água\ fria}$ temperatura da água fria do local de instalação (°C)

5.6.2 Cálculo do volume de água quente em uma hora do período de maior consumo

O cálculo do volume de água quente necessário no período da hora de maior consumo é realizado adotando-se fator de simultaneidade aplicado ao volume de consumo diário, conforme a seguinte expressão:

$$V_{pico} = V_{diário} \times FS$$

onde,

V_{pico} volume de água quente máximo consumido em uma hora (l)
 $V_{diário}$ volume diário consumido de água quente (l)
 FS fator que representa a simultaneidade de uso em uma hora

Alternativamente, o valor de pico pode ser obtido diretamente de levantamentos práticos ou de gráficos de simultaneidade disponíveis no mercado. A

Figura 25 apresenta um gráfico de simultaneidade que existe em referências brasileiras consideradas válidas.⁴



Figura 25 – Fator de simultaneidade do consumo de água quente

⁴ Apostila de treinamento – Engº Jorge Chaguri

5.6.3 Cálculo do volume mínimo de água quente armazenada

Determinado o volume de água necessária para suprir a hora de maior consumo, define-se o volume mínimo do reservatório de água quente através de um fator de armazenamento, conforme seguir:

$$V_{armaz.gás} = V_{pico} \times F_{armaz}$$

onde,

$V_{armaz.gás}$ volume de armazenamento do sistema de aquecimento a gás (l)
 V_{pico} volume de água quente máximo consumido em uma hora (l)
 F_{armaz} fator de minoração para determinar o volume mínimo de armazenamento

Fatores de armazenamento práticos são utilizados no mercado brasileiro, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados informativos sobre fator de armazenamento⁵

Volume na hora de maior consumo (l)	Fator de armazenamento (F_{armaz})
0 a 1.500	$1/3$
1.501 a 6.000	$1/4$
6.001 a 12.000	$1/5$
12.001 a 20.000	$1/6$
20.001 -	$1/7$

5.6.4 Determinação da potência dos aquecedores a gás natural

Para determinar a potência dos aquecedores a gás natural é necessário definir a capacidade de recuperação do reservatório no instante mais crítico, determinado anteriormente como sendo a hora de maior consumo. Calcula-se o volume de recuperação do sistema como sendo a diferença entre o volume de água quente demandado e o volume armazenado, calculado pela seguinte expressão:

$$V_{recup} = V_{pico} - V_{armaz.gás}$$

Onde:

V_{recup} volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (l/h)
 V_{pico} volume de água quente máximo consumido em uma hora (l)
 $V_{armaz.gás}$ volume de armazenamento do sistema de aquecimento a gás (l)

Definido o volume necessário de recuperação do sistema é preciso calcular a potência do aquecedor que atenda a estas condições, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q = V_{recup.} \times c \times (T_{armaz} - T_{água.fria})$$

⁵ Apostila de treinamento – Eng° Jorge Chaguri

Onde:

Q	potência útil do(s) aquecedor(es) (kcal/h)
V_{recup}	volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (l/h)
c	calor específico da água (igual a 1 kcal/kg °C)
T_{armaz}	temperatura de armazenamento da água (°C)
$T_{\text{água fria}}$	temperatura da água fria do local de instalação (°C)

6 Exemplos de dimensionamento

Para demonstrar as etapas de dimensionamento foi utilizado como exemplo um edifício de apartamentos residenciais de 28 andares, com quatro apartamentos por andar, totalizando 112 apartamentos, sendo que a configuração de cada apartamento contempla quatro dormitórios e três banheiros.

6.1 Cálculo da demanda de água quente

Método do volume médio

Parâmetros utilizados:

- *População: 1 pessoa por dormitório, mais 1, limitado a 5 pessoas;*
- *Fator de ocupação: 70%;*
- *Consumo de água: 80 litros de água quente para banho, 10 litros para torneiras e 5 litros para pias, totalizando 95 litros por dia por pessoa;*

A população residente no edifício é calculada da seguinte forma:

$$N_{total} = N_{apto} \times N_{pessoas}$$

onde:

N_{total} número total de pessoas no local;
 N_{apto} número de apartamentos do edifício;
 $N_{pessoas}$ número de pessoas por apartamento;

$$N_{total} = 28_{andares} \times 4_{aptos.por.andar} \times 5_{pessoas.por.apto} = 560_{pessoas}$$

Multiplicada a população pelo fator de ocupação, teremos:

$$N = N_{total} \times FO$$

onde:

N população total da edificação;
 N_{total} número total de pessoas no local;
 FO fator de ocupação do edifício;

$$N = 560 \times 0,70 = 392_{pessoas}$$

O volume de água consumido diariamente na edificação é calculado por:

$$V_{consumo} = V_{dia} \times N$$

$$V_{consumo} = 95 \text{ litros.por.dia.por.pessoa} \times 392 \text{ pessoas} = 37.240 \text{ litros.por.dia}$$

O volume de água consumido diariamente na unidade habitacional é:

$$V_{individual} = V_{dia} \times N_{apartamento}$$

$$V_{individual} = 95 \text{ litros.por.dia.por.pessoa} \times 5 \text{ pessoas} = 475 \text{ litros.por.dia}$$

6.2 Dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar

6.2.1 Cálculo do reservatório do sistema central coletivo

Parâmetros utilizados:

- Temperatura de armazenamento: 60 °C;
- Temperatura da água fria: 20,2 °C;
- Temperatura de consumo: 45 °C;

O volume de armazenamento é:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{\text{água.fria}})}{(T_{armaz} - T_{\text{água.fria}})}$$

$$V_{armaz} = \frac{37.240 \times (45 - 20,2)}{(60 - 20,2)} = 23.205 \text{ litros}$$

6.2.2 Cálculo do reservatório de acumulação individual

Parâmetros utilizados:

- Temperatura de armazenamento: 45 °C;
- Temperatura da água fria: 20 °C;
- Temperatura de consumo: 40 °C;

$$V_{armazind} = \frac{V_{individual} \times (T_{consumo} - T_{\text{água.fria}})}{(T_{armaz} - T_{\text{água.fria}})}$$

$$V_{armazind} = \frac{475 \times (40 - 20)}{(45 - 20)} = 380 \text{ litros}$$

6.2.3 Cálculo da área de coletores

Calcular a demanda de energia útil.

Parâmetros utilizados:

- Consumo diário de água quente: 37.240 litros (conforme 6.1);
- Temperatura da água fria: variável ao longo do ano, conforme temperatura ambiente;
- Temperatura de consumo: 45 °C;

$$DE_{\text{mês}} = Q_{\text{dia}} \times N \times (T_{\text{ACS}} - T_{\text{AF}}) \times 1,16 \times 10^{-3}$$

Q_{dia}	37.240	litros/dia
T_{ACS}	45	°C

Mês	N (dias/mês)	T_{AF} (°C)	DE mês (kWh/mês)
Jan	31	22,0	30.800,46
Fev	28	22,4	27.335,95
Mar	31	21,8	31.068,29
Abr	30	20,1	32.269,20
Mai	31	17,0	37.496,21
Jun	30	16,4	37.064,23
Jul	31	15,7	39.237,11
Ago	31	17,4	36.960,55
Set	30	18,0	34.990,70
Out	31	19,6	34.014,42
Nov	30	20,2	32.139,61
Dez	31	21,5	31.470,03
Total			404.846,77

Cálculo da produção energética de uma instalação

Parâmetros utilizados:

- Radiação solar incidente no plano inclinado: baseados em valores disponíveis no Anexo A;

$$EI_{\text{mês}} = H_{\text{dia}} \times N$$

Mês	N (dias/mês)	Hdia (kWh/(m ² x dia))	EI mês (kWh/m ²)
Jan	31	4,17	129,27
Fev	28	4,83	135,24
Mar	31	4,16	128,96
Abr	30	4,01	120,30
Mai	31	3,84	119,04
Jun	30	3,70	111,00
Jul	31	4,01	124,31
Ago	31	4,31	133,61
Set	30	3,95	118,50
Out	31	3,96	122,76
Nov	30	4,67	140,10
Dez	31	4,16	128,96
Total			

Onde a energia absorvida pelo coletor, $EA_{mês}$, é dado pela seguinte equação:

$$EA_{mês} = S_c \times F'_R(\tau\alpha) \times EI_{mês}$$

Parâmetros utilizados:

- Superfície de coletores disponíveis para instalação na edificação: 300 m² (tabela INMETRO);
- $F_R(\tau\alpha)_n$ do coletor: 0,755 (tabela INMETRO);
- $\left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}\right]$ modificador do ângulo de incidência: adotado 0,96 (para cobertura de vidro);
- $\frac{F'_R}{F_R}$ correção para o conjunto coletor – trocador: adotado 0,95;

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n \times \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}\right] \times \frac{F'_R}{F_R}$$

- $F'_R(\tau\alpha)$ utilizado: 0,6886 conforme cálculo acima;

Para o cálculo do parâmetro D_1 , que expressa a relação entre $EA_{mês}$ e $DE_{mês}$, é utilizado a seguinte fórmula:

$$D_1 = \frac{EA_{mês}}{DE_{mês}}$$

S_c	300	m ²
$F_R(\tau\alpha)_n$	0,755	
$F'_R(\tau\alpha)$	0,6886	

Mês	DE mês (kWh/mês)	EI mês (kWh/m ²)	EA mês (kWh/mês)	D ₁
Jan	30.800,46	129,27	26.703,05	0,866969
Fev	27.335,95	135,24	27.936,26	1,021960
Mar	31.068,29	128,96	26.639,01	0,857434
Abr	32.269,20	120,30	24.850,13	0,770088
Mai	37.496,21	119,04	24.589,85	0,655796
Jun	37.064,23	111,00	22.929,05	0,618630
Jul	39.237,11	124,31	25.678,47	0,654443
Ago	36.960,55	133,61	27.599,55	0,746730
Set	34.990,70	118,50	24.478,31	0,699566
Out	34.014,42	122,76	25.358,29	0,745516
Nov	32.139,61	140,10	28.940,18	0,900452
Dez	31.470,03	128,96	26.639,01	0,846488
Total	404.846,77			

Para o cálculo de D_2 , utiliza-se a seguinte sequência:

$$F'_{R}U_L = F_R U_L \times \frac{F'_{R}}{F_R} \times 10^{-3}$$

Parâmetros utilizados:

- $F_R U_L$: 4,716 (conforme tabela INMETRO);
- $\frac{F'_{R}}{F_R}$: correção para o conjunto coletor – trocador: adotado 0,95;
- $F'_{R}U_L$ utilizado: 0,00448 conforme cálculo acima;

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25}$$

Parâmetros utilizados:

- Volume de água armazenada: 24.000 litros (conforme 6.2.1);

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 T_{AC} + 3,86 T_{AF} - 2,32 T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})}$$

Parâmetros utilizados:

- Temperatura de água quente: 45 °C;
- Temperatura ambiente: variável ao longo do ano;
- Temperatura de água fria: variável ao longo do ano;

S_c	300	m ²
V	24.000	litros
T_{ACS}	45	°C
$F'_{R} (T_{AC})$	0,755	
$F'_{R} (T_{AF})$	0,6886	

Mês	$DE_{mês}$ (kWh)	T_{AMB} (°C)	T_{AF} (°C)	Δt (horas)	K_1	K_2	$EP_{mês}$ (kWh)	D_2
Jan	30.800,46	24,0	22,0	744	0,992318434	1,236053	93.216,59	3,026468
Fev	27.335,95	24,4	22,4	672	0,992318434	1,250741	84.747,73	3,100230
Mar	31.068,29	23,8	21,8	744	0,992318434	1,228766	92.910,96	2,990540
Abr	32.269,20	22,1	20,1	720	0,992318434	1,168344	87.399,79	2,708458
Mai	37.496,21	19,0	17,0	744	0,992318434	1,064691	85.575,88	2,282254
Jun	37.064,23	18,4	16,4	720	0,992318434	1,045539	81.928,06	2,210435
Jul	39.237,11	17,7	15,7	744	0,992318434	1,023548	83.589,30	2,130364
Ago	36.960,55	19,4	17,4	744	0,992318434	1,077618	86.187,14	2,331868
Set	34.990,70	20,0	18,0	720	0,992318434	1,097250	84.294,22	2,409046
Out	34.014,42	21,6	19,6	744	0,992318434	1,151071	89.549,05	2,632679
Nov	32.139,61	22,2	20,2	720	0,992318434	1,171825	87.547,68	2,723981
Dez	31.470,03	23,5	21,5	744	0,992318434	1,217908	92.452,52	2,937795
TOTAL	404.846,77							

Com os valores de D_1 e D_2 calcula-se o valor de f , utilizando a seguinte expressão:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

Mês	D_1	D_2	f
Jan	0,866969	3,026468	0,541738
Fev	1,021960	3,100230	0,634452
Mar	0,857434	2,990540	0,537443
Abr	0,770088	2,708458	0,494100
Mai	0,655796	2,282254	0,436540
Jun	0,618630	2,210435	0,413015
Jul	0,654443	2,130364	0,444212
Ago	0,746730	2,331868	0,498940
Set	0,699566	2,409046	0,461171
Out	0,745516	2,632679	0,481227
Nov	0,900452	2,723981	0,579910
Dez	0,846488	2,937795	0,533103
TOTAL			

Com o valor de f calculado, determina-se a fração solar anual F através da energia útil mensal $EU_{mês}$ absorvida pela instalação solar para a produção de água quente sanitária do edifício, através da seguinte fórmula:

$$EU_{mês} = f \times DE_{mês}$$

Mês	$DE_{mês}$ (kWh)	f	$EU_{mês}$ (kWh)
Jan	30.800,46	0,541738	16.685,77
Fev	27.335,95	0,634452	17.343,34
Mar	31.068,29	0,537443	16.697,45
Abr	32.269,20	0,494100	15.944,22
Mai	37.496,21	0,436540	16.368,60
Jun	37.064,23	0,413015	15.308,08
Jul	39.237,11	0,444212	17.429,58
Ago	36.960,55	0,498940	18.441,10
Set	34.990,70	0,461171	16.136,71
Out	34.014,42	0,481227	16.368,64
Nov	32.139,61	0,579910	18.638,09
Dez	31.470,03	0,533103	16.776,76
TOTAL	404.846,77		202.138,34

Com isso a fração solar anual F que a superfície dos coletores S_c proporciona é:

$$F = \frac{\sum_1^{12} EU_{mês}}{\sum_1^{12} DE_{mês}}$$

$$F = 56,15 \%$$

6.3 Dimensionamento dos sistemas de aquecimento a gás natural

6.3.1 Dimensionamento dos aquecedores de passagem

Parâmetros utilizados:

- Temperatura da água fria: 20,2 °C;
- Temperatura de consumo: 40 °C;
- Número de pontos de consumo simultâneos: 3 chuveiros
- Vazão de cada ponto de consumo: 12 l/min

Determinação das vazões

$$m_{máxima} = P_{consumo} \times Q_{pontos}$$

$$m_{máxima} = (3 \times 12) = 36_{l/min}$$

Determinação das potências de uso

$$Q = m_{máxima} \times c \times (T_{consumo} - T_{água\ fria})$$

$$Q = (36_{l/min} \times 60_{min/h}) \times 1 \times (40 - 20,2) = 43.200_{kcal/h}$$

6.3.2 Dimensionamento do sistema de acumulação individual

- Temperatura ambiente: 20,2 °C;
- Temperatura de consumo: 40 °C;
- Temperatura de armazenamento: 45 °C;

Cálculo do volume de água quente em uma hora do período de maior consumo

$$V_{pico} = V_{individual} \times FS_{individual}$$

Considerando o Fator de Simultaneidade igual a 0,45, conforme item 5.6.2, teremos:

$$V_{pico} = 475 \times 0,45 = 214_{litros}$$

Cálculo do volume mínimo de água quente armazenada

$$V_{armaz.gás} = V_{pico} \times F_{armaz}$$

Considerando o Fator de armazenamento igual a $\frac{1}{3}$, conforme item 5.6.3, temos:

$$V_{\text{armaz.gás}} = 214 \times \frac{1}{3} = 71_{\text{litros}}$$

O volume do reservatório é o dimensionado em 6.2.2 (380 litros), porém para o sistema de aquecimento a gás natural devem ser efetivamente aquecidos 71 litros.

Determinação da potência dos aquecedores a gás natural

$$V_{\text{recup}} = V_{\text{pico}} - V_{\text{armaz.gás}}$$

$$V_{\text{recup}} = 214 - 71 = 143_{\text{litros/hora}}$$

Definido o volume necessário de recuperação do sistema é preciso calcular as potências dos aquecedores que atendem a estas condições, da seguinte forma:

$$Q = V_{\text{recup.}} \times c \times (T_{\text{armaz}} - T_{\text{água.fria}})$$

$$Q = 143 \times 1 \times (45 - 20) = 3.575_{\text{kcal/h}}$$

6.3.3 Dimensionamento do sistema central coletivo

Parâmetros utilizados:

- Temperatura ambiente: 20,2 °C;
- Temperatura de consumo: 45 °C;
- Temperatura de armazenamento: 60 °C;

Cálculo do volume diário de água quente

$$V_{\text{diária}} = \frac{V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{água.fria}})}{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{água.fria}})}$$

$$V_{\text{diária}} = \frac{37.240 \times (45 - 20,2)}{(60 - 20,2)} = 23.205_{\text{litros}}$$

Cálculo do volume de água quente em uma hora do período de maior consumo

Para o cálculo do volume de água quente necessário na primeira hora deve-se utilizar um fator de simultaneidade para se obter o volume de água quente máximo possível consumido durante uma hora.

$$V_{\text{pico}} = V_{\text{diário}} \times FS$$

Com o volume diário de 23.205 litros, conforme item 6.3.2, temos:

$$V_{pico} = 5.800_{\text{litros}}$$

Cálculo do volume mínimo de água quente armazenada

$$V_{armaz.gás} = V_{pico} \times F_{armaz}$$

Considerando o Fator de armazenamento igual $\frac{1}{4}$, conforme item 7.7.3, temos:

$$V_{armaz.gás} = 5.800 \times \frac{1}{4} = 1.500_{\text{litros}}$$

Determinação da potência dos aquecedores a gás natural

$$V_{recup} = V_{pico} - V_{armaz.gás}$$

$$V_{recup} = 5.800 - 1.500 = 4.300_{\text{litros/hora}}$$

Definido o volume necessário de recuperação do sistema é preciso calcular as potências dos aquecedores que atendem a estas condições, da seguinte forma:

$$Q = V_{recup.} \times c \times (T_{armaz} - T_{água.fria})$$

$$Q = 4.300 \times 1 \times (60 - 20,2) = 180.000_{\text{kcal/h}}$$

6.4 Dimensionamento do sistema de aquecimento solar com apoio a gás natural

Dimensionados todos os parâmetros teremos para a tipologia em questão a configuração das três alternativas, conforme apresentado a seguir:

- *Alternativa 1:* Aquecimento solar com aquecedores de passagem individuais
- *Alternativa 2:* Aquecimento solar com sistemas de acumulação individual
- *Alternativa 3:* Aquecimento solar com sistema conjugado coletivo

A Tabela 7 apresenta resumo dos resultados das alternativas consideradas no dimensionamento.

Tabela 7 – Resumo de alternativas de dimensionamento

	Coletor solar (m ²)	Reservatório térmico coletivo solar (l)	Reservatório térmico coletivo gás (l)	Reservatório térmico individual gás (l)	Potência aquecedores de passagem (kcal/h)
<i>Alternativa 1</i>	300,00	24.000			43.200
<i>Alternativa 2</i>				380	3.575
<i>Alternativa 3</i>		24.000	1.500		180.000

7 Bibliografia consultada

1. ABRAVA. Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar, Abril de 2008.
2. ACKOFF, R.L. Redesigning the future. Wiley-Interscience publication, 1974.
3. AITA, F; Estudo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar e gás. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Porto Alegre, 2006.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Instalação predial de água fria: NBR 5626. Rio de Janeiro, 1998.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projeto e execução de instalações prediais de água quente: NBR 7198. Rio de Janeiro, 1993.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Aquecedor de água a gás tipo instantâneo - Requisitos e métodos de ensaio: NBR 8130. Rio de Janeiro, 2004.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Aquecedores de água a gás tipo acumulação - Ensaio: NBR 10542. Rio de Janeiro, 1988.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Instalação de aparelhos a gás para uso residencial – Requisitos dos ambientes: NBR 13103. Rio de Janeiro, 2006.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais – Projeto e execução: NBR 15526. Rio de Janeiro, 2009.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação: NBR 15569. Rio de Janeiro, 2008.
11. BERETTA – RIELLO, Technology Solar Manual. Lecco – Itália, 2010.
12. BORGES, Thomaz; Síntese Otimizada de Sistemas de Aquecimento Solar de Água. Tese de Doutorado. Campinas, 2000.
13. BOSCH – BUDERUS, Technica Data Sheets. Germany, 2010.
14. CONSEIL INTERNATIONAL DU BATIMENT. The performance concept and its terminology. S. 1. 1975. (CIB-Report 32).
15. GÁS NATURAL. Manual de cálculo y diseño de instalaciones de producción de agua caliente sanitaria en edificaciones de viviendas mediante energia solar y apoyo individual a gas natural. Espanha, 2004;

16. GONÇALVES, O.M.; Oliveira, L.H. Sistemas Prediais de Águas Pluviais. Texto Técnico / PCC / 18, 1998. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
17. GONÇALVES, O.M. Qualidade de Sistemas Prediais – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo / Notas de aula da Disciplina PCC-5715, São Paulo, 1999.
18. GONÇALVES, O.M. Sistemas Prediais I – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo / Notas de aula da Disciplina PCC-2465, São Paulo, 2007.
19. GRAÇA, M.E.A. Formulação de modelo para avaliação das condições determinantes da necessidade de ventilação secundária em sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários. São Paulo, 1985. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
20. ILHA, M.S.O; Gonçalves, O.M; KAVASSAKI, Y. Sistemas Prediais de Água Quente. Texto Técnico / PCC / 09, 1994. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
21. INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION. Working with the performance approach in building. 1982 (CIB-Report Publication 64).
22. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Guidance on the preparation of performance Standards in buildings. London. 1979. (ISO-Draft Proposal 6241).
23. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2006: Ano Base 2005: Resultados Preliminares. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2006.
24. RINNAI AUSTRALIA PTY LTD, Bosted Solar System. Austrália. 2010.

Anexo A – Tabela de Radiação Solar

Lat.	Long.	Localidade	U.F.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
-23,11	48,11	Avaré	SP	5,75	5,33	5,31	4,56	4,06	3,36	4,06	4,67	4,64	5,39	5,72	5,75	4,88
-20,55	48,57	Barretos	SP	5,58	5,67	5,58	4,44	4,28	4,08	4,44	4,83	4,83	5,83	5,81	5,44	5,07
-22,33	49,09	Bauru	SP	5,97	5,44	5,42	4,72	4,25	3,69	4,25	4,61	4,67	5,69	5,97	5,66	5,05
-20,86	41,12	Cachoeiro do Itapemirim	SP	6,06	5,78	5,47	4,39	3,94	3,58	3,89	4,31	4,36	4,86	4,89	5,47	4,75
-22,90	47,08	Campinas	SP	5,33	5,56	5,22	4,53	4,06	3,56	4,19	4,58	4,75	5,58	5,86	5,53	4,90
-22,74	45,59	Campos do Jordão	SP	4,75	4,83	4,64	4,00	3,83	3,33	3,97	4,28	4,33	4,97	5,06	4,81	4,40
-25,00	47,94	Cananéia	SP	5,03	4,72	4,36	3,56	3,28	2,78	3,08	3,44	3,33	4,31	4,94	4,75	3,97
-21,09	48,98	Catanduva	SP	5,50	5,78	5,36	4,64	4,31	3,92	4,53	4,81	4,83	5,83	5,94	5,47	5,08
-20,72	48,49	Colma	SP	5,81	5,03	5,69	5,11	4,50	3,97	4,44	4,92	4,83	5,83	5,81	5,92	5,16
-20,55	47,72	Franca	SP	5,39	5,44	5,39	4,61	4,19	4,00	4,50	4,83	4,83	5,83	5,47	5,22	4,98
-24,71	47,51	Iguape	SP	5,11	4,92	4,56	3,72	3,25	2,75	3,00	3,22	3,36	4,31	4,94	5,19	4,03
-23,63	48,04	Itapetininga	SP	5,44	5,11	5,11	4,44	3,94	3,31	3,75	4,22	4,36	5,06	5,86	6,00	4,72
-23,98	48,87	Itapeva	SP	5,33	5,22	4,97	4,33	3,78	3,14	3,78	4,03	4,36	5,36	5,75	5,56	4,63
-24,25	49,72	Jaguariaíva	SP	5,22	5,33	4,89	4,39	3,92	3,22	3,72	4,25	4,36	5,47	5,75	5,89	4,70
-19,40	51,15	Linhares	SP	6,14	5,56	5,19	4,47	4,19	3,69	3,94	4,17	4,14	4,67	4,89	5,44	4,71
-21,67	49,76	Lins	SP	5,17	5,67	5,56	4,69	4,33	3,72	4,19	4,61	4,81	5,83	6,06	5,61	5,02
-22,73	47,59	Pindamonhangaba	SP	5,00	4,61	4,61	3,81	3,28	2,78	3,22	3,78	4,03	4,22	5,06	5,17	4,13
-22,73	47,59	Piracicaba	SP	5,42	5,36	5,14	4,56	4,11	3,39	3,89	4,53	4,58	5,17	6,08	5,28	4,79
-22,13	51,40	Presidente Prudente	SP	5,42	5,56	5,33	4,75	4,14	3,44	4,08	4,25	4,50	5,72	5,94	5,97	4,93
-21,17	47,81	Ribeirão Preto	SP	5,37	5,35	5,14	4,75	4,08	3,80	4,05	4,71	4,87	5,47	5,77	5,35	4,89
-23,70	46,56	São Bernardo do Campo	SP	4,89	4,81	4,69	4,03	3,44	3,06	3,53	3,53	3,83	4,53	5,17	5,06	4,21
-22,02	47,89	São Carlos	SP	5,42	5,42	5,25	4,58	4,22	3,69	4,22	3,44	4,78	5,61	5,61	5,39	4,80
-23,20	45,89	São José dos Campos	SP	5,22	4,92	4,81	4,14	3,64	3,22	3,64	4,17	4,19	4,75	5,39	5,28	4,45
-23,55	46,63	São Paulo	SP	4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,96
-21,48	47,56	São Simão	SP	5,39	5,25	5,36	4,78	4,33	3,86	4,33	4,86	4,81	5,50	5,72	5,47	4,97
-23,95	46,32	Santos	SP	4,89	5,03	4,39	3,83	3,50	3,03	3,39	3,56	3,56	4,31	4,94	5,08	4,13
-23,03	45,56	Taubaté	SP	5,22	5,03	4,81	4,06	3,72	3,22	3,72	4,11	4,19	4,75	5,28	5,28	4,45
-22,97	45,55	Tremembé	SP	5,00	4,92	4,72	4,14	3,64	3,22	3,64	4,17	4,28	4,64	5,39	5,06	4,40
-23,43	45,07	Ubatuba	SP	4,92	4,92	4,61	3,67	3,39	2,94	3,61	3,67	4,11	4,28	4,72	5,06	4,16
-20,26	40,42	Vitória	SP	6,14	5,97	5,50	4,56	4,17	3,67	3,89	4,53	4,31	5,11	5,00	5,67	4,88
-20,41	49,98	Votuporanga	SP	5,28	6,19	5,47	4,78	4,25	3,81	4,50	4,92	4,83	5,83	5,92	5,58	5,11

Fonte: adaptado de http://www.sociedadedosol.org.br/dicas/dicas_02.htm