



**Politécnico  
Castelo Branco**

Escola Superior  
de Tecnologia

# **Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao pré-dimensionamento de Sistemas Solares Térmicos (SST)**

Benedito Armando Nascimento

Aluno nº 20190186

Orientador

Doutor Luís Paulo Coelho Neto

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia das Energias Renováveis, realizada sob a orientação científica do Professor Adjunto Doutor Luís Paulo Coelho Neto do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Outubro de 2025

## **Composição do júri**

Presidente do júri

Doutor Nuno Cláudio Rocha Meses Pedro

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Vogais

Doutora Paula Cristina Alves Pereira

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Doutor Luís Paulo Coelho Neto

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a todos aqueles que sempre acreditaram em mim.

A minha família, pela base sólida que sempre me proporcionou, pelo amor, pelo apoio incondicional e por nunca deixarem que eu desistisse dos meus sonhos.

Aos meus amigos verdadeiros, que caminharam ao meu lado nos momentos bons e menos bons, sempre com palavras de encorajamento e boas disposição.

E, acima de tudo, a Deus, por me guiar, proteger e fortalecer ao longo desta jornada.

Este projeto é tão meu quanto vosso.

## **Agradecimentos**

Chegado o fim desta etapa tão importante da minha vida acadêmica, não posso deixar de expressar a minha profunda gratidão a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, fizeram parte desta caminhada.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me ter dado força, saúde e sabedoria ao longo de todo este percurso. Sem a sua presença constante nos momentos difíceis e de incerteza, nada disto teria sido possível.

Um agradecimento muito especial ao meu professor orientador, pelo apoio, paciência e disponibilidade durante todo o processo de desenvolvimento deste projeto. A sua orientação foi essencial para a concretização deste trabalho, e levo comigo não só os ensinamentos acadêmicos, mas também os valores de dedicação e profissionalismo que me transmitiu.

Aos meus familiares, o meu mais sincero obrigado. Pelo apoio incondicional, pelos incentivos nos momentos de desânimo e por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidava. Cada palavra de carinho e cada gesto de apoio foram fundamentais para chegar até aqui.

Por fim aos meus amigos, um enorme obrigado por estarem sempre por perto, seja com uma palavra de motivação, uma ajuda nos estudos ou simplesmente pela companhia nos momentos em que mais precisava. A vossa presença tornou este caminho muito mais leve e especial.

A todos, o meu sincero obrigado.

## **Resumo**

Neste projeto fez-se o desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie no pré-dimensionamento de sistemas solares térmicos (SST), desenvolvida com base no Microsoft Excel e fundamentada no método f-Chart.

A ferramenta CALC (P-D SST) – Ferramenta de Apoio ao Pré-Dimensionamento de Sistemas Solares Térmicos visa facilitar o dimensionamento preliminar, permitindo aos usuários calcular e analisar a viabilidade de sistema solares térmicos para diferentes cenários e necessidades energéticas.

A ferramenta é projetada para ser fácil de usar e oferecer recursos que ajudam a tomar decisões bem informadas. Ela contribui para a promoção de soluções energéticas que são sustentáveis e eficientes.

## **Palavras-chave**

Sistema Solar Térmico (SST), Pré-Dimensionamento, Energia Solar, Método f-Chart.

## **Abstract**

In this project, a tool was developed to assist in the pre-dimensioning of solar thermal systems (TSS), developed based on Microsoft Excel and based on the f-Chart method.

The CALC (P-D SST) Tool – Solar Thermal System Pre-Sizing Support Tool aims to facilitate preliminary sizing by allowing users to calculate and analyze the feasibility of solar thermal systems for different scenarios and energy needs.

The tool is designed to be easy to use and offer features that help you make well-informed decisions. It contributes to the promotion of energy solutions that are sustainable and efficient.

## **Keywords**

Solar Thermal System (SST), Pre-Sizing, Solar Energy, f-Chart Method.

# Índice geral

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introdução ao projeto .....	1
1.2. Contexto e motivação.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Metodologia .....	4
1.5. Estrutura do relatório .....	4
<b>2. ENERGIA SOLAR TÉRMICA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Introdução .....	6
2.2. Radiação proveniente do Sol.....	6
2.3. Energia Solar .....	7
2.4. Bases astronómicas e meteorológicas .....	8
Condições astronómicas e o Desempenho dos coletores solares térmicos ..	8
Considerações Técnicas.....	11
Condições Meteorológicas e o Desempenho dos Coletores Solares Térmicos .....	11
Considerações Finais .....	13
2.5. A influência da orientação.....	13
2.6. Sombreamento em sistemas solares.....	15
Tipos de sombreamento em coletores Térmicos .....	16
Impactos no desempenho.....	16
Prevenção.....	17
2.7. Vantagens dos sistemas solares .....	17
Benefícios energéticos.....	17
Benefícios ambientais.....	17
Benefícios Económicos.....	18
<b>3. COLETORES SOLARES.....</b>	<b>19</b>
3.1. Tipos de coletores.....	19
Coletores sem cobertura.....	19
Coletores planos .....	19
Coletores Parabólicos Compostos (CPCs) .....	19
Coletores de vácuo .....	20

3.2. Características óticas dos coletores solares .....	20
3.3. Curva característica dos coletores e aplicações .....	20
3.4. Temperatura de estagnação .....	21
3.5. Coletores Padrão .....	22
Enquadramento legal .....	22
Requisitos do REH para AQS em função da tipologia, consumo e temperatura .....	23
Comparação entre o Coletores Padrão e outros Sistemas Solares Térmicos .....	26
Coletor Padrão .....	26
Outros Sistemas de Coletores Solares .....	26
Comparação Regulamentar .....	27
<b>4. ELEMENTOS QUE CONSTITUEM UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....</b>	<b>28</b>
Circuito Hidráulico .....	28
Fluido Térmico .....	28
Depósito de Acumulação .....	29
Permutador de Calor .....	31
Sistema de Controlo .....	31
Sistema de Apoio Auxiliar .....	32
Estrutura de Suporte .....	33
Sistema de Segurança .....	34
Instrumentação e Monitorização .....	35
<b>5. MÉTODO f-CHART .....</b>	<b>36</b>
5.1. Introdução e origem histórica do método f-Chart .....	36
5.2. Fundamentos do método f-Chart .....	37
5.3. Objetivo e aplicações do método f-Chart .....	37
5.4. Requisitos e condições de aplicação .....	37
5.5. Cálculo de sistemas solares ativos pelo método f-Chart .....	38
5.6. Parâmetros adimensionais X e Y .....	38
5.7. Parâmetro X .....	39
5.8. Parâmetro Y .....	39
5.9. Determinação da Fração Solar Mensal (f) .....	40
5.10. Fração solar anual ( $\mathcal{F}$ ) .....	41

5.11. Vantagens e limitações do método f-Chart .....	42
5.12. Conclusão do Capítulo.....	42
<b>6. FERRAMENTA DE APOIO AO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SST .....</b>	<b>43</b>
6.1. Objetivos.....	43
6.2. Constituição da ferramenta.....	43
6.3. Input's .....	45
Local da Instalação .....	46
Tipologia do Edifício.....	46
Ocupação .....	47
Regime de Utilização .....	48
Tipo de Cobertura do Coletor.....	48
Localização do Permutador de Calor.....	48
Energia de Apoio .....	49
Preço da Energia de Apoio .....	49
Otimização da inclinação dos coletores.....	49
Ângulo de inclinação dos coletores.....	49
Marcas e modelos dos coletores certificados pela EN12975.....	50
Quantidade de Coletores a Instalar .....	50
6.4. Aplicação prática CALC (P-D SST): Exemplo 1 .....	50
Resultados esperados e avaliação de conformidade Exemplo 1.....	52
6.5. Aplicação prática CALC (P-D SST): Exemplo 2.....	53
Resultados esperados e avaliação de conformidade Exemplo 2.....	54
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
7.1. Que objetivos foram cumpridos .....	56
7.2. O que se aprendeu .....	56
7.3. O que ficou por fazer ou melhorias a introduzir .....	56

## Índice de figuras

Figura 1: Modelo de coletor solar sem cobertura. ....	19
Figura 2: Coletores solares planos. ....	19
Figura 3: Coletores solares CPCs utilizado em sistemas de aquecimento de alta eficiência. ....	20
Figura 4: Coletor solar de vácuo para aquecimento de água em sistemas residenciais e industriais. ....	20
Figura 5: Curva característica de um coletor solar térmica. ....	21
Figura 6: Fluido Térmico utilizado no SST. ....	29
Figura 7: Depósito de Dupla Serpentina. ....	30
Figura 8: Depósito de Serpentina Simples. ....	31
Figura 9: Depósito Simples com Permutador Externo. ....	31
Figura 10: Sistema de controlo de SST. ....	32
Figura 11: Sistema de apoio auxiliar utilizado em sistema solar térmica. ....	33
Figura 12: Estrutura de Suporte responsável pela fixação e inclinação adequada dos coletores solares térmicos. ....	33
Figura 13: Sistema de Segurança integrado ao sistema solar térmico. ....	34
Figura 14: Esquema padrão de SST para aquecimento de água. ....	36
Figura 15: Fração solar em função dos parâmetros X e Y. ....	39
Figura 16: Interface inicial da ferramenta CALC (P-D SST) ....	44
Figura 17: Instruções de uso de ferramenta de dimensionamento solar térmico. ....	44
Figura 18: Representação dos dados de entrada utilizados na Ferramenta ....	46
Figura 19: Definição dos parametros de consumo e ocupação para o edifício residencial ....	51
Figura 20: Definição do permutador de calor e das condições da energia de apoio. ....	51
Figura 21: Desempenho dos coletores solares ....	52
Figura 22: Resultados de sistema solar térmicos sem acesso de produção (Residência) ....	52
Figura 23: Resultados de sistema solar térmicos com acesso de produção. ....	53

Figura 24: Edifício destinado a comércio e serviços, encerrado dois dias por semana .....	53
Figura 25: Sistema solar térmico com cobertura dupla, permutador externo e apoio elétrico .....	54
Figura 26: Desempenho dos coletores solares .....	54
Figura 27: Resultados de sistema solar térmicos sem acesso de produção (comércio e serviços) .....	55
Figura 28: Resultados de sistema solar térmicos com dois meses de acesso de produção .....	55

## Índice de tabelas

Tabela 1: Influência da época do ano na declinação solar na altura solar e no desempenho energético dos coletores solares. ....	9
Tabela 2: Distribuição da hora solar, ângulo horário, posição aparente do Sol e respetiva eficiência dos coletores solares ao longo do dia. ....	10
Tabela 3: Variação do desempenho térmico dos coletores solares em função da altitude solar e das condições de incidência da radiação. ....	10
Tabela 4: Influência do ângulo de incidência na eficiência ótica e no desempenho global de coletores solares. ....	11
Tabela 5: Influência da cobertura de nuvens sobre o tipo de radiação solar predominante e o desempenho térmico dos coletores solares. ....	12
Tabela 6: Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho térmico de coletores solares. ....	12
Tabela 7: Influência da humidade relativa na transparência atmosférica no risco de corrosão e no desempenho global de sistema solar térmicos. ....	12
Tabela 8: Relação entre a velocidade do vento e o impacto térmico e estrutural nos coletores solares. ....	13
Tabela 9: Relação entre transparência atmosférica e desempenho dos coletores solares. ....	13
Tabela 10: Comparação das perdas de desempenho dos coletores solares conforme a inclinação e o objetivo sazonal da instalação. ....	14
Tabela 11: Características técnicas e critérios de instalação para coletor solar padrão. ....	22
Tabela 12: Número convencional de ocupantes por tipologia habitacional em edifícios residenciais. ....	24
Tabela 13: Dados técnicos utilizados para o consumo de referência estabelecido pelo REH. ....	24
Tabela 14: Componentes de Circuito Hidráulico de SST. ....	28
Tabela 15: Irradiação global incidente num coletor orientado a Sul localizado em Bragança. ....	40
Tabela 16: Exemplo de tabela f-Chart com parâmetros para cálculo da fração solar mensal. ....	41
Tabela 17: Exemplo de marca e modelos de coletores solares térmicos. ....	50

## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

AQS	Água Quente Sanitária
ADENE	Agência para a Energia
CSP	Tecnologias de concentração solar
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios Habitação
SCE	Sistema de Certificação Energética

## Nomenclatura

Símbolo	Descrição	Unidade
$A_C$	Área total útil dos coletores	$m^2$
$d_n$	Dia-Número	--
$f$	Fração solar mensal	%
$\mathcal{F}$	Fração solar anual	%
$\bar{H}_T$	Irradiação Solar	$MJ/m^2 / dia$
$H_{solar}$	Hora solar	h
$L_i$	Carga térmica (no mês i)	MJ
$N$	Número de dias do mês	--
$X$	A relação entre as perdas do coletor e a carga térmica (perda)	--
$Y$	A quantidade de energia solar útil em relação à carga térmica (ganho)	--
$\frac{F'_R}{F_R}$	Fator de correção do permutador de calor	$W/m^2K$
$F_R U_L$	Fator de perda de 1º ordem	$W/m^2K$
$F_R(\tau\alpha)$	Rendimento ótico	---
$T_a$	Temperatura média mensal do ar ambiente	$^{\circ}C$
$T_{ref}$	Temperatura de referência ( $T_{ref} = 100^{\circ}C$ )	$^{\circ}C$
$\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}$	Fator de correção ótica	--
$\alpha$	Ângulo de altura solar	$^{\circ}$
$\beta$	Ângulo de inclinação do coletor solar	$^{\circ}$
$\Gamma$	Ângulo do dia	$^{\circ}$
$\delta$	Declinação solar	$^{\circ}$
$\Delta t$	Número total de segundos do mês	Ms
$\phi$	Latitude do local	$^{\circ}$
$\gamma$	Orientação dos coletores	$^{\circ}$
$\omega$	Ângulo horário	$^{\circ}$

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Introdução ao projeto

Os sistemas solares térmicos (SST) têm evoluído bastante nos últimos anos, tanto em termos de tecnologia como de integração nos edifícios. Para se dimensionar e selecionar corretamente os seus componentes, é fundamental perceber como funcionam e quais são os seus elementos principais, desde os coletores solares até aos depósitos de acumulação e sistemas de controlo.

Quando se pretende dimensionar um SST para produção de água quente sanitária, o projetista precisa de recorrer a vários cálculos, tendo em conta o tipo de edifício (se é residencial ou de comércio e serviços), os hábitos ou previsões de consumo de água quente, a localização do projeto e, por consequência, os valores de radiação solares diária na superfície dos coletores, bem como as médias mensais da temperatura da água fria da rede e do ar ambiente. Esta análise detalhada permite garantir que o sistema responde às necessidades reais dos utilizadores e que a instalação é eficiente ao longo do ano.

Durante este processo, surgem situações em que não existe uma única solução possível, podendo o projetista escolher entre diferentes coletores solares certificados segundo a norma EN 12975 e/ou optar por várias misturas para avaliar rapidamente, mas com fiabilidade, as alternativas disponíveis, tendo em conta não só a eficiência energética, mas também os custos de instalação, manutenção e durabilidade dos equipamentos.

Além disso, segundo o Decreto-Lei nº 101-D/2020, a escolha de um sistema solar térmico deve garantir, obrigatoriamente, uma produção de energia igual ou superior à definida como referência para cumprir os requisitos mínimos do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios Habitação (REH). Isto obriga a um maior rigor no cálculo do desempenho dos sistemas, de forma a assegurar que os edifícios cumprem as normas de eficiência energética atualmente em vigor.

Outro aspeto importante prende-se com as alterações recentes na legislação e nos incentivos fiscais. Por exemplo, até junho de 2025, a aquisição e instalação de painéis solares térmicos beneficiava de uma taxa reduzida de IVA [1], medida que foi temporária e que terminou, tornando o investimento ligeiramente mais gravoso para os consumidores. Apesar disso continuam a existir apoios financeiros e incentivos a adoção de energias renováveis, especialmente em projetos de autoconsumo ou em comunidades de energia renovável, o que pode ser uma vantagem para quem pretende investir nestas soluções. Por fim, uma das condicionantes do pré-dimensionamento de um SST é a análise dos possíveis sombreamentos provocados por obstáculos, o que pode afetar o desempenho do sistema. Exemplos disso são a determinação das distâncias mínimas entre obstáculos e coletores, ou entre filas de coletores, e o cálculo das

perdas energéticas causadas por sombras. Esta avaliação é fundamental para garantir que o investimento feito no sistema solar térmico se traduz numa produção de energia efetiva e sustentável ao longo do tempo.

O dimensionamento de um sistema solar térmico é um processo que exige conhecimento técnico, análise detalhada das condições locais, atenção à legislação aplicável e uma avaliação cuidada das soluções disponíveis no mercado. Só assim é possível garantir sistemas eficientes, duradouros e que contribuam para a redução do consumo energético e das emissões de carbono, alinhando-se com as metas nacionais e europeia de sustentabilidade.

## **1.2. Contexto e motivação**

Nos últimos anos tem havido uma demasia preocupação com o impacto ambiental do uso excessivo de combustíveis fósseis e com a carência de promover fontes de energia mais sustentáveis. A energia solar surge como uma alternativa limpa e renovável, sendo os Sistemas Solares Térmicos (SST) uma das soluções mais utilizadas para aquecer água, tanto para uso doméstico como para aplicações em edifícios ou na indústria. Apesar das suas vantagens, o processo de dimensionamento de um SST pode ser algo complexo, uma vez que depende de vários fatores como o local de instalação, o consumo diário de água quente, a inclinação e orientação dos coletores solares, entre outros. por isso, é importante criar ferramentas que facilitem esta fase inicial de estudo – chamado pré-dimensionamento – ajudando a perceber se o sistema é viável e adequado às necessidades do utilizador.

Neste sentido, surgiu o interesse em desenvolver uma ferramenta simples e prática que possa ajudar técnicos, estudantes ou qualquer pessoa interessada, a realizar esse pré-dimensionamento de forma rápida e com base em dados reais.

Além disso, é importante referir que muitos projetos de pequena e média dimensão acabam por não avançar com a instalação de sistema solares térmicos por falta de informação ou por desconhecimento técnico. Isto leva à perda de oportunidades reais de poupança energética e de redução de impacto ambiental. Uma ferramenta que auxilie no pré-dimensionamento poderá servir como ponto de partida para uma maior adoção desta tecnologia, permitindo ao utilizador perceber, de forma clara e objetiva, os benefícios e a viabilidade do sistema em cada caso específico.

A legislação nacional e europeia tem vindo a reforçar os requisitos de eficiência energética. Neste contexto, os SST assumem um papel estratégico, uma vez que contribuem para o cumprimento dos requisitos legais e para a obtenção de melhores classificações energéticas, o que valoriza o imóvel. No entanto, para se alcançar essa eficiência, é necessário dimensionar corretamente o sistema e

adaptá-lo às necessidades reais do utilizador o que reforça ainda mais a utilidade de uma ferramenta de apoio.

A aposta em energias renováveis não é apenas uma escolha ambiental, mas também uma decisão económica cada vez mais racional. Com a subida dos preços da energia e a instabilidade dos mercados energéticos globais, torna-se urgente encontrar soluções locais, independentes e sustentáveis. Os sistemas solares térmicos respondem a essa necessidade, ao oferecerem uma alternativa económica a médio e longo prazo, com baixos custos de manutenção e grande durabilidade. Contudo, para que esse investimento seja bem-sucedido, é essencial que o sistema seja dimensionado corretamente desde o início.

Finalmente, é importante destacar também o papel da educação e da formação técnica neste processo. Ferramentas como a que se pretende desenvolver neste trabalho podem ser um recurso valioso em contextos de ensino, permitindo que estudantes de cursos técnicos ou universitários explorem de forma prática e interativa os princípios do dimensionamento de sistemas solares. Ao mesmo tempo, podem ser usadas por profissionais em contexto de trabalho como um auxílio rápido para decisões iniciais de projeto.

Resumidamente, este projeto nasce da necessidade real de tornar o acesso às energias renováveis mais simples, acessível e adaptado à realidade do utilizador comum, enquanto promove o uso responsável da energia e contribui para um futuro mais sustentável. A ferramenta que se pretende desenvolver poderá ser um contributo útil tanto para a sociedade como para os profissionais da área, facilitando o planeamento energético e incentivando o uso da energia solar de forma eficaz e consciente.

### **1.3. Objetivos**

O presente projeto tem como finalidade o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao pré dimensionamento de sistemas solares térmicos, recorrendo ao Microsoft Excel como plataforma base. Pretende-se que esta ferramenta automatize o processo de cálculo e de análise uma vez que a forma tradicional, exige múltiplos passos manuais e dispersão de dados técnicos. A sua utilização possibilitará ao projetista ou técnico numa abordagem mais rápida, estruturada e fiável, reduzindo significativamente o tempo necessário para o dimensionamento preliminar e minimizando a probabilidade de erros.

A ferramenta foi concebida com o objetivo de integrar parâmetros fundamentais como relação entre as perdas do coletor e a carga térmica, a quantidade de energia solar útil em relação à carga térmica, fração solar mensal e anual a radiação solar disponível, o tipo de coletores, a capacidade de armazenamento, o perfil de consumo e as condições climáticas locais, carga mensal, tipologia do edifício, tipo de cobertura do coletor, localização do permutador de calor, e demais outros permitindo gerar resultados adaptados às necessidades

específicas de cada situação. Desta forma, torna-se possível propor soluções otimizadas, garantindo um equilíbrio adequado entre desempenho energético, custos de investimento e com forte do utilizador final.

Para além da vertente técnica, este projeto tem também como objetivo contribuir para a promoção da eficiência energética e da utilização de energias renováveis ao disponibilizar uma solução prática e acessível a engenheiros, instaladores, arquitetos e estudantes da área. O recurso a uma ferramenta deste tipo não só apoia a tomada de decisão em fases iniciais de projeto, como também constitui um incentivo à adoção de tecnologias solares térmicas, assegurando que os sistemas dimensionados correspondem a padrões de qualidade e de sustentabilidade.

#### **1.4. Metodologia**

Para o desenvolvimento desta ferramenta de pré-dimensionamento de sistemas solares térmicos, foi adotada uma abordagem baseada na recolha de dados reais de radiação solar, da temperatura média da água fria da rede de abastecimento e do ar ambiente, bem como nos perfis de consumo, local de instalação, tipologia dos edifício, ocupação, regime de utilização, tipo de cobertura do coletores, localização do permutador de calor, energia de apoio, preço de energia de apoio, otimização da instalação dos coletores, ângulo de instalação dos coletores, marca e modelos de coletores, quantidade de coletores a instalar. O processo metodológico incluiu a análise da legislação em vigor, nomeadamente o decreto-lei nº 101-D/2020 e exigências do REH, de forma a garantir conformidade com os requisitos mínimos de eficiência energética.

Os cálculos foram estruturados no Microsoft Excel, permitindo automatizar etapas como a determinação da fração solar mensal e anual, a relação entre perdas térmicas e a carga do sistema, energia de apoio, energia solar, necessidade de AQS, custo energético anual, estimativa de custo de SST, e amortização do SST, e a seleção de coletores certificado. Foram ainda incluídos procedimentos para considerar fatores como inclinação, rendimento ótico, área de abertura, coeficiente de perdas térmicas dos coletores, de modo a obter resultados mais fiáveis e adaptados a condições reais de instalação. Esta metodologia garante que o pré-dimensionamento seja rápido, prático e tecnicamente robusto, funcionando como uma ferramenta de apoio ao projetista para decisões preparatórias que influenciam a eficiência e viabilidade do sistema.

#### **1.5. Estrutura do relatório**

O presente relatório técnico do projeto final da licenciatura da Engenharia das Energias Renováveis, é composto por elementos estruturais essenciais que garantem clareza, organização e rigor metodológico. A sua composição inclui:

- Capítulo 1: Enquadramento do Projeto. Apresenta o contexto teórico e prático do trabalho, explica a motivação que levou a criação da ferramenta, define os objetivos gerais e específicos do trabalho, e descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto, incluindo as etapas de pesquisa, análise, conceção e implementação.
- Capítulo 2: Energia Solar Térmica. Introdução a energia proveniente do sol, explica os fundamentos astrométricos e metrológicos, analisa os parâmetros solares e as condições climáticas, aborda a influencia da orientação e do sombreamento nos sistemas solares e destaca os benefícios energéticos, ambientais e económicos da energia solar térmica.
- Capítulo 3: Coletores Solares. Classifica os tipos de coletores: sem cobertura, planos, CPC's e de Vácuo, descreve as características óticas e curvas de desempenho dos coletores, explica o conceito de temperatura de estagnação, introduz o coletor padrão e as regras do REH, em seguida compara o coletor padrão com outros sistemas solares térmicos, incluídas implicações regulamentares.
- Capítulo 4: Método f-Chart. Apresenta a origem histórica do método f-chart, em seguida explica os fundamentos e objetivos do método, também detalha os parâmetros envolvidos e as vantagens da sua aplicação no dimensionamento de sistemas solares térmicos.
- Capítulo 5: Ferramenta de Apoio ao Pré-dimensionamento de SST. Descreve o objeto da ferramenta desenvolvida, explica a sua constituição e funcionamento como apoio ao projeto de sistemas solares térmicos.
- Capítulo 6: são apresentadas as principais conclusões do projeto, nomeadamente que objetivos foram cumpridos, o que se aprendeu e o que ficou por fazer. Estabelecem-se também as melhorias a introduzir em futuros desenvolvimentos deste trabalho.

## 2. ENERGIA SOLAR TÉRMICA

### 2.1. Introdução

A utilização racional da energia é um dos pilares fundamentais para um desenvolvimento sustentável, tendo em conta os desafios ambientais e económicos que a sociedade contemporânea enfrenta. Neste enquadramento, a energia solar térmica assume um papel de destaque como solução renovável, limpa e acessível para a produção de calor útil, nomeadamente na preparação de águas quentes sanitárias (AQS), aquecimento ambiente e, em certos contextos, apoio a processos industriais.

[2]Este tipo de tecnologia baseia-se na conversão da radiação solar em energia térmica por meio de superfícies absorventes, normalmente designadas por coletores solares, que captam e transferem o calor para um fluido térmico. a sua aplicação abrange uma vasta gama de utilizações, desde pequenas instalações domésticas até sistemas de grande escala em edifícios públicos, hotéis ou infraestruturas industriais.

Num mundo cada vez mais consciente da necessidade de descarbonização da economia, os sistemas solares térmicos representam não apenas uma alternativa viável, mas também uma mais-valia em termos de eficiência energética, redução das emissões de gases com efeito de estufa e diminuição da dependência de Fontes de energia não renováveis.

A adoção desta tecnologia, contudo, requer uma compreensão técnica apurada das variáveis que afetam o seu desempenho, desde fatores astronómicos até características meteorológicas locais, passando pelo correto dimensionamento dos sistemas e escolha ciente dos materiais e componentes radiação

### 2.2. Radiação proveniente do Sol

De acordo com [3], a radiação solar constitui a fonte primária de energia utilizada pelos sistemas de salares térmicos. Esta radiação resulta de processos de difusão Nuclear que ocorre no interior do sol, onde núcleos de hidrogénio se fundem para formar hélio, libertando enormes quantidades de energia. Essa energia propaga-se sob a forma de radiação eletromagnética, alcançando a Terra após percorrer aproximadamente 150 milhões de quilómetros.

A intensidade da radiação recebida à entrada da atmosfera terrestre, conhecida como constante solar, tem um valor médio de  $1367 \text{ W/m}^2$ . Contudo, diversos processos atmosféricos (como absorção, reflexão e dispersão por partículas) e gases (condicionam a quantidade de energia que efetivamente atinge a superfície terrestre).

A radiação solar que chega à superfície pode ser classificada em três componentes principais:

- Radiação direta normal: é a radiação que chega ao Sol sem sofrer qualquer desvio na sua trajetória. é mais intensa e a mais útil para sistemas solares, sobretudo se os coletores estiverem corretamente orientados em direção ao sol.
- Radiação difusa: resulta da dispersão dos raios solares na atmosfera. embora tenha menor intensidade, é especialmente relevante em dias nublados ou em locais com elevada turbidez atmosférica.
- Radiação refletida: corresponde à parte da radiação que, após atingir o solo ou superfícies próximas, é refletida e eventualmente absorvida pelos cultores.

A disponibilidade e intensidade destas componentes variam significativamente com hora do dia, época do ano, latitude, condições meteorológicas e características atmosféricas locais. Por esse motivo, a avaliação do recurso solar deve basear-se em dados climatológicos fiáveis, recolhidos durante longos períodos, preferencialmente através das estações meteorológicas locais ou bases de dados internacionais validadas.

### **2.3. Energia Solar**

De acordo com [4] a energia solar constitui-se como uma das mais promissoras alternativas para responder às crescentes necessidades energéticas da sociedade moderna. O Sol fornece anualmente à Terra uma quantidade de energia estimada em  $1,5 \times 10^{18}$  kWh, valor que corresponde a cerca de 10.000 vezes o consumo energético mundial anual. Esta dimensão evidencia o enorme potencial deste recurso natural, cuja abundância ultrapassa largamente a procura energética da humanidade.

Trata-se de uma fonte de energia renovável, limpa e inesgotável à escala humana, capaz de garantir simultaneamente a redução da dependência de combustíveis fósseis e a mitigação das emissões de gases com efeito de estufa, que são as principais responsáveis pelas alterações climáticas.

Apesar destas vantagens evidentes, a energia solar apresenta também alguns desafios técnicos e económicos. Por um lado, a sua disponibilidade é universal, repartida de forma relativamente equitativa pelo globo. Por outro, a radiação solar é considerada uma fonte difusa e intermitente, o que implica a necessidade de grandes superfícies de captação e de sistemas complementares de armazenamento ou apoio, de forma a assegurar a sua utilização contínua e estável.

O aproveitamento da energia solar pode assumir diversas formas:

- Aquecimento solar térmico, através de coletores solares, utilizado na produção de água quente sanitária, aquecimento de piscinas, climatização de edifícios ou apoio a processos industriais.

- Energia fotovoltaica, que permite converter diretamente a radiação solar em eletricidade por meio de células solares, com possibilidade de ligação à rede elétrica ou funcionamento autónomo em locais isolados.
- Tecnologias de concentração solar (CSP), que utilizam espelhos ou lentes para concentrar a radiação em pontos específicos, produzindo calor de alta temperatura para gerar eletricidade em turbinas a vapor.

O desenvolvimento destas tecnologias tem permitido não só a diversificação do setor energético, mas também a criação de novas oportunidades económicas e sociais. Em várias regiões do mundo, a energia solar já se tornou competitiva face às fontes tradicionais, com custos em constante diminuição e forte atratividade para investimento.

Do ponto de vista ambiental, a energia solar apresenta vantagens significativas: não liberta poluentes durante a sua utilização, contribui para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e ajuda a preservar os recursos naturais finitos. Adicionalmente, o seu carácter descentralizado permite o aprovisionamento energético local, promovendo a autonomia das comunidades e reduzindo perdas associadas ao transporte e distribuição de energia.

Em síntese, a energia solar é hoje um pilar essencial da transição energética, oferecendo não apenas uma alternativa sustentável, mas também uma resposta estratégica para enfrentar os desafios globais relacionados com as alterações climáticas, a segurança do abastecimento energético e a independência face a recursos fósseis.

## **2.4. Bases astronómicas e meteorológicas**

De acordo com [5] o desempenho dos sistemas solares térmicos depende diretamente da quantidade de radiação solar que atinge os coletores e essa disponibilidade energética está condicionada por dois grandes grupos de fatores naturais: Os astronómicos e os meteorológicos. O conhecimento aprofundado destas variáveis é essencial para o dimensionamento, posicionamento e avaliação da eficiência dos sistemas solares.

### **Condições astronómicas e o Desempenho dos coletores solares térmicos**

O aproveitamento da energia solar através de coletores térmicos está inteiramente ligado à posição aparente do Sol no céu, a qual varia ao longo do ano em função da latitude geográfica, do dia do calendário e da hora solar local. Esta variação resulta da inclinação do eixo da terra (aproximadamente  $\pm 23,45^\circ$ ) e do seu movimento de translação em torno do Sol, o que origina alterações sazonais na trajetória solar e, conseqüentemente, na quantidade e qualidade da radiação disponível para conversão térmica.

Apresentam a seguir os principais parâmetros astronômicos que influenciam o desempenho dos coletores solares térmicos, com explicações técnicas e tabelas comparativas que provam os seus efeitos em deferentes condições.

- Declinação solar ( $\delta$ ): representa o ângulo entre os raios solares e o plano equatorial da Terra. Este parâmetro varia ao longo do ano, atingindo valores extremos de  $-23,45^\circ$  no Solstício de Inverno (21 de Dezembro) e  $+23,45^\circ$  no Solstício de Verão (21 ou 22 de Junho). A declinação afeta diretamente a altura solar e, por consequência, a duração e intensidade da radiação incidente.

Tabela 1: Influência da época do ano na declinação solar na altura solar e no desempenho energético dos coletores solares.

Época do Ano	Declinação Solar ( $\delta$ )	Altura Solar ( $\alpha$ )	Impacto nos Coletores
Inverno (Dezembro)	$-23,45^\circ$	Baixa	Redução da radiação direta; menor rendimento
Equinócios	$0^\circ$	Média	Radiação equilibrada; rendimento estável
Verão (Junho)	$+23,45^\circ$	Elevada	Máxima radiação direta; rendimento otimizado

A expressão (1) define o ângulo do dia em função do dia-número:

$$\Gamma = \frac{360(d_n - 1)}{365} \quad (1)$$

em que:

$\Gamma$	Ângulo do dia	°
$d_n$	Dia-Número	--

A expressão que define a declinação solar em função do ângulo do dia pode ser obtida pela equação (2):

$$\delta = \left( 0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \sin(2\Gamma) - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \sin(3\Gamma) \right) \times \left( \frac{180}{\pi} \right) \quad (3)$$

em que:

$\delta$	Declinação solar	°
$\Gamma$	Ângulo do dia	°

- Ângulo horário ( $\omega$ ): mede o deslocamento angular do Sol em relação ao meridiano local. Cada hora solar corresponde a um avanço de  $15^\circ$ , sendo o valor nulo do ângulo horário ao meio-dia solar. Este parâmetro é essencial para calcular a posição solar ao longo do dia, permitindo prever os períodos de maior incidência solar sobre os coletores.

Tabela 2: Distribuição da hora solar, ângulo horário, posição aparente do Sol e respetiva eficiência dos coletores solares ao longo do dia.

Hora Solar	Ângulo Horário ( $\omega$ )	Posição do Sol	Eficiência dos Coletores
08:00	$-60^\circ$	Baixa	Eficiência reduzida
12:00	$0^\circ$	Zénite	Eficiência máxima
16:00	$+60^\circ$	Baixa	Eficiência reduzida

A equação que o define é:

$$\omega = 15^\circ \times (H_{\text{solar}} - 12) \quad (4)$$

em que:

$\omega$	Ângulo horário	°
$H_{\text{solar}}$	Hora solar	h

- Altitude solar ( $\alpha$ ): é o ângulo entre os raios solares e o plano horizontal local. Quanto maior este angulo, mais perpendicular será a incidência da radiação sobre os coletores, o que favorece a absorção térmica. A altitude solar depende da hora do dia, da declinação solar e da latitude do local.

Tabela 3: Variação do desempenho térmico dos coletores solares em função da altitude solar e das condições de incidência da radiação.

Altitude Solar ( $\alpha$ )	Condição de Incidência	Radiação Recebida	Desempenho Térmico
$< 20^\circ$	Incidência oblíqua	Baixa	Fraco
$20^\circ - 60^\circ$	Incidência média	Moderada	Estável
$> 60^\circ$	Incidência perpendicular	Elevada	Ótimo

A sua equação é determinada pela seguinte fórmula:

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\delta \cdot \sin\Phi + \cos\delta \cdot \cos\Phi \cdot \cos\omega) \quad (5)$$

em que:

$\alpha$	Ângulo de altura solar	°
$\delta$	Declinação solar	°

$\phi$	Latitude do local	°
$\omega$	Ângulo horário	°

- Ângulo de incidência ( $\theta$ ): é definido entre os raios solares e a normal à superfície do coletor. A eficiência do sistema é máxima quando este ângulo é mínimo, ou seja, quando os raios solares incidem perpendicularmente ao plano do coletor. Este parâmetro é crucial para o dimensionamento e orientação dos coletores.

Tabela 4: Influência do ângulo de incidência na eficiência ótica e no desempenho global de coletores solares.

Ângulo de Incidência ( $\theta$ )	Tipo de Incidência	Eficiência Ótica	Rendimento Global
0°–15°	Quase perpendicular	Elevada	Máximo
15°–45°	Média	Moderada	Estável
> 45°	Oblíqua	Reduzida	Fraco

### Considerações Técnicas

A interpretação correta dos parâmetros astronômicos permite elevar ao máximo o aproveitamento da radiação solar e melhorar o desempenho dos coletores térmicos. A orientação e inclinação dos coletores devem ser ajustadas com base na latitude e nas variações sazonais da posição solar, garantindo que o ângulo de incidência seja minimizado durante os períodos de maior demanda energética. Além disso, a análise do ângulo horário e da altitude solar ao longo do dia permite prever os períodos de pico de produção térmica, essenciais para o dimensionamento de sistemas de acumulação e distribuição.

### Condições Meteorológicas e o Desempenho dos Coletores Solares Térmicos

Segundo [4], o funcionamento eficiente de um sistema solar térmico depende fortemente das condições atmosféricas envolventes. As variáveis meteorológicas não só influenciam a quantidade de radiação solar que atinge os coletores, como também afetam diretamente os mecanismos de transferência de calor e as perdas térmicas associadas. A seguir, apresenta-se uma análise técnica das principais variáveis envolvidas, com destaque para os seus efeitos em diferentes cenários.

As variáveis mais relevantes são:

- Cobertura de nuvens: A presença de nuvens modifica substancialmente a composição da radiação solar incidente. Em dias limpos, o elemento direto domina, sendo altamente eficaz para os coletores planos e de tubos de vácuo. Contudo, com o aumento da nebulosidade, esse elemento é reduzido, dando lugar à radiação difusa, que é menos intensa e menos direcional.

Tabela 5: Influência da cobertura de nuvens sobre o tipo de radiação solar predominante e o desempenho térmico dos coletores solares.

Cobertura de Nuvens	Tipo de Radiação Predominante	Impacto nos Coletores
Baixa (céu limpo)	Radiação direta	Elevado rendimento térmico
Moderada	Mista (direta + difusa)	Rendimento intermédio
Elevada (céu nublado)	Radiação difusa	Redução significativa da eficiência

- Temperatura ambiente: A temperatura exterior influencia diretamente as perdas térmicas por condução e convecção. Em ambientes frios, a diferença de temperatura entre o fluido térmico e o ar exterior é maior, o que intensifica as perdas. Já em climas quentes, essa diferença é menor, favorecendo a retenção de calor.

Tabela 6: Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho térmico de coletores solares.

Temperatura Ambiente	Diferença Térmica	Perdas nos Coletores	Eficiência Global
< 10 °C	Elevada	Altas perdas	Baixa
15–25 °C	Moderada	Perdas controladas	Boa
> 30 °C	Reduzida	Mínimas perdas	Elevada

- Humidade relativa: Interfere na propagação da radiação solar ao afetar a transparência atmosférica. Em ambientes húmidos, há maior dispersão da radiação, o que pode reduzir a intensidade que chega aos coletores. Além disso, níveis elevados de humidade favorecem a erosão dos componentes metálicos, especialmente em zona costeira.

Tabela 7: Influência da humidade relativa na transparência atmosférica no risco de corrosão e no desempenho global de sistema solar térmicos.

Humidade Relativa	Transparência Atmosférica	Risco de Corrosão	Impacto no Sistema
< 40%	Alta	Baixo	Desempenho ótimo
40–70%	Moderada	Médio	Rendimento estável
> 70%	Baixa	Elevado	Redução de eficiência e durabilidade

- Velocidade e direção do vento: O vento atua como agente de convecção forçada, aumentando as perdas térmicas nos coletores, sobretudo em dias frios. A direção do vento também pode influenciar a acumulação de poeiras e a integridade estrutural dos sistemas mal protegidos.

Tabela 8: Relação entre a velocidade do vento e o impacto térmico e estrutural nos coletores solares.

Velocidade do Vento	Tipo de Perda	Efeito nos Coletores
Fraca (< 2 m/s)	Natural	Perdas mínimas
Moderada (2–5 m/s)	Forçada	Perdas médias
Forte (> 5 m/s)	Intensa	Perdas elevadas, risco estrutural

- Índice de transparência atmosférica: Este índice representa a capacidade da atmosfera em transmitir a radiação solar sem grandes perdas por absorção ou dispersão. É influenciado por partículas em suspensão, como poeiras, poluentes e aerossóis. Quanto menor o índice, menor a quantidade de energia útil que chega aos coletores.

Tabela 9: Relação entre transparência atmosférica e desempenho dos coletores solares.

Transparência Atmosférica	Causas	Radiação Transmitida	Eficiência dos Coletores
Alta	Céu limpo, baixa poluição	Máxima	Elevada
Média	Poluição urbana moderada	Parcial	Intermédia
Baixa	Poeiras, aerossóis, nevoeiro	Reduzida	Baixa

### Considerações Finais

A compreensão especificada das variáveis meteorológicas permite otimizar a instalação e operação dos sistemas solares térmicos. A escolha de materiais resistentes à corrosão, a implementação de proteções contra o vento e a manutenção regular são estratégias fundamentais para mitigar os efeitos adversos do clima. Em projetos de engenharia solar, é essencial integrar dados climatológicos locais para garantir a viabilidade e a longevidade dos sistemas.

### 2.5. A influência da orientação

De acordo com [3], a orientação dos coletores solares térmicos é um dos fatores mais determinantes no desempenho global do sistema. A posição relativa entre a superfície, coletora e o percurso aparente do Sol no céu condiciona diretamente a quantidade de radiação solar absorvida ao longo do dia e, consequentemente, o calor útil gerado. Uma orientação inadequada pode comprometer significativamente o rendimento da instalação mesmo quando todos os restantes elementos estão corretamente dimensionados.

Em regiões do hemisfério norte, como é o caso de Portugal continental [5], a orientação ideal dos coletores corresponde de forma geral ao Sul geográfico (azimute 0°) visto que esta disposição maximiza a captação de radiação solar durante todo o ano. Qualquer desvio em relação a essa direção pode causar

perdas energéticas, cuja magnitude depende do ângulo de desvio e da inclinação adotada.

Além da orientação, a inclinação do plano coletor em relação à horizontal é igualmente relevante. O ângulo de inclinação ideal depende do objetivo principal do sistema:

- Para maximizar a captação ao longo de todo o Ano, recomenda-se uma inclinação aproximadamente igual à latitude do local com  $-5^\circ$ ;
- Para otimizar a produção durante o Inverno, a inclinação deve ser aumentada em cerca de  $+15^\circ$ , de modo a compensar menor altura solar;
- Para maximizar o ganho no Verão, pode-se reduzir a inclinação em valores semelhantes  $-15^\circ$ , uma vez que o Sol atinge ângulos mais elevados.

Tabela 10: Comparação das perdas de desempenho dos coletores solares conforme a inclinação e o objetivo sazonal da instalação.

Inclinação / Objetivo	Sul ( $0^\circ$ )	$15^\circ$ Nascente	$15^\circ$ Poente	Observações
Latitude $-5^\circ$ (anual)	0%	$-1,5\%$	$-1,5\%$	Melhor compromisso anual; perdas mínimas com desvios.
Latitude $+15^\circ$ (inverno)	0%	$-2,5\%$	$-2,5\%$	Favorece meses frios; perdas ligeiramente maiores com desvios devido ao Sol baixo.
Latitude $-15^\circ$ (verão)	0%	$-1\%$	$-1\%$	Favorece meses quentes; perdas quase irrelevantes com desvios.

Segundo [5], um desvio de  $15^\circ$  para nascente ou para poente raramente ultrapassa 2-3% de perda anual.

- No verão o impacto é menor, muitas vezes inferior a 1%, porque o Sol percorre mais alto e mais longo no céu, garantindo boa incidência durante grande parte do dia.
- No inverno, o impacto é ligeiramente maior, pois o Sol está mais baixo e o arco diário é mais curto.

Distribuição horária da produção:

- $15^\circ$  nascente: mais produção de manhã, menos à tarde;
- $15^\circ$  poente: mais produção à tarde, menos de manhã;
- A escolha pode ser feita com base no perfil de consumo diário.

Fatores complementares: inclinação e orientação

- A inclinação ajusta a produção sazonal:
  - Ângulo maior - melhor desempenho no inverno (Sol baixo);
  - Ângulo menor - melhor desempenho no verão (Sol alto)
- Orientação, ajusta a produção horário:
  - Mais para nascente- favorece manhã
  - Mais para poente- favorece tarde

Quando otimizar:

- Uso equilibrado todo o ano: Latitude – 5°, orientação o mais próximo possível de Sul
- Maior consumo no inverno: Latitude + 15°, mesmo que haja pequeno desvio.
- Maior consumo no verão: Latitude – 15°, desvio pouco relevante.

## **2.6. Sombreamento em sistemas solares**

O sombreamento é um dos fatores mais críticos a evitar na concepção e instalação de sistemas solares térmicos. A presença de obstáculos que interfiram com a exposição direta dos coletores solares. A radiação solar pode provocar reduções substanciais na energia útil captada e afetar gravemente o rendimento do sistema.

Os efeitos do sombreamento são particularmente relevantes nos meses de Inverno, quando o Sol se encontra mais baixo no horizonte e os obstáculos projetam sombras mais longas. Obstáculos como edifícios adjacentes, árvores de grande porte, muros chaminés ou mesmo elementos estruturais da própria cobertura, como muretas e claraboias, podem causar sombreamento parcial ou total em diferentes horas do dia.

A perda energética causada por sombreamento não é apenas proporcional à área afetada. Num coletor solar térmico, uma zona sombreada pode provocar uma descida significativa da temperatura do fluido naquela secção, comprometendo a transferência de calor e afetando o desempenho global do sistema. Em circuitos interligados, o sombreamento de um único coletor pode prejudicar a eficiência de todo o campo solar.

A análise de sombreamento deve, por isso, ser realizada com o máximo rigor durante a fase de projeto, recorrendo a ferramentas apropriadas para tal.

Idealmente, os coletores devem manter-se sem obstruções entre as 9 horas e as 17 horas solares, intervalo que concentra a maior parte da energia solar de área disponível. Caso não seja possível evitar absolutamente as sombras, deve-se considerar o impacto na produção e proceder a um redimensionamento ou reorientação estratégica da instalação.

A equação de sombreamento normalmente procura saber se uma fileira de painéis vai projetar sombra sobre a seguinte, dependendo da posição do Sol ( $\alpha$ ), da inclinação dos painéis ( $\beta$ ), da orientação ( $\gamma$ ), da latitude ( $\phi$ ) e da distância entre fileiras ( $D$ ).

Também é muito relevante tomar em consideração os dois conceitos tais como, superfície inclinada, e plana.

A projeção de sombra entre fileiras é obtida por meio da equação abaixo, que considera a geometria solar e a organização dos módulos:

$$d' = L \left( \frac{\sin(\beta - \theta)}{\tan(\alpha + \theta)} + \tan(\beta - \theta) \right) \quad (6)$$

em que:

$d'$	Distância projetada	m
$L$	Comprimento do painel	m
$\beta$	Ângulo de inclinação do painel	°
$\theta$	Desvio azimutal	°
$\alpha$	Altura solar	°

### Tipos de sombreamento em coletores Térmicos

identificam-se diversos tipos de sombreamento suscetíveis que afetam a eficiência de um coletor solar térmico.

- Fixo: Provocado por elementos permanentes.  
Ex: Edifícios, Muros, Chaminés, Árvores de Grande porte.
- Sazonal: Varia ao longo do ano devido à alteração da altura e posição do Sol.  
Ex: Árvores caducifólias, Sombras mais longas no inverno.
- Dinâmico: Resulta de elementos móveis ou temporários.  
Ex: Nuvens, Galhos ao vento, Objetos ocasionais.
- Auto-Sombreamento: Quando partes do próprio sistema projetam sombra sobre outras partes.  
Ex: Fileiras de Coletores demasiado próximas ou mal inclinadas.
- Acidental operacional: Decorre de falta de manutenção ou obstruções imprevistas.  
Ex: Sujidade, Folhas, Neve, Objetos deixados sobre o coletor.

### Impactos no desempenho

Radiação da energia captada: Menos radiação (menor produção de calor).

- Queda de eficiência: O fluido atinge temperaturas mais baixas, exigindo mais apoio de energia auxiliar.
- De uniformidade térmica: Diferenças de temperatura na superfície do coletor podem acelerar desgaste.
- Impacto sazonal agravado: No inverno, a perda é mais significativa devido à menor radiação disponível.
- Perda anual acumulada: Sombreamento recorrente pode reduzir de forma relevante a fração solar anual prevista no projeto.

### **Prevenção**

- Estudo prévio da trajetória solar anual.
- Distância adequada entre fileiras para evitar auto-sombreamento.
- Escolha de local sem obstáculos na direção do Sol.
- Manutenção regular para remover sujidade e detritos.
- Ajuste correto de inclinação e orientação.

## **2.7. Vantagens dos sistemas solares**

A adoção de sistemas solares térmicos representa uma solução vantajosa sob múltiplos pontos de vista energético económico ambiental e técnico. A integração deste tipo de sistema edifícios residenciais, serviços públicos ou instalações industriais contribui significativamente para os objetivos nacionais e internacionais de transição energética e neutralidade carbónica.

### **Benefícios energéticos**

Os sistemas solares térmicos permitem substituir total ou parcialmente fontes de energia convencionais, tal como eletricidade, gás e gasóleo, na produção de calor. Esta substituição contribui para a redução do consumo energético primário e para a diversificação da matriz energética, aumentando a resiliência e autonomia das instalações.

Além disso, em muitas situações, é possível associar os sistemas solares térmicos a outros sistemas de climatização, tais como bombas de calor, caldeiras e sistemas híbridos, o que reforça ainda mais o seu contributo na eficiência global do edifício.

### **Benefícios ambientais**

O impacto ambiental positivo dos sistemas solares térmicos é inegável. Ao utilizarem uma fonte de energia limpa e renovável, eliminam a emissão de dióxido de carbono associado à produção de calor por combustíveis fósseis. Em média, um Sistema Solar Térmico doméstico pode evitar a emissão de várias toneladas de CO<sub>2</sub> por ano.

Adicionalmente estes sistemas não produzem ruído, não requerem combustão nem geram resíduos tóxicos, o que os torna ideais para zonas urbanas e áreas ambientalmente sensíveis.

### **Benefícios Económicos**

Embora o investimento inicial num Sistema Solar Térmico possa ser relativamente elevado, os custos operacionais são extremamente reduzidos, sendo praticamente limitados à manutenção periódica. Com os preços da energia em constante subida, a economia gerada pelo sistema pode traduzir-se num retorno do investimento *payback* em prazos que variam entre 4 e 10 anos, consoante a utilização e a tipologia da instalação.

### 3. COLETORES SOLARES

Os coletores solares são dispositivos destinados a captar a energia proveniente do Sol e convertê-la em calor, sendo utilizados principalmente para aquecimento de água ou ambientes. Destacam-se pela firmeza, pela resistência ao longo do tempo e pela importância crescente no processo de transição energética. O seu uso contribui para a redução do consumo de combustíveis fósseis e para o aproveitamento de recursos renováveis.

#### 3.1. Tipos de coletores

Existem diferentes configurações de coletores solares, cada uma delas adaptada a necessidades específicas.

##### Coletores sem cobertura

Simples na construção são adequados para aplicações em que o aumento da temperatura não é excessivo. Funcionam melhor em climas amenos quando o risco de perdas térmicas é baixo.

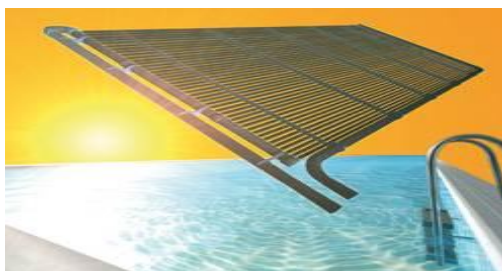


Figura 1: Modelo de coletor solar sem cobertura.

fonte [6]

##### Coletores planos

Consistem numa superfície plana de absorção coberta por um vidro ou material transparente. São versáteis, utilizados em diversos sistemas domésticos e industriais, sendo conhecidos pelo bom equilíbrio entre custo e eficiência.



Figura 2: Coletores solares planos.

Fonte [6]

##### Coletores Parabólicos Compostos (CPCs)

Projetados para maximizar a concentração da radiação solar. Possuem geometria específica que direciona e intensifica a energia chegada ao

absorvedor. São indicados para aplicações que exigem temperaturas mais elevadas.



Figura 3: Coletores solares CPCs utilizado em sistemas de aquecimento de alta eficiência.

Fonte [6]

### Coletores de vácuo

São os mais eficientes para temperaturas elevadas devido ao isolamento proporcionado pelo vácuo entre tubos. Utilizados em processos industriais ou em regiões de clima mais frio, onde as perdas térmicas são significativas.



Figura 4: Coletor solar de vácuo para aquecimento de água em sistemas residenciais e industriais.

Fonte [6]

## 3.2. Características óticas dos coletores solares

A eficiência de cada coletor depende diretamente das suas propriedades óticas, nomeadamente:

- Transmitância: capacidade do material de cobertura de deixar passar a radiação solar.
- Absorvência: percentagem de energia solar absorvida pelo elemento ativo do coletor.
- Refletância: fração da radiação refletida que se procura minimizar nos projetos.
- Materiais de alta Transmitância e baixa refletância potenciam o desempenho global do coletor.

## 3.3. Curva característica dos coletores e aplicações

Cada tipo de coletor possui uma curva de rendimento que relaciona a energia útil produzida com a diferença de temperatura entre o fluido de trabalho e o

ambiente. Analisar estas curvas permite escolher o sistema mais adequado à aplicação, seja residencial para águas sanitárias, seja industrial. Processos que exigem maior aporte energético.

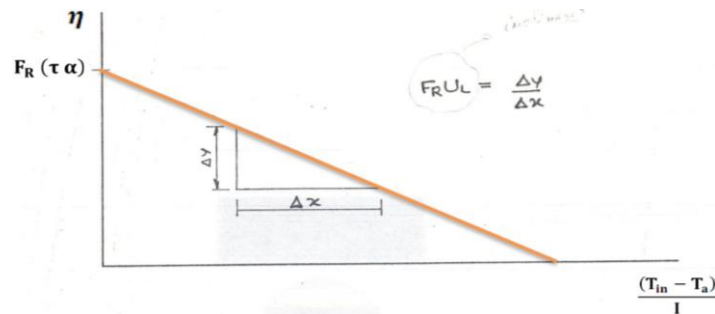


Figura 5: Curva característica de um coletor solar térmica.

Fonte [7]

### 3.4. Temperatura de estagnação

A temperatura de estagnação corresponde ao valor máximo que um coletor solar pode atingir na ausência de circulação de fluido no seu circuito primário. Nesta condição, toda a radiação solar incidente é absorvida e acumulada no interior do coletor sem transferência útil de calor, conduzindo o equipamento ao seu limite térmico de funcionamento.

A determinação deste parâmetro pode ser efetuada por dois métodos principais:

- Ensaio experimental: realizada em laboratório ou em campo, segundo normas específicas. Mantendo coletor exposto à radiação solar sem circulação do fluido, de forma a registar a temperatura máxima atingida.
- Cálculo Teórico: Baseado na equação de rendimento do coletor. Considerando o balanço energético entre a energia solar absorvida e as perdas térmicas para o ambiente. A temperatura de estagnação corresponde ao ponto em que o rendimento útil se reduz a zero.

Os valores típicos variam consoante o tipo e a qualidade do coletor:

- Coletores planos convencionais: aproximadamente 150 °C a 200 °C.
- Coletores de tubos de vácuo: Devido ao isolamento mais eficiente, podem ultrapassar 200 °C atingindo até 300 °C em modelos de elevado desempenho.

O conhecimento da temperatura de estagnação é essencial para o dimensionamento e segurança de sistemas solares térmicos. Valores elevados podem provocar degradação de materiais, danos em juntas e risco de sobrepressão. Por este motivo, este parâmetro deve ser sempre considerado na seleção dos componentes e na definição de medidas de proteção contra sobreaquecimento, como válvulas de segurança, dissipadores de calor ou estratégias de controlo automático.

### 3.5. Coletores Padrão

O “coletor solar padrão” constitui uma referência técnica utilizada em cálculos e simulações no âmbito da regulamentação energética dos edifícios, sobretudo para avaliar o contributo de sistemas solares térmicos na produção de águas quentes sanitárias (AQS). Não correspondam a equipamento comercial específico, mas sim a um conjunto de parâmetros médios definidos para efeitos de verificação, de conformidade legal e dimensionamento.

De acordo com o Decreto-Lei número 101-D/2020, regulamentos associados ao Sistema de Certificação Energética (SCE) o coletor solar padrão apresenta as seguintes especificações:

Tabela 11: Características técnicas e critérios de instalação para coletor solar padrão.

Parâmetro	Valor	Observação
Orientação	Sul	Maximiza a captação solar em Portugal
Inclinação	35°	Ângulo otimizado para produção anual
Área de abertura por ocupante	0,65 m <sup>2</sup> /ocupante convencional	Base para dimensionamento regulamentar
Rendimento ótico ( $\eta_0$ )	73 %	Eficiência em condições ideais
Coeficiente de perdas térmicas $a_1$	4,12 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Perdas lineares
Coeficiente de perdas térmicas $a_2$	0,014 W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>2</sup> )	Perdas quadráticas

Estes valores são aplicados em simulações para determinar se o sistema instalado cumpre os requisitos mínimos de desempenho energético.

#### Enquadramento legal

O Decreto-Lei nº 101-D/2020, substituiu o DL 118/2013 que estabelece as exigências de desempenho energético dos edifícios e impõe integração soluções de energia renovável, como sistemas solares térmicos em novas construções e em grandes reabilitações. Este diploma transpõe parcialmente as Diretivas Europeias 2018 /844 e 2019/944, reforçando a política nacional de eficiência energética.

No contexto do Sistema de Certificação Energética (SCE), o coletor solar padrão é utilizado para:

- Simular a fração solar (percentagem de energia útil fornecida pelo sistema solar térmico);
- Verificar a conformidade com os requisitos mínimos de cobertura energética;

- Avaliar o impacto energético e ambiental do edifício.

Esta área, associada aos coeficientes de rendimento e perdas, permite estimar a energia útil anual que o sistema solar térmico deverá fornecer. O sistema instalado deve garantir, no mínimo, o mesmo desempenho do sistema padrão definido na simulação, caso contrário, não cumpre os requisitos legais.

De acordo com [1], a utilização de sistemas solares térmicos destinados ao aquecimento de águas quentes sanitárias constitui uma exigência regulamentar em edifícios residenciais desde que exista exposição solar favorável. Esta obrigatoriedade aplica-se quando são alternados em simultâneo o sistema de produção e a respetiva rede de distribuição.

- De acordo com o enquadramento legal, a instalação deve assegurar uma produção energética igual ou superior à obtida através de um sistema de referência, composto por coletores padrões definidos na Portaria nº 349-B/2013 (com as respetivas alterações). Sendo o dimensionamento calculado em função do número de utilizadores convencionais, à razão de um coletor por habitante convencional.

Nos casos em que a instalação de sistemas solares térmicos não é exigida, recomenda-se a adoção de soluções alternativas baseadas em fontes de energia renovável.

Acresce ainda que os sistemas solares térmicos estão sujeitos ao cumprimento de requisitos específicos, nomeadamente:

- A produção efetiva do sistema instalado deve ser, no mínimo, equivalente a produção do sistema solar padrão, tal como estabelecido na portaria nº 349-B/2013.

### **Requisitos do REH para AQS em função da tipologia, consumo e temperatura**

O regulamento de cumprimento energético dos edifícios de habitação (REH) define regras específicas para o dimensionamento de sistemas de águas quentes sanitárias (AQS), que têm como base três parâmetros fundamentais a tipologia da residência (T0, T1, T2...), o consumo de área de referência por pessoa e temperatura de preparação da água.

Para efeitos regulamentares considera-se que cada tipologia tem um número de ocupantes convencionais pré-definido.

Tabela 12: Número convencional de ocupantes por tipologia habitacional em edifícios residenciais.

Tipologia	Ocupantes Convencionais
T0 / T1	2
T2	3
T3	4
T4	5
T5	6
T6	7

Tabela 13: Dados técnicos utilizados para o consumo de referência estabelecido pelo REH.

Parâmetro	Valor / Informação	Observação
Consumo de referência	40 L/pessoa/dia	Volume de água quente a 60 °C
Temperatura de cálculo da água quente	60 °C	Garante higiene (prevenção de <i>Legionella</i> ) e permite mistura com água fria
Temperatura típica de utilização	35–40 °C	Após mistura com água fria
Temperatura da água fria de rede	15 °C	Valor de referência para cálculo energético
Aumento de temperatura necessário ( $\Delta T$ )	45 K	De 15 °C até 60 °C

O consumo de referência estabelecido pelo REH é de 40 litros de água a 60 °C por pessoa e por dia. Esta temperatura de 60 °C é usada como base de cálculo porque garante a higiene da água (prevenindo riscos como a *Legionella*) e permite depois a mistura com água fria para atingir temperaturas de utilização mais baixas (por exemplo, 35 – 40°C para banho). Para efeitos energéticos, consideram-se que a água fria de rede entra a 15°C, o que significa que o sistema tem de assegurar um aumento de temperatura ( $\Delta T$ ) de 45K.

Assim, o consumo diário total de uma residência é obtido multiplicando os 40 litros pelo número de ocupantes convencionais. Por exemplo, num T3 com 4 ocupantes terá um consumo de referência de 160 litros/dia a 60°C. Este valor é depois usado para calcular a energia útil anual necessária para aquecer essa água.

A fórmula base é:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times nd}{3600000} \quad (7)$$

em que:

$Q_a$	Energia útil necessária para aquecer a água	MJ
$M_{AQS}$	Consumo medio de referência da AQS	kWh/ano
$\Delta T$	Aumento de temperatura necessário para recuperar as águas QS	°C
$nd$	Número anual de dia de consumo	--

$$M_{AQS} = 40\text{litros} \times n^\circ \text{Ocupantes} \quad (8)$$

onde 4187 é o calor específico da água J/(kg K) e 3 600 000 é o fator de conversão para kWh.

Para um ( $\Delta T$ ) de 45K e 365 dias/ano, cada litro/dia de consumo corresponde a cerca de 19,1 kWh/ano de energia útil. No exemplo do T3, 160 litros/dia resultam em aproximadamente 3056 kWh/ano de energia útil.

O REH também impõe requisitos mínimos para a contribuição solar térmica. A regra simples é instalar 1 m<sup>2</sup> de coletores solar por ocupante convencional, desde que exista cobertura disponível com boa exposição solar (entre sudeste e sudoeste) e sem ultrapassar 50% da área de cobertura útil. Assim, um T3 deverá ter pelo menos 4 m<sup>2</sup> de coletores. Esta exigência visa garantir que uma parte significava das necessidades de AQS é satisfeita por energia renovável, reduzindo o consumo de energia convencional.

Para além da área de coletores, é importante dimensionar corretamente o volume de acumulação. Embora o REH não imponha um valor fixo, a boa prática recomenda entre 50 e 70 litros de acumulação por pessoa para uso doméstico, quando a temperatura de acumulação é de 45–50 °C. Este volume garante que há água quente suficiente para os períodos de maior consumo, sem perdas excessivas por armazenamento. No caso de acumulação a temperaturas mais elevadas (como 60 °C), o volume pode ser ajustado usando a fórmula do volume equivalente, que relaciona a temperatura de preparação com a temperatura de utilização.

Para que a contribuição solar possa ser contabilizada no REH, o sistema deve cumprir requisitos de qualidade: o coletor tem de estar certificado (CERTIF ou Solar Keymark), a instalação deve ser feita por técnico acreditado e deve existir um contrato de manutenção com duração mínima de 6 anos.

Em resumo, para cumprir o REH no que toca a AQS, o projetista deve:

- Determinar o número de ocupantes convencionais pela tipologia;
- Calcular o consumo diário a 60°C (40L/pessoa.dia);
- Determinar a energia útil anual com base no  $\Delta T$  de 45K.
- Dimensionar a área mínima de coletores (1m<sup>2</sup>/ocupante, respeitando limite de cobertura).
- Dimensionar o volume de acumulação adequado.
- Considerar a eficiência sazonal do sistema e eventuais penalizações.
- Garantir que o sistema solar cumpre os requisitos de certificação, instalação e manutenção.

### **Comparação entre o Coletores Padrão e outros Sistemas Solares Térmicos**

#### **Coletor Padrão**

- É o referencial regulamentar definido na legislação (REH).
- Possui características normalizadas (eficiência ótica, coeficiente de perdas térmicas, área útil, etc.), servindo como modelo de comparação para verificar o desempenho mínimo exigido.
- O seu dimensionamento é feito com base em um coletor por habitante convencional, garantindo um critério uniforme de avaliação.
- Não corresponde a um equipamento comercial específico, mas a uma unidade de referência teórica, usada apenas para cálculo e verificação regulamentar.

#### **Outros Sistemas de Coletores Solares**

- Englobam os coletores plenos envidraçados, planos não envidraçados e de tubos de vácuo.
- Podem apresentar eficiências superiores ou inferiores ao coletor padrão, dependendo da tecnologia, materiais e condições de instalação.
- Ao contrário dos coletores padrões, que tem valores fixos e normativos, estes sistemas requerem certificação (EM 12975 ou EM 12976) para garantir a qualidade e o cumprimento legal.
- Permitem maior flexibilidade de projeto, podendo ser dimensionados em função da localização geográfica, orientação, inclinação e necessidades energéticas reais do edifício.
- Alguns modelos, como os tubos de vácuo, tem melhor desempenho em situações de baixa radiação ou temperaturas reduzidas, ultrapassando o rendimento do coletor padrão, mas também podem ter custos de aquisição e manutenção mais elevados.

### **Comparação Regulamentar**

- O critério mínimo legal estabelece que a produção de qualquer sistema solar térmico instalado deve ser igual ou superior a do sistema solar padrão.
- Assim, o coletor padrão não visa submeter os coletores reais, mas sim assegurar que qualquer sistema implementado atinja um patamar mínimo de eficiência energética.
- Em edifícios novos ou grandes intervenções, a instalação é obrigatória, salvo exceções justificadas; já em situações onde não é exigida, recomenda-se a adoção de outras soluções de energia renovável.

## 4. ELEMENTOS QUE CONSTITUEM UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO

### Circuito Hidráulico

Conjuntos de tubagens e acessórios que permite a circulação do fluido térmico entre os coletores e o depósito de acumulação. Incluído tubagens de ida e retorno, válvulas de corte, bomba de circulação de retenção e isolamento térmico adequado para minimizar perdas de calor.

Tabela 14: Componentes de Circuito Hidráulico de SST.

Categoria	Tipo/Material	Características Principais
Tubagens	Cobre	Alta condutividade térmica, resistente à corrosão e altas temperaturas
	Aço Inoxidável	Durável, resistente à corrosão, ideal para sistemas pressurizados
	PEX-Al-PEX (Multicamada)	Flexível, leve, resistente ao calor e à pressão
	PPR (Polipropileno Copolímero Random)	Boa resistência térmica, instalação por Termo fusão
	CPVC (Policloreto de Vinila Clorado)	Fácil instalação, suporta até 80°C, boa resistência química
Válvulas de Corte	Válvula de esfera	Corte rápido e confiável, ideal para manutenção
	Válvula de gaveta	Boa para grandes diâmetros, menos usada em sistemas solares
	Válvula de borboleta	Compacta, usada em sistemas maiores
Bombas de Circulação	Bomba de rotor úmido	Silenciosa, ideal para sistemas domésticos
	Bomba de rotor seco	Mais potente, usada em sistemas maiores
	Bomba com controlo de velocidade variável	Eficiência energética, adapta-se à necessidade do sistema
Válvulas de Retenção	Válvula de retenção de mola (tipo clapet)	Evita retorno do fluido, comum em sistemas com circulação forçada
	Válvula de retenção de esfera	Simple e eficaz, usada em tubagens horizontais
Isolamento Térmico	Espuma elastomérica (ex: Armaflex)	Alta resistência térmica, flexível, fácil de aplicar
	Lã de rocha ou lã de vidro	Excelente isolamento, usada em tubagens de grande diâmetro
	Polietileno expandido (PE)	Econômico, usado em tubagens de água quente

### Fluido Térmico

Substância que transporta o calor captado pelos coletores até ao depósito de acumulação. Pode ser água em sistemas de circulação direta ou uma mistura de água e anticongelante em sistemas fechados, garantindo proteção contra congelação e correção



Figura 6: Fluido Térmico utilizado no SST.

Fonte [8]

### **Depósito de Acumulação**

Reservatório que armazena a água aquecida, permitindo a sua utilização mesmo quando não há radiação solar. É geralmente equipado com isolamento térmico e pode conter permutadores de calor internos ou externo para separar o circuito solar da água de consumo.

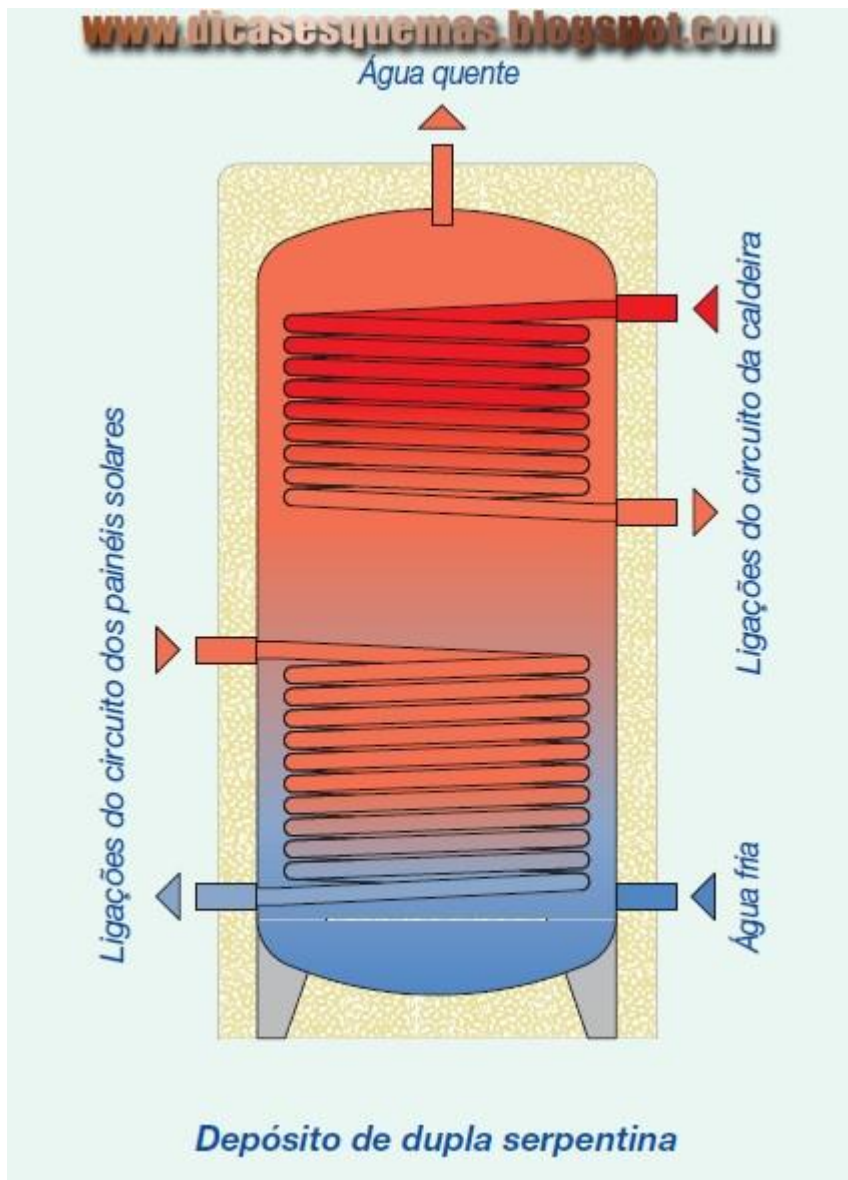


Figura 7: Depósito de Dupla Serpentina.

Fonte [9]

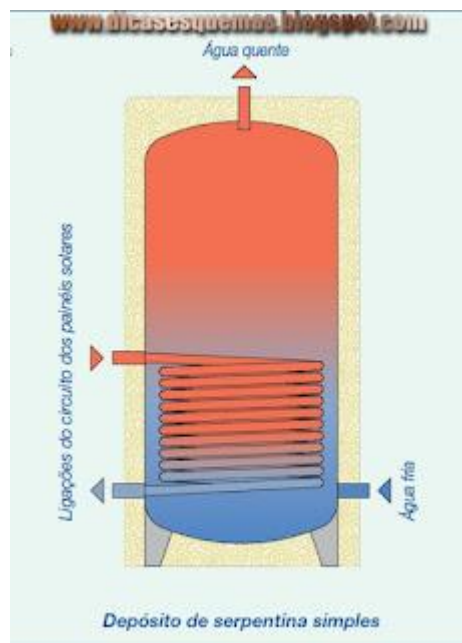


Figura 8: Depósito de Serpentina Simples.

Fonte [9]

### Permutador de Calor

Depósito que transfere o calor do fluido térmico para a água de consumo sem que haja mistura entre os dois. Pode estar incorporado no depósito ou instalado externamente.

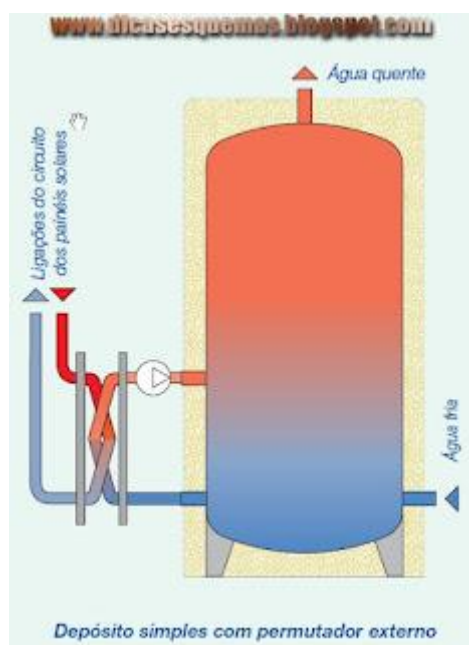


Figura 9: Depósito Simples com Permutador Externo.

Fonte [9]

### Sistema de Controlo

Conjunto de sensores e controladores eletrônicos que monitoriza as temperaturas no circuito solar e aciona automaticamente a bomba de circulação, garantindo um funcionamento eficiente e seguro.



Figura 10: Sistema de controle de SST.

Fonte [9]

### Sistema de Apoio Auxiliar

Fonte de energia complementar que assegura o fornecimento de água quente quando a radiação solar é insuficiente. Pode ser uma resistência elétrica, uma caldeira a gás, ou uma bomba de calor.

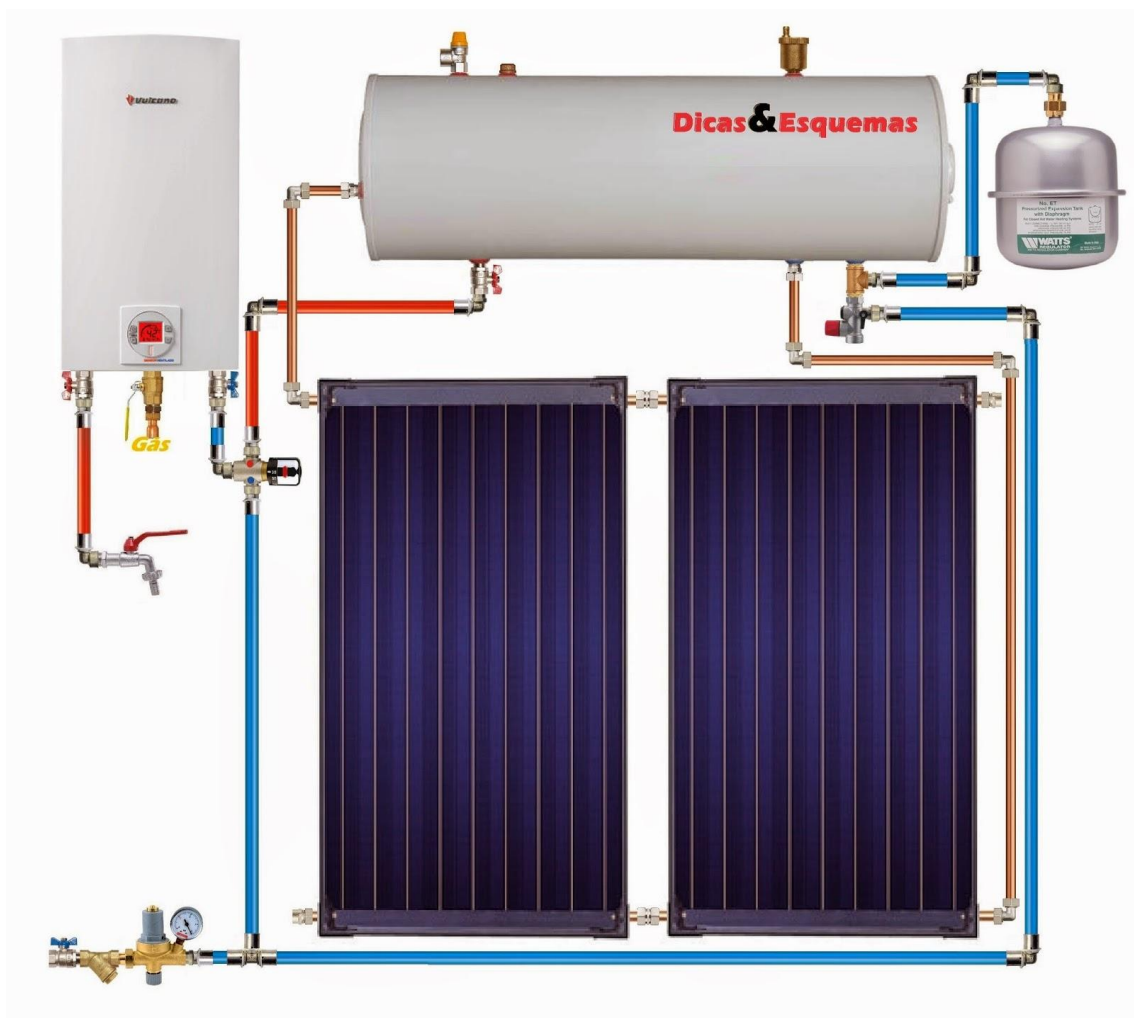


Figura 11: Sistema de apoio auxiliar utilizado em sistema solar térmica.

Fonte [9]

### Estrutura de Suporte

Basse que fixa os coletores solares, garantindo a sua correta orientação e inclinação para maximizar a captação de energia ao longo do ano.

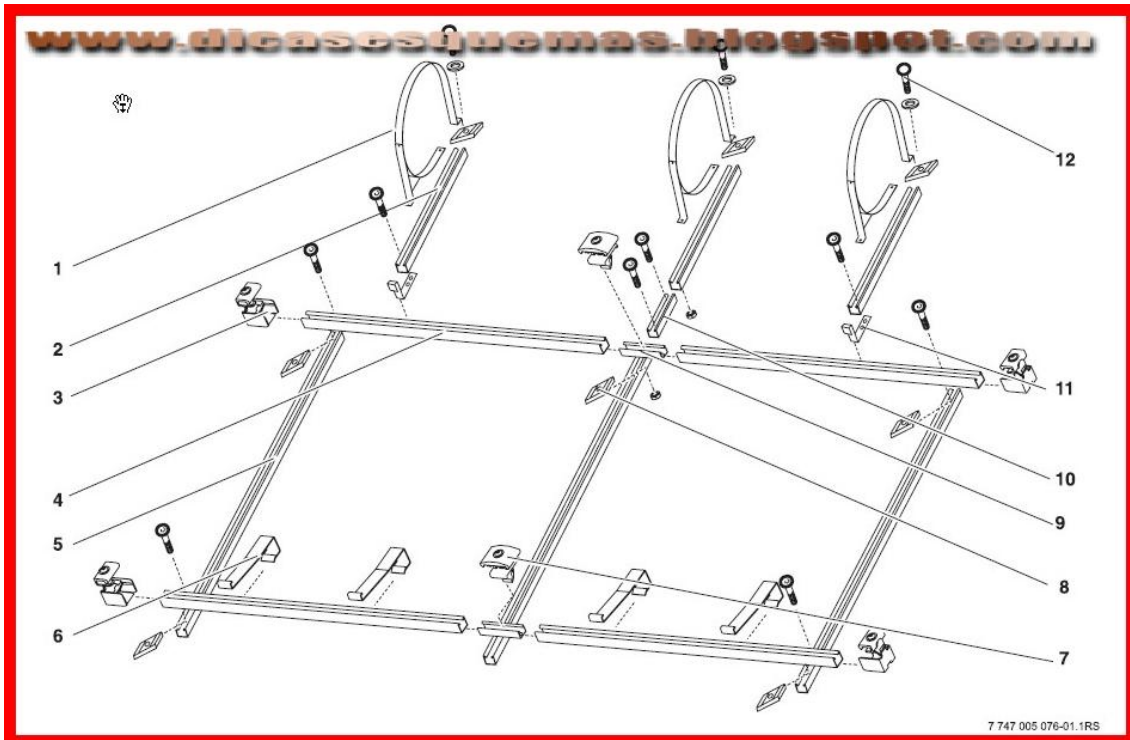


Figura 12: Estrutura de Suporte responsável pela fixação e inclinação adequada dos coletores solares térmicos.

Fonte [9]

Peças que constituem o Kit de montagem de um sistema em termossifão de 300 litros Vulcano para telhado inclinado.

1. Fita metálica para fixação do acumulador
2. Perfil de suporte do acumulador
3. Tensor de coletor (fixa o coletor á estrutura)
4. Perfil TP/CT
5. Perfil do coletor
6. Proteção anti deslizamento
7. Tensor de coletor duplo
8. Lingueta
9. Conetor de encaixe TSS

- 10. Conector de encaixe TSS
- 11. Ângulo de posição
- 12. Parafuso sextavado M8\*50

### Sistema de Segurança

Inclui dispositivo como válvulas de segurança, vaso de expansão e purgadores de ar, que protegem o sistema contra sobrepensões e eliminam bolhas de ar, assegurando o seu funcionamento contínuo e duradouro.



Figura 13: Sistema de Segurança integrado ao sistema solar térmico.

Fonte [9]

Esquema do princípio de funcionamento hidráulico e elétrico de um sistema solar térmico de circulação forçada, de tubos de vácuo ou painéis solares planos, para aquecimento de águas sanitárias (A.Q.S.) com um depósito com permutador externo de placas soldadas e apoio instantâneo de esquentador ou caldeira mural mista.

1. Válvula de esfera.
2. Purgador de ar.
3. Válvula de retenção.
4. Filtro de água em Y.
5. Válvula de enchimento com manómetro.

6. Válvula misturadora termostática.
7. Vaso de expansão das águas sanitárias.
8. Vaso de expansão do sistema solar.
9. Válvula de segurança térmica e de pressão.
10. Permutador de placas soldadas.
11. Grupo hidráulico.
12. Bomba circulador com corpo em latão.
13. Depósito de água sem serpentinas.
14. Esquentador ou caldeira mista.
15. Coletor solar de tubos de vácuo ou painéis solares planos.
16. Torneira de saída de água quente.

### **Instrumentação e Monitorização**

Sensores de temperatura, caudalímetros e, em alguns casos, sistemas digitais de monitorização que permitem avaliar o desempenho do sistema e detetar eventuais anomalias.

## 5. MÉTODO f-CHART

### 5.1. Introdução e origem histórica do método f-Chart

De acordo com [10], o método f-Chart é uma das ferramentas mais conhecidas e utilizadas na área de energia solar térmica, especialmente quando se trata de analisar e dimensionar sistemas solares térmicos que tenham como objetivo o aquecimento da água.

Este método foi desenvolvido nos anos 70 do século passado por dois engenheiros norte-americanos, John A. Duffie e William A. Beckman, com o objetivo de simplificar o processo de dimensionamento de sistemas solares térmicos para aquecimento de água. Nessa altura o interesse por fontes de energia renováveis estava a crescer em parte devido à crise energética da década.

A principal ideia por detrás do método f-Chart era criar uma ferramenta prática que permitisse prever o desempenho de um sistema solar, sem a necessidade de recorrer a simulações complexas ou cálculos extensivos. Assim, surgiu o método f-Chart, que rapidamente se tornou uma referência entre técnicos e projetistas, sobretudo nos Estados Unidos e na Europa.

Com base em dados experimentais e simulações detalhadas, os autores conseguiram transformar um problema técnico complexo num método gráfico e compreensível, (como se pode verificar na Figura 15). metendo um grau de fiabilidade bastante aceitável. Este método continua a ser utilizado atualmente, especialmente em análises preliminares ou em contextos em que se pretende uma estimativa rápida da contribuição solar.

A Figura 14 ilustra, de forma esquemática, a configuração de um sistema solar térmico dimensionado com base no método f-Chart.

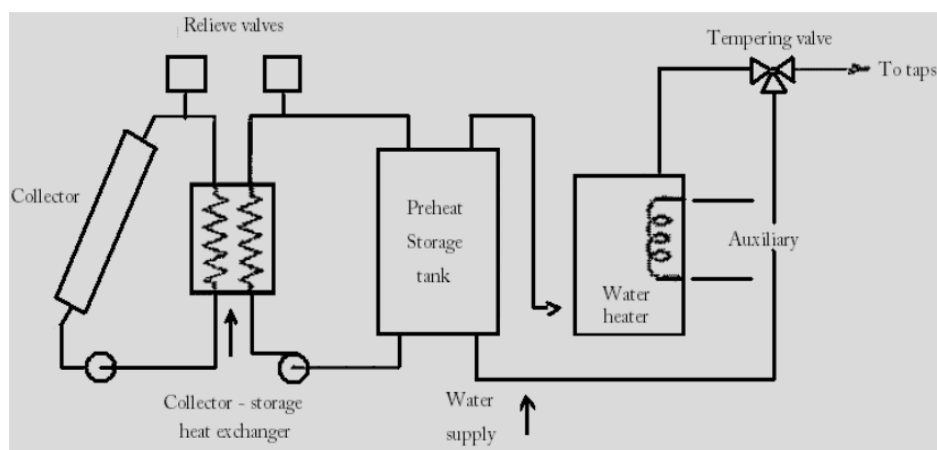


Figura 14: Esquema padrão de SST para aquecimento de água.

Fonte [10]

## 5.2. Fundamentos do método f-Chart

O método f-Chart baseia-se no balanço energético mensal de um sistema solar térmico, considerando as principais variáveis que influenciam o seu desempenho. Ao longo de cada mês, há uma determinada quantidade de energia necessária para satisfazer as necessidades térmicas (por exemplo, o aquecimento de água sanitária) e uma parte dessa energia pode ser fornecido pelo sistema solar.

Para quantificar esse contributo, o método f-Chart utiliza dois parâmetros adimensionais, X e Y, que condensam a informação essencial sobre o funcionamento do sistema:

- X: A relação entre as perdas do coletor e a carga térmica;
- Y: A quantidade de energia solar útil em relação à carga térmica.

A partir destes valores de X e de Y, é possível determinar a fração da carga mensal que é satisfeita pela energia solar.

A abordagem do método combina a simplicidade de um diagrama com a força de cálculos empíricos, oferecendo um compromisso entre precisão e facilidade de aplicação.

## 5.3. Objetivo e aplicações do método f-Chart

O principal objetivo do método f-Chart é calcular a **fração solar mensal**, ou seja, determinar que percentagem da energia necessária num determinado mês pode ser fornecida apenas através da energia solar, sem a sistemas auxiliares, como caldeiras ou resistências elétricas.

Este método é particularmente útil para dimensionar sistemas solares ativos que utilizam coletores planos e armazenamento de água quente. É aplicável tanto a edifícios residenciais como a instalações de pequena e média escala no setor terciário, como escolas, ginásios ou pequenas unidades industriais.

A sua principal mais-valia reside na capacidade de fornecer resultados credíveis de forma rápida e sem necessidade de software especializado, o que o torna acessível a técnicos com diferentes níveis de formação.

## 5.4. Requisitos e condições de aplicação

Apesar da sua utilidade, o método f-Chart apresenta algumas limitações e pressupostos que devem ser tidos em conta. Em primeiro lugar, pressupõe que o sistema solar térmico está corretamente dimensionado e que os coletores são orientados de forma adequada, com inclinação otimizada para o aproveitamento da radiação solar.

Alem disso, o método foi criado para funcionar com consumos relativamente regulares ao longo do mês. Em situações com variações muito acentuadas ou padrões de utilização irregulares, a precisão dos resultados pode ser afetada.

Outro aspecto importante é que o método está validado principalmente para sistemas que utilizam coletores planos ou tubos de vácuo e um depósito de acumulação simples. Sistemas mais complexos, com vários circuitos, controle avançado ou integração com outras fontes renováveis, podem não ser adequados para este tipo de abordagem simplificada.

### **5.5. Cálculo de sistemas solares ativos pelo método f-Chart**

O processo de cálculo com o método f-Chart segue uma sequência bastante direta. Começa-se por recolher os dados climáticos do local, como a radiação solar mensal média e a temperatura ambiente. Depois, identificam-se as características do sistema solar, nomeadamente a área de captação, o volume do depósito de acumulação, o tipo de coletor e o consumo médio mensal de energia térmica.

Com estes dados, calcula-se a energia útil solar estimada e a carga térmica total para o mês.

### **5.6. Parâmetros adimensionais X e Y**

- O parâmetro X que representa a relação entre as perdas térmicas do sistema solar, principalmente dos coletores e a carga mensal de aquecimento. Um valor elevado de X indica que as perdas são grandes em comparação com a energia necessária.
- O parâmetro Y exprime a quantidade de energia solar útil recolhida ao longo do mês, em comparação com a carga térmica exigida. Um valor relevado de Y mostra que o sistema solar capta bastante energia solar cobrindo uma boa parte da necessidade.

De acordo com [11] no eixo X, marca o valor de X, e no eixo Y, marca o valor de Y, O ponto onde essas coordenadas se cruzam representa o seu sistema. As linhas inclinadas representam diferentes frações solares (0.1, 0.2, a 0.9). A linha mais próxima do seu ponto indica aproximadamente qual fração da demanda de aquecimento será atendida pela energia solar.

Se o ponto está sobre a linha ( $f = 0.5$ ), significa que 50% da demanda de aquecimento é suprida pela energia solar. Se esta entre duas linhas, você pode interpolar para ter uma estimativa mais precisa. (quanto  $> Y$ ; e  $> X$ ;  $>$  será  $f$ ).

A Figura 15 apresenta o esquema ilustrativo dos dois parâmetros utilizados para determinar a posição do sistema em um gráfico de referência, permitindo a identificação da fração solar correspondente.

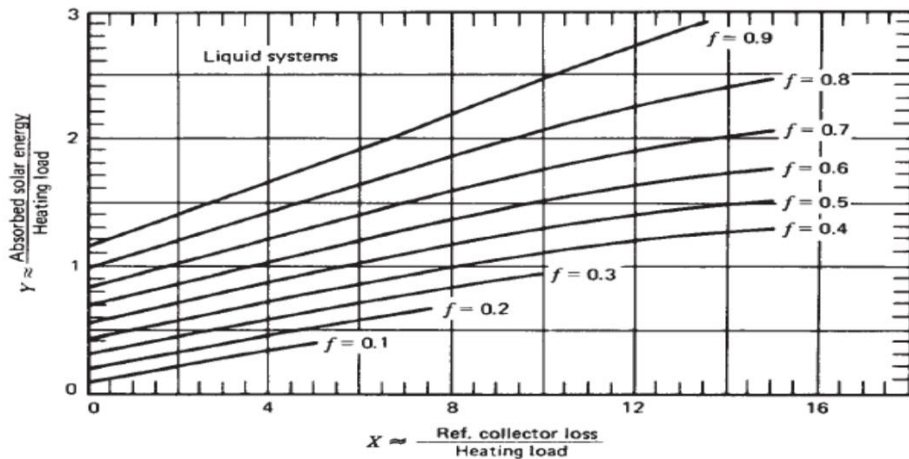


Figura 15: Fração solar em função dos parâmetros X e Y.

Fonte [10]

## 5.7. Parâmetro X

O parâmetro adimensional X permite avaliar o grau de aproveitamento da energia solar por parte do sistema ao longo do mês. Este valor resulta de uma combinação de fatores como a eficiência do coletor, a área disponível para captação, o tempo de funcionamento do sistema e a diferença de temperatura entre o fluido a aquecer e o ambiente. Com base nestes elementos, é possível estimar até que ponto o sistema consegue responder à necessidade de aquecimento de forma eficaz.

Na equação (9) mostra-se a fórmula de cálculo para determinação do parâmetro X:

$$X = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times (T_{ref} - T_a) \times \Delta t \times \frac{A_C}{L_i} \quad (9)$$

em que:

$F_R U_L$	Fator de perda de 1ª ordem	W/m <sup>2</sup> K
$\frac{F'_R}{F_R}$	Fator de remoção de calor	(adimensional)
$T_{ref}$	Temperatura de referência ( $T_{ref} = 100^\circ\text{C}$ )	°C
$T_a$	Temperatura média mensal do ar ambiente	°C
$\Delta t$	Número total de segundos do mês	Ms
$A_C$	Área total útil dos coletores	m <sup>2</sup>
$L_i$	Carga térmica (no mês i)	MJ

## 5.8. Parâmetro Y

O parâmetro adimensional Y permite avaliar o impacto das perdas térmicas do coletor em relação à energia necessária para satisfazer a carga de aquecimento

mensal. Este valor é fundamental para verificar se o desempenho do sistema é adequado às exigências, ajudando a dimensioná-lo corretamente. No seu cálculo entram variáveis como a eficiência do coletor, a radiação solar disponível, o tempo de funcionamento e as condições de operação, refletindo o comportamento real do sistema ao longo do mês.

Na equação (10) mostra-se a fórmula de cálculo para determinação do parâmetro Y:

$$Y = F_R(\tau\alpha)_\eta \times \frac{F'_R}{F_R} \times \frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n} \times \bar{H}_T \times N \times \frac{A_C}{L_i} \quad (10)$$

em que:

$F_R(\tau\alpha)_\eta$	Rendimento ótico	%
$\frac{F'_R}{F_R}$	Fator de remoção de calor	--
$\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}$	Fator de correção ótica	--
$\bar{H}_T$	Média mensal da irradiação global	MJ/m <sup>2</sup> /dia
N	Número de dias do mês	dias
$A_C$	Área total útil dos coletores	m <sup>2</sup>
$L_i$	Carga térmica (no mês i)	MJ

Na Tabela 15 ilustra-se um excerto de uma tabela com dados da irradiação global (HT), expressa em MJ/m<sup>2</sup>/dia, incidente em diferentes meses e para diferentes inclinações de um coletor orientado a Sul localizado em Bragança.

Tabela 15: Irradiação global incidente num coletor orientado a Sul localizado em Bragança.  
Fonte [7]

Incli.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jui.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0°	5,90	9,55	13,84	19,64	23,9	26,13	28,21	24,34	17,78	11,53	7,51	5,09
5°	6,39	10,22	14,48	20,15	24,13	26,21	28,33	24,82	18,50	12,25	8,16	5,53
10°	6,84	10,83	15,03	20,53	24,22	26,14	28,27	25,15	19,10	12,9	8,76	5,95
15°	7,25	11,37	15,49	20,80	24,17	25,92	28,05	25,32	19,58	13,46	9,32	6,32
20°	7,61	11,84	15,86	20,93	23,97	25,55	27,66	25,33	19,94	13,93	9,81	6,66
25°	7,93	12,24	16,12	20,93	23,64	25,04	22,11	25,18	20,17	14,32	10,23	6,95
30°	8,2	12,56	16,29	20,80	23,17	24,37	26,40	24,87	20,26	14,62	10,59	7,20
35°	8,41	12,80	16,34	20,54	22,56	23,58	25,53	24,40	20,23	14,02	10,89	7,41
40°	8,57	12,96	16,30	20,16	21,82	22,65	24,52	23,78	20,07	14,93	11,11	7,56

### 5.9. Determinação da Fração Solar Mensal (f)

A fração solar mensal, indicada pela letra (f), mostra que percentagem da energia térmica consumida num mês é assegurada pela energia solar. Este valor varia entre 0 e 1, ou seja, entre 0% e 100%. Por exemplo, se  $f = 0,8$  isso quer dizer que 80% da necessidade foi coberta pelo sistema solar e apenas 20% teve de ser fornecida por fonte auxiliares.

Este valor é calculado a partir do parâmetro X e Y, como explicado anteriormente. Quanto maior for o valor de f, melhor o desempenho do sistema nesse mês. Contudo valor demasiado elevados podem indicar um sobredimensionamento do sistema, o que poderá comprometer a viabilidade económica da instalação.

Na equação (11) mostra-se a fórmula de cálculo para determinação da fração solar f em cada mês:

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (11)$$

Na Tabela 16 Apresenta a tabela f-Chart, na qual estão definidos os parâmetros necessários para o cálculo das variáveis X e Y, utilizadas na determinação da fração solar mensal.

Tabela 16: Exemplo de tabela f-Chart com parâmetros para cálculo da fração solar mensal  
Fonte [7].

$F_a/F_x$ — 0.925	$\cos(\text{col})$ — 0.96	$F_a(\text{col})$ — 0.7	$F_a(\Delta)$ W/m <sup>2</sup> ·°C 5.825	$\beta$ ° 50	N° de pessoas 5	X	Útil(pessoas) / dia 60	=	Útilidade 300	Localidade — COMBRA	$A_{\text{coletor}}$ m <sup>2</sup> 1	X	N° Coletores — 6	=	$A_{\text{necessaria}}$ m <sup>2</sup> 6
-------------------------	---------------------------------	-------------------------------	--	--------------------	--------------------	---	---------------------------	---	------------------	---------------------------	---	---	------------------------	---	--

Caracterização do Mês		Temperatura ambiente		Irradiação solar		Necessidade AQS			$\Delta T$		Propriedades da água			Carga Térmica requerida		Perdas		Ganhos		Fração solar		Fornecido	Apelo
Mês	N dias	$\Delta t$ Média	$T_a$ °C	$H_t$ MJ / m <sup>2</sup> / dia	— litros / mês	— m <sup>3</sup> /mês	— kg/mês	$T_{\text{água mte}}$ °C	$T_{\text{água util}}$ °C	$T_{\text{resq}}$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kg·°C	— J / mês	L MJ / mês	X	Y	f %	f' %	f · L MJ / mês	f · L' MJ / mês	Elétric. / Gas MJ / mês		
Janeiro	31	2.67840	9.0	11.82	9 300	9.3	9 260.55	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 547 760 180.664	1 547 760	4 916190	6 882963	0.493307	45.6%	756.3	841.5	841.5		
Fevereiro	28	2.41920	10.0	14.80	8 400	8.4	8 264.37	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 397 976 937.374	1 397 977	4 862166	1 105569	0.693714	59.4%	830.0	568.8	568.8		
Março	31	2.67840	12.5	16.80	9 300	9.3	9 260.55	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 547 760 180.664	1 547 760	4 727106	1 254959	0.680950	68.1%	1 053.9	493.8	493.8		
Abril	30	2.59200	15.0	18.80	9 000	9.0	8 961.82	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 487 832 432.901	1 487 832	4 592046	1 404359	0.760917	76.1%	1 139.7	358.1	358.1		
Mai	31	2.67840	15.0	18.82	9 300	9.3	9 260.55	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 547 760 180.664	1 547 760	4 592046	1 393913	0.7545910	75.5%	1 167.9	378.8	378.8		
Junho	30	2.59200	18.0	18.82	9 000	9.0	8 961.82	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 487 832 432.901	1 487 832	4 429874	1 393913	0.7624937	76.2%	1 142.1	357.7	357.7		
Julho	31	2.67840	20.0	20.06	9 300	9.3	9 260.55	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 547 760 180.664	1 547 760	4 321925	1 408481	0.8168422	81.7%	1 254.3	283.5	283.5		
Agosto	31	2.67840	20.0	20.41	9 300	9.3	9 260.55	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 547 760 180.664	1 547 760	4 321925	1 524626	0.8282339	82.8%	1 281.9	265.9	265.9		
Setembro	30	2.59200	20.0	18.48	9 000	9.0	8 961.82	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 487 832 432.901	1 487 832	4 321925	1 386455	0.7628990	76.3%	1 142.6	357.2	357.2		
Outubro	31	2.67840	15.0	16.64	9 300	9.3	9 260.55	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 547 760 180.664	1 547 760	4 592046	1 243037	0.6812778	68.1%	1 054.5	403.2	403.2		
Novembro	30	2.59200	12.5	13.79	9 000	9.0	8 961.82	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 487 832 432.901	1 487 832	4 727106	1 030112	0.5584697	55.6%	833.5	664.3	664.3		
Dezembro	31	2.67840	10.0	13.44	9 300	9.3	9 260.55	10	50	30	995.75807	4 178.37	1 547 760 180.664	1 547 760	4 862166	1 003967	0.5344038	53.4%	827.1	726.6	726.6		

litros / ano 198 500	MJ / ano 18 223.6	$\mathcal{F} =$	68.3%	MJ / ano 12 443.9	MJ / ano 5 779.8
-------------------------	----------------------	-----------------	-------	----------------------	---------------------

## 5.10. Fração solar anual ( $\mathcal{F}$ )

A **fração solar anual**, representada por  $\mathcal{F}$ , é a média ponderada das frações mensais ao longo do ano.

Este valor dá uma visão global do desempenho do sistema solar e é particularmente útil para comparar diferentes soluções técnicas ou avaliar a viabilidade económica de um projeto.

Por exemplo, um sistema com  $\mathcal{F} = 0,70$  cobre 70% das necessidades de energia térmica num ano com energia solar. Os restantes 30% serão fornecidos por um sistema auxiliar.

Este indicador permite perceber o impacto real do sistema ao longo das quatro estações, tendo em conta as variações climáticas e de consumo.

Na equação (12) mostra-se a fórmula de cálculo para determinação da fração solar anual  $\mathcal{F}$ :

$$\mathcal{F} = \frac{\sum f_i \times L_i}{\sum L_i} \quad (12)$$

em que:

$f_i$	Fração solar no mês i	%
$\mathcal{F}$	Fração solar anual	%
$L_i$	Carga térmica no mês i	MJ

Nota: Em muitos regulamentos e normas (por exemplo, o REH em Portugal), considera-se aceitável uma fração solar anual com valor entre 60% a 80% para garantir eficiência e viabilidade económica.

### 5.11. Vantagens e limitações do método f-Chart

Entre as vantagens, destaca-se a facilidade de aplicação, a rapidez na obtenção de resultados e a não necessidade de software técnico sendo ideal para análises iniciais ou estudos de viabilidade.

Quanto às limitações do método f-Chart:

- Utiliza dados mensais e não capta variações diárias ou horárias;
- Não é adequado a sistemas com perfis de consumo irregulares;
- Tem precisão reduzida em configurações técnicas mais complexas;
- Ignora perdas específicas de instalação tais como em tubagens ou devidas a sombreamentos;
- Não permite análises económicas detalhadas.

### 5.12. Conclusão do Capítulo

O método f-Chart continua a ser uma ferramenta útil no contexto do dimensionamento solar térmico. Apesar das suas limitações, oferece um equilíbrio entre simplicidade e precisão, permitindo avaliar a viabilidade de um sistema de forma eficaz. A sua aplicação correta contribui para projetos mais sustentáveis e energeticamente eficientes, respondendo aos desafios atuais da transição energética.

## **6. FERRAMENTA DE APOIO AO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SST**

A ferramenta **CALC (P-D SST) – Ferramenta de Apoio ao Pré-Dimensionamento de Sistemas Solares Térmicos** foi desenvolvida para apoiar tecnicamente o pré-dimensionamento de sistemas solares térmicos. É destinada a aplicações em edifícios residenciais e edifícios de comércio e serviços. O nome identifica diretamente a sua função, realizar cálculos de pré-dimensionamento para SST de forma simplificada, baseada em dados técnicos.

### **6.1. Objetivos**

Esta ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de apoiar de forma prática e técnica o pré dimensionamento de sistemas solares térmicos para produção de água quente sanitária (AQS). O seu principal propósito é permitir uma análise inicial

que oriente a escolha dos componentes essenciais do sistema, facilitando o trabalho do projetista ou técnico ainda num período preparatório do projeto.

Com base em dados reais e estimativa ajustadas ao contexto do edifício ou instalação, esta ferramenta procura fornecer orientações para:

- Apoiar decisões técnicas antes da fase de dimensionamento detalhado;
- Avaliar a fração solar potencial que poderá ser alcançada;
- Estimar a área de coletores solares necessária;
- Verificar a viabilidade da solução solar e compatibilidade com os requisitos regulamentares.

### **6.2. Constituição da ferramenta**

A ferramenta está estruturada sob a forma de uma aplicação de cálculo simplificado, construído em ambiente Excel, com estrutura modular e de fácil. Cada módulo corresponde a uma etapa específica do processo de pré dimensionamento, garantindo coerência e clareza na análise.

A sua composição baseia-se nos seguintes elementos:

#### **Capa:**

Folha inicial contendo as informações essenciais de identificação do trabalho, incluído nome do autor. Possui funcionalidade de navegação direta para a página seguinte por meio de clique na própria folha. Na Figura 16 pode visualizar-se a capa da CALC (P-D SST).

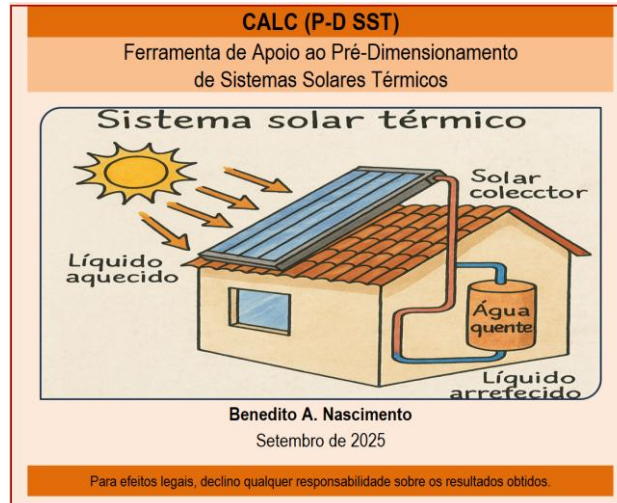


Figura 16: Interface inicial da ferramenta CALC (P-D SST)

**Página de instruções.** É a parte onde se explica como funciona o sistema ou aplicação. Serve para orientar o utilizador sobre os passos a seguir, o que deve preencher, onde clicar e como navegar. É como um guia rápido para não andar às cegas.

Figura 17: Instruções de uso de ferramenta de dimensionamento solar térmico.


- **Selecionar uma das opções (*drop-down*)**


Refere-se a caixa onde só aparece uma escolha visível, mas quando clicamos nela, abre-se uma lista com várias alternativas. O utilizador escolhe a que se aplica ao seu caso. É útil para evitar erros e garantir que se escolhe dentro dos limites definidos.





- **Introduza um valor**

A que o utilizador tem de escrever ou escolher um número que seja necessária para o cálculo ou funcionamento da ferramenta. Pode ser, por exemplo, a área disponível, o número de pessoas, ou o consumo diário.

- Retorna a página inicial 

Esta função serve para voltar ao início da aplicação ou formulário. É como carregar no “reset” da navegação, útil quando se quer começar de novo ou rever tudo desde o princípio.
- Retrocede para a página anterior 

Permite voltar atras, para a etapa anterior do processo. Dá jeito quando se quer corrigir algo que foi preenchido ou verificar uma informação antes de avançar.
- Avança para a página seguinte 

Serve para seguir em frente no processo, passando para a próxima fase ou secção. Só costuma estar disponível depois de preencher os campos obrigatórios da página atual.
- Apaga os valores introduzidos 

Esta função limpa os campos que foram preenchidos, deixando tudo em branco. É útil quando se quer corrigir tudo de uma vez ou começar o preenchimento do zero.

### 6.3. Input's

Os dados de entrada são fundamentais para garantir a precisão e utilidade do pré dimensionamento. A ferramenta solicita ao utilizador um conjunto de informações que caracterizam quer o local da instalação, tipologia do edifício, ocupação, e regime de utilização, como os componentes do Sistema Solar.

Na Figura 18 pode-se visualizar o funcionamento de SST

The image shows a mobile application interface with a light orange background. It contains several input fields, each with a red border and a dropdown arrow on the left. The fields are labeled as follows:

- Local da Instalação:** A dropdown menu with the text "--- seleccione ---" and a location pin icon to its right.
- Tipologia do Edifício:** A dropdown menu with the text "--- seleccione ---".
- Ocupação:** A dropdown menu with the text "--- seleccione ---" and a small icon to its left. Below it, the text "Sugestão: ---" is visible.
- Regime de Utilização:** A dropdown menu with the text "--- seleccione ---".

At the bottom of the screen, there are navigation icons: a left arrow, a home icon, and a right arrow.

Figura 18: Representação dos dados de entrada utilizados na Ferramenta

Entre os principais dados de entrada destacam-se:

### **Local da Instalação**

Este parâmetro define a zona geográfica onde o sistema será implementado. O utilizador apenas necessita de Selecionar uma das opções (*drop-down*) disponível no menu suspenso que apresenta as zonas previamente configuradas na ferramenta.

Consta o nome das localidades e zonas abrangidas no desenvolvimento da calculadora.

- Bragança
- Porto
- Coimbra
- Lisboa
- Évora
- Faro

### **Tipologia do Edifício**

Este parâmetro identifica o tipo. De construção onde o sistema será instalado, podendo tratar-se de uma habitação residencial ou de um espaço de comércio e serviço. O utilizador devese selecionar uma das opções apresentadas no menu suspenso, escolhendo entre Residencial, ou Comércio e Serviços. Caso seja selecionada a opção Residencial, o utilizador devese indicar a tipologia da habitação, podendo esta variar entre:

- T0;
- T1;

- T2;
- T3;
- T4;
- T5;
- T6

E se a opção escolhida for Comércio e Serviços, será necessária indicar o tipo de espaço, selecionando entre as tipologias disponíveis:

- Cafeteria;
- Parque de campismo;
- Escola;
- Escritório;
- Fábrica ou Oficina;
- Ginásio;
- Hospital ou Clínica;
- Hotel\*\*\* ou Hotel \*\*\*\*, Hotel/Residencial;
- Lar de Estudantes ou de Idosos;
- Lavandaria;
- Quartel;
- Residência/Pensão ou Restaurante.

### **Ocupação**

Trata-se de uma sugestão dependente da tipologia do edifício selecionada pelo utilizador, podendo esta ser de natureza residencial ou destinada a comércio e serviço.

No caso de edifícios residenciais, o utilizador deverá escolher a tipologia habitacional (T0, T1, T2, T3, T4), sendo posteriormente apresentada uma opção para preenchimento manual do número de ocupantes convencionais, de acordo com os seguintes valores de referência;

- T0..... 2 pessoas;
- T1..... 2 pessoas;
- T2..... 3 pessoas;
- T3..... 4 pessoas;
- T4..... 5 pessoas
- T5..... 6 pessoas

- T6.....7 pessoas

Para edifícios de comércio e serviços, o utilizador deverá selecionar a tipologia do espaço conforme indicado no subcapítulo anterior, em seguida, será apresentada uma sugestão como valores de referência para preenchimento manual dos consumos diários, conforme a função do espaço:

- Cafeteria ..... 1 l / pequeno-almoço.dia;
- Parque de campismo ..... 40 l / lugar.dia;
- Escola ..... 3 l / pessoa.dia;
- Escritório ..... 15 l / pessoa.dia;
- Fabrica ou oficina..... 22,5 l / pessoa.dia;
- Hospital ou clinica ..... 55 l / cama.dia;
- Hotel\*\*\* ..... 70 l / cama.dia;
- Hotel\*\*\*\* ..... 40 l / cama.dia;
- Lar de estudantes ou idosos ..... 55 l / aluno (refeição.dia);
- Lavandaria ..... 4 l / kg roupa.dia;
- Quartel ..... 20 l / pessoa.dia;
- Residencia/pensao ..... 35 l / cama.dia;
- Restaurante ..... 7,5 l / refeição.dia.

### **Regime de Utilização**

Este parâmetro corresponde a uma opção de seleção no menu suspenso, na qual o utilizador deve indicar o regime de utilização do sistema. As opções disponíveis são:

- Permanente: ..... funcionamento durante 365 dias por ano;
- Encerrado 1 dia por semana: ..... funcionamento durante 313 dias por ano;
- Encerrado 1,5 dias por semana: .. funcionamento durante 287 dias por ano;
- Encerrado 2 dias por semana: ..... funcionamento durante 261 dias por ano.

### **Tipo de Cobertura do Coletor**

Este parâmetro refere-se ao tipo de tecnologia utilizada na cobertura dos coletores solares. O utilizador deverá selecionar, no menu suspenso, o tipo de cobertura pretendido. As opções disponíveis são:

- Coletor com cobertura simples;
- Coletor com cobertura dupla.

### **Localização do Permutador de Calor**

Este parâmetro indica a localização do permutador de calor no sistema. O utilizador devese seleccionar, no menu suspenso, a opção desejada:

- Permutador exterior ao termoacumulador: instalado fora do depósito, facilita manutenção;
- Permutador no interior do termoacumulador: integrado no depósito, garante transferência de calor mais eficiente.

### **Energia de Apoio**

Este parâmetro refere-se a fonte de apoio auxiliar que complementa o sistema solar nos períodos de baixa radiação ou de maior consumo de água quente. O utilizador devese seleccionar, no menu suspenso, a fonte de energia pretendida. As opções disponíveis são:

- Eletricidade;
- Gás;
- Biomassa.

### **Preço da Energia de Apoio**

Este parâmetro permite estimar o impacto económico do sistema, comparando o custo da energia convencional com a poupança potencial proporcionada pela energia solar. O valor a introduzir dependerá da fonte de energia auxiliar seleccionada pelo utilizador, devendo esta indicar o preço correspondente a energia escolhida.

### **Otimização da inclinação dos coletores**

Este parâmetro corresponde a um campo de selecção no qual o utilizador deve indicar o período de utilização do sistema. As opções disponíveis permitem escolher entre utilização ao longo de todo o ano, apenas no inverno ou apenas no verão

A escolha do período de utilização do sistema influencia o ângulo de inclinação dos coletores solares.

- Para utilização durante todo o ano, recomenda-se inclinação igual à latitude menos  $-5^\circ$ ;
- Para utilização apenas no inverno, recomenda-se latitude mais  $+15^\circ$ ;
- Para utilização apenas no verão, recomenda-se latitude menos  $-15^\circ$ .

### **Ângulo de inclinação dos coletores**

Este parâmetro está associado à optimização da inclinação dos coletores solares. De acordo com a selecção do utilizador. Utilização durante todo o ano, apenas no inverno ou apenas no verão.

O campo de ângulo de inclinação apresentará automaticamente uma sugestão com o valor recomendado. O utilizador deverá, em seguida, introduzir manualmente o valor que vai ser utilizado.

### Marcas e modelos dos coletores certificados pela EN12975

Neste campo, o utilizador deve selecionar a marca e o modelo do coletor solar.

Após a seleção, a ferramenta apresenta automaticamente os dados técnicos relevantes, como a área útil, o rendimento ótico e os fatores de perda de primeira e de segunda ordem.

Tabela 17: Exemplo de marca e modelos de coletores solares térmicos.

24Sun	AMK-Collectra AG	Ariston	Astersa	Baxiroca	Buderus
Thermoflat BC21-C	DRC 10	Kairos CF 2.0	AS-1.8M	Mediterraneo 200	SKE 2.0 S
Thermo V HP3L58-18-A	ECO 10	Kairos CN 2.0	AS-2.0M	Mediterraneo 250	SKN 3.0 S / SKN 3.0 W
Thermo V HP3L58-20-A	OPC 10	Kairos VN 2.2	AS-2.4M	SOL 200	CKE 1.0 S
Thermo V HP3L58-24-A	OPC 15	Kairos_XP_2.5-1_H	ECO 18	SOL 200 H	CKN 1.0 S
Thermo V HP3L58-30-A	ORW12	Kairos_XP_2.5-1_V	ECO 20	SOL 250	Logasol CKN 2.0 s

Em Anexo encontra-se a lista completa dos coletores certificados que foram incorporados na base de dados da calculadora.

### Quantidade de Coletores a Instalar

Este campo está condicionado à seleção prévia da marca e modelo dos coletores solares. Após essa escolha, o sistema sugere automaticamente a quantidade recomendada de coletores, cabendo ao utilizador inserir manualmente esse valor no campo correspondente.

## 6.4. Aplicação prática CALC (P-D SST): Exemplo 1

Pretende-se realizar o pré-dimensionamento de um sistema solar térmico (SST) para produção de água quente sanitária AQS num edifício, utilizando o método f-Chart:

As condições iniciais do estudo são as seguintes:

- **Tipo de Edifício:** Habitação unifamiliar do tipo T4
- **Localização:** Coimbra
- **Regime de utilização:** Permanente
- **Tipo de cobertura do coletor:** Simples
- **Localização do permutador de calor:** Interior do depósito
- **Energia de apoio:** Eletricidade
- **Preço da energia de apoio:** 0,1492 €/kWh

Conforme ilustra na Figura 19 e Figura 20 padrão do consumo de AQS para uma família de cinco pessoas

The screenshot shows a mobile application interface with the following fields and values:

- Local da Instalação:** Coimbra
- Tipologia do Edifício:** Residencial
- Tipo de Edifício:** T4 (Consumo de referência: 40 litros / (pessoa.dia))
- Ocupação:** 5 (Sugestão: 5 pessoas, Consumo diário: 200 litros/dia)
- Regime de Utilização:** Permanente (Dias de utilização: 365 dias/ano, Consumo anual: 73000 litros/ano)

Figura 19: Definição dos parâmetros de consumo e ocupação para o edifício residencial

The screenshot shows a mobile application interface with the following fields and values:

- Tipo de cobertura do coletor:** Coletor com cobertura simples (valor: 0,960)
- Localização do permutador de calor:** Permutador no interior do termoacumulador (valor: 0,925)
- Energia de Apoio:** Eletricidade
- Preço da Energia de Apoio:** 0,1400 €/kWh

Figura 20: Definição do permutador de calor e das condições da energia de apoio

Deve ainda ser feita a análise de desempenho dos coletores solares, incluindo:

- Otimização da inclinação dos coletores: Todo ano;
- Ângulo de inclinação dos coletores: 40°
- Marca e modelo dos coletores à escolha do projetista, mas de entre os que estão certificados segundo a norma EN 12975: 24Sun; Thermoflat BC21-C;
- Quantidade de coletores a instalar: 2.

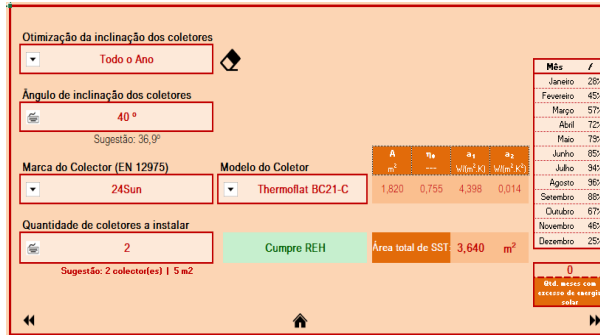


Figura 21: Desempenho dos coletores solares

### Resultados esperados e avaliação de conformidade Exemplo 1

A resposta final demonstra que o sistema solar térmico proposto, cumpre as exigências do decreto-lei nº 101-D/2020, D.R. nº 237, serie, I, de 07/12/2020, e do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH).

O SST ou qualquer outra fonte de energia renováveis escolhido deve ser capaz de produzir igual ou maior quantidade de energia do que a obtida com coletores solares padrão, assegurando assim o cumprimento das normas regulamentares.

O resultado apresentou-se também mostrando a fração solar mensal e anual, a energia auxiliar necessária e a produção total anual. Verifica-se que não existem meses com excesso de produção conforme ilustrado na Figura 22 de resultados, e o tempo estimado de amortização do investimento de SST.

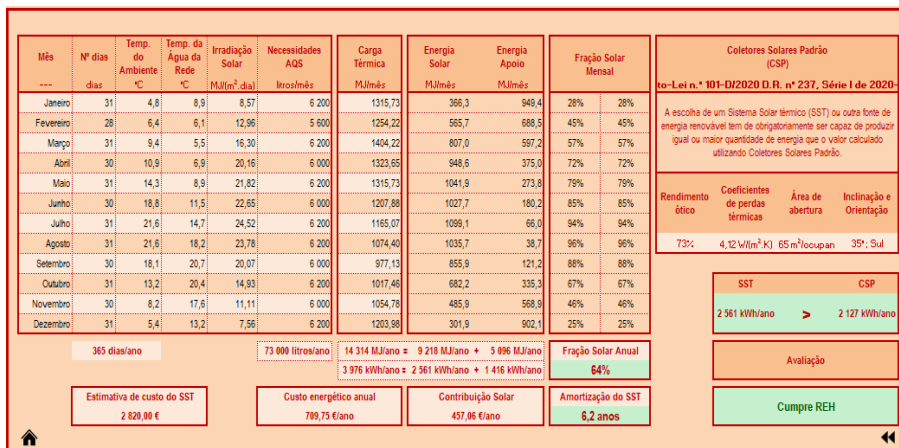


Figura 22: Resultados de sistema solar térmicos sem acesso de produção (Residência)

Conforme ilustrado na Figura 23 verificou-se a ocorrência de quatro meses com acesso de produção de AQS e quatro meses em que não foi necessária energia de apoio

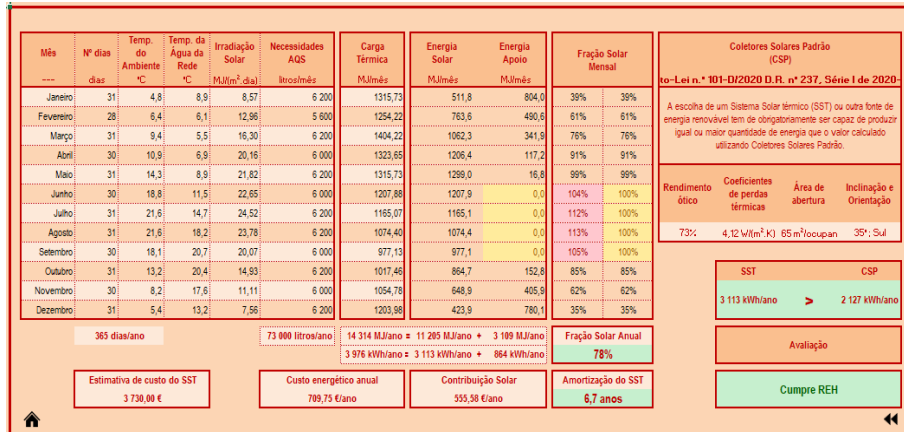


Figura 23: Resultados de sistema solar térmicos com acesso de produção

## 6.5. Aplicação prática CALC (P-D SST): Exemplo 2

Pretende-se realizar o pré-dimensionamento de um sistema solar térmico (SST) para produção de água quente sanitária AQS num edifício, utilizando o método f-Chart:

As condições iniciais do estudo são as seguintes:

- **Tipo de Edifício:** Comercial e de Serviços, do tipo Escola
- Localização: Lisboa
- **Regime de utilização:** Fechado dois dias por semana
- **Tipo de cobertura do coletor:** Dupla
- **Localização do permutador de calor:** Exterior ao depósito
- **Energia de apoio:** Eletricidade
- **Preço da energia de apoio:** 0,1492 €/kWh

**Local da Instalação**  
Lisboa

**Tipologia do Edifício**  
Comércio & Serviços  
Escola  
Consumo de referência: 3 litros / (pessoa.dia)

**Ocupação**  
100  
Consumo diário: 300 litros/dia  
Sugestão: Nº de pessoas

**Regime de Utilização**  
Encerrado dois dias por semana  
Dias de utilização: 261 dias/ano  
Consumo anual: 78300 litros/ano

Figura 24: Edifício destinado a comercio e serviços, encerrado dois dias por semana

The screenshot shows a configuration screen for a solar thermal system. It includes the following fields:

- Tipo de cobertura do coletor:** Coletor com cobertura dupla (Value: 0,940)
- Localização do permutador de calor:** Permutador exterior ao termoacumulador (Value: 0,970)
- Energia de Apoio:** Eletricidade
- Preço da Energia de Apoio:** 0,1400 €/kWh

Figura 25: Sistema solar térmico com cobertura dupla, permutador externo e apoio elétrico  
Deve ainda ser feita a análise de desempenho dos coletores solares, incluindo:

- Otimização da inclinação dos coletores: Todo ano;
- Ângulo de inclinação dos coletores: 40°
- Marca e modelo dos coletores à escolha do projetista, mas de entre os que estão certificados segundo a norma EN 12975: 24Sun; Thermoflat BC21-C;
- Quantidade de coletores a instalar: 2.

The screenshot shows the 'Otimização da inclinação dos coletor' screen. It includes the following fields and data:

- Otimização da inclinação dos coletor:** Todo o Ano
- Ângulo de inclinação dos coletores:** 35° (Sugestão: 33,8°)
- Marca do Colector (EN 12975):** 24Sun
- Modelo do Colector:** Thermoflat BC21-C
- Quantidade de coletores a instalar:** 2
- rea total de SS:** 3,640 m<sup>2</sup>

Mês	f
Janeiro	36%
Fevereiro	45%
Março	53%
Abril	64%
Mai	69%
Junho	74%
Julho	80%
Agosto	82%
Setembro	76%
Outubro	63%
Novembro	47%
Dezembro	37%

Figura 26: Desempenho dos coletores solares

## Resultados esperados e avaliação de conformidade Exemplo 2

A resposta final demonstra que o sistema solar térmico proposto, cumpre as exigências do decreto-lei nº 101-D/2020, D.R. nº 237, serie, I, de 07/12/2020, e do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH).

O SST ou qualquer outra fonte de energia renováveis escolhido deve ser capaz de produzir igual ou maior quantidade de energia do que a obtida com coletores solares padrão, assegurando assim o cumprimento das normas regulamentares.

O resultado apresentou-se também mostrando a fração solar mensal e anual, a energia auxiliar necessária e a produção total anual. Verifica-se que não existem meses com excesso de produção conforme ilustrado na Figura 27 de resultados, e o tempo estimado de amortização do investimento em SST.

Mês	Nº dias	Temp. do Ambiente °C	Temp. da Água da Rede °C	Irradiação Solar MJ/(m².dia)	Necessidades AQS litros/mês	Carga Térmica MJ/mês	Energia Solar MJ/mês	Energia Apoio MJ/mês	Fração Solar Mensal		Coletores Solares Padrão (CSP) Decreto-Lei n.º 101-DJ/2020 D.R. nº 237, Série I de 2020-12 A escolha de um Sistema Solar térmico (SST) ou outra fonte de energia renovável tem de obrigatoriamente ser capaz de produzir igual ou maior quantidade de energia que o valor calculado utilizando Coletores Solares Padrão.
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Janeiro	22	11,1	14,8	12,09	6 600	1237,48	441,5	796,0	36%	36%	Rendimento ótico: 73% Coeficientes de perdas térmicas: 4,12 W/(m².K) Área de abertura: 1,65 m²/occupant Inclinação e Orientação: 35º Sul
Fevereiro	20	12,0	12,3	15,41	6 000	1187,76	533,6	654,1	45%	45%	
Março	23	14,4	11,6	18,22	6 900	1386,16	736,0	650,2	53%	53%	
Abril	20	15,5	12,5	21,72	6 000	1182,74	754,9	427,8	64%	64%	
Mai	23	17,9	14,0	22,77	6 900	1316,81	902,1	414,7	69%	69%	
Junho	22	21,0	15,9	23,94	6 000	1207,13	895,0	312,2	74%	74%	
Julho	22	22,9	18,1	25,16	6 600	1146,47	920,0	226,5	80%	80%	
Agosto	23	23,5	20,6	24,73	6 900	1126,58	929,3	197,2	82%	82%	
Setembro	21	21,7	22,5	21,72	6 300	978,69	748,1	230,5	76%	76%	
Outubro	22	18,4	22,7	17,59	6 600	1019,79	644,4	375,3	63%	63%	
Novembro	22	14,2	21,2	13,66	6 600	1061,08	498,4	562,7	47%	47%	
Dezembro	21	11,7	18,1	11,88	6 300	1094,35	408,6	685,7	37%	37%	
261 dias/ano		78 300 litros/ano		13 945 MJ/ano = 8 412 MJ/ano + 5 533 MJ/ano		3 874 kWh/ano = 2 337 kWh/ano + 1 537 kWh/ano		Fração Solar Anual 60%		SST CSP 2 337 kWh/ano < 3 161 kWh/ano	
Estimativa de custo do SST 2 828,00 €		Custo energético anual 691,44 €/ano		Contribuição Solar 417,89 €/ano		Amortização do SST 6,8 anos		Avaliação			

Figura 27: Resultados de sistema solar térmicos sem acesso de produção (comercio e serviços)

Conforme ilustrado na Figura 28 verificou-se a ocorrência de dois meses com acesso de produção de AQS e dois meses em que não foi necessária energia de apoio.

Mês	Nº dias	Temp. do Ambiente °C	Temp. da Água da Rede °C	Irradiação Solar MJ/(m².dia)	Necessidades AQS litros/mês	Carga Térmica MJ/mês	Energia Solar MJ/mês	Energia Apoio MJ/mês	Fração Solar Mensal		Coletores Solares Padrão (CSP) Decreto-Lei n.º 101-DJ/2020 D.R. nº 237, Série I de 2020-12 A escolha de um Sistema Solar térmico (SST) ou outra fonte de energia renovável tem de obrigatoriamente ser capaz de produzir igual ou maior quantidade de energia que o valor calculado utilizando Coletores Solares Padrão.
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Janeiro	22	11,1	14,8	12,09	6 600	1237,48	611,6	625,9	49%	49%	Rendimento ótico: 73% Coeficientes de perdas térmicas: 4,12 W/(m².K) Área de abertura: 1,65 m²/occupant Inclinação e Orientação: 35º Sul
Fevereiro	20	12,0	12,3	15,41	6 000	1187,76	727,7	460,1	61%	61%	
Março	23	14,4	11,6	18,22	6 900	1386,16	888,9	597,3	71%	71%	
Abril	20	15,5	12,5	21,72	6 000	1182,74	991,3	191,4	84%	84%	
Mai	23	17,9	14,0	22,77	6 900	1316,81	1 171,9	144,9	89%	89%	
Junho	22	21,0	15,9	23,94	6 000	1207,13	1 147,0	60,1	95%	95%	
Julho	22	22,9	18,1	25,16	6 600	1146,47	1 146,5	0,0	101%	100%	
Agosto	23	23,5	20,6	24,73	6 900	1126,58	1 126,6	0,0	103%	100%	
Setembro	21	21,7	22,5	21,72	6 300	978,69	946,5	32,2	97%	97%	
Outubro	22	18,4	22,7	17,59	6 600	1019,79	840,3	179,5	82%	82%	
Novembro	22	14,2	21,2	13,66	6 600	1061,08	672,8	388,3	63%	63%	
Dezembro	21	11,7	18,1	11,88	6 300	1094,35	563,2	531,2	51%	51%	
261 dias/ano		78 300 litros/ano		13 945 MJ/ano = 10 934 MJ/ano + 3 011 MJ/ano		3 874 kWh/ano = 3 037 kWh/ano + 836 kWh/ano		Fração Solar Anual 78%		SST CSP 3 037 kWh/ano < 3 161 kWh/ano	
Estimativa de custo do SST 3 739,00 €		Custo energético anual 691,44 €/ano		Contribuição Solar 542,15 €/ano		Amortização do SST 6,9 anos		Avaliação			

Figura 28: Resultados de sistema solar térmicos com dois meses de acesso de produção

## 7. CONCLUSÕES

### 7.1. Que objetivos foram cumpridos

O projeto cumpriu o objetivo principal de desenvolver uma ferramenta prática e acessível para o pré-dimensionamento de sistemas solares térmicos, utilizando o Microsoft Excel como plataforma base. Foi possível automatizar cálculos que tradicionalmente são realizados de forma manual, integrar parâmetros fundamentais como radiação solar, temperatura da água fria, perfil de consumo e características do coletor e gerar resultados claros e adaptados a diferentes situações. A ferramenta criada permite ao projetista ou técnico reduzir significativamente o tempo necessário para o dimensionamento preliminar, minimizar erros e garantir conformidade com os requisitos legais de eficiência energética estabelecidos pelo REH.

### 7.2. O que se aprendeu

Durante o desenvolvimento do projeto, consolidou-se o conhecimento técnico sobre o funcionamento de sistemas solares térmicos e sobre os métodos de cálculos utilizados no setor, como o método f-Chart. Adicionalmente foi possível aprender a programar no Excel, criando fórmulas e automatizações que tornaram o processo de pré-dimensionamento mais rápido e eficiente. Aprendeu-se também a importância de considerar fatores externos, como inclinação dos coletores, que impactam diretamente no desempenho energético do sistema. Além disso, foi possível perceber a relevância de alinhar o dimensionamento as exigências da legislação vigente, garantindo que o sistema proposto seja eficiente, viável e sustentável a longo prazo. A criação da ferramenta reforçou a ideia de que a automação de cálculos não só melhora a precisão como também torna o processo mais acessível para estudantes, técnicos e profissionais da área.

### 7.3. O que ficou por fazer ou melhorias a introduzir

Apesar dos resultados alcançados, existem pontos que podem ser melhorados em futuras versões da ferramenta. Entre eles está a possibilidade de integrar uma interface mais intuitiva, talvez recorrendo a plataformas de programação dedicadas ou aplicações web, tornando o uso ainda mais simples e atrativo. Poderiam ser incluídas simulações econômica ao longo do tempo, bem como um módulo de comparação automática entre diferentes tipos de coletores solares disponíveis no mercado. Outra melhoria seria a integração de uma base de dados meteorológica dinâmica, que se atualize automaticamente consoante a localização inserida pelo utilizador. Por fim, seria útil realizar testes práticos em projetos reais, de forma a validar a ferramenta em condições de campo e recolher *feedback* de utilizadores para ajustes futuros.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Direção Geral de Energia e Geologia, “Avaliação de Requisitos REH,” ADENE, Lisboa, 2020.
- [2] H. E. Barreira e O. Ribeiro , “Implementação de um sistema de calculo para sistemas de energia solar,” FEUP, porto , 2006.
- [3] “Energia Solar Térmica: Manual sobre tecnologias, projeto e instalação,” Edição do Consórcio GREENPRO, Lisboa, 2004.
- [4] Direção Geral de Energia e Geologia, “Energia Solar,” lisboa , 2008.
- [5] L. Roriz, J. Rosendo, F. Lourenço e K. Calhau, Energia Solar em Edifícios, Edições Orion, 2010.
- [6] TISST, “Técnico Instalador de Sistemas Solares Térmicos ( TISST),” Google, [s.d.] [s.m.] 2025. [Online]. Available: <https://www.tisst.net/products/colector-plano/>. [Acedido em 06 09 2025].
- [7] L. P. C. Neto, “Energia Solar Termica,” IPCB, Castelo Bramco , 2025.
- [8] Obras360, “Obras360,” [s.n], [s.d] [s.m] [s.a]. [Online]. Available: <https://www.obras360.pt/0150071850kt-glicol-therfuild-30y>. [Acedido em 13 09 2025].
- [9] J. Silva, “Dicasesquemas,” J.M. Silva, 15 05 2012. [Online]. Available: <https://copilot.microsoft.com/chats/EMu9NEFrUux4Y5fvbvTz2>. [Acedido em 13 09 2025].
- [10] S. A. Kalogirou, Solar Energy Engineering Processes and Systems, S.I: Academic Press , 2014.
- [11] L. Paulo, “Avaliação do uso de energia solar termica para suprir as demandas de energia de um hotel,” São Paulo, 2017.
- [12] M. D. P. R. TELES, “Análise óptica e térmica de um coletor solar de tubo evacuado,” UNICAMP, Campinas, 2018.
- [13] S. Spencer, “linkedin,” Spencer Solar Growing , 08 julho 2021. [Online]. Available: <https://pt.linkedin.com/pulse/o-fenómeno-da-estagnação-de-coletores-e-durabilidade-sistemas>. [Acedido em 02 Agosto 2025].

# ANEXO

## COLETORES SOLARES CERTIFICADOS SEGUNDO A NORMA EN 12975.

24Sun	4Sun	ACV_Boilernox	ACV_International	AMK-Collectra AG	Ariston	Astersa				
---	---	---	---	---	---	---				
Thermoflat BC21-C	VAC20	Solarline 1.8	Kaplan 2.0	DRC 10	Kairos CF 2.0	AS-1.8M				
Thermo V HP3L58-18-A	VAC30	Solarline 2.0	Kaplan 2.4	ECO 10	Kairos CN 2.0	AS-2.0M				
Thermo V HP3L58-20-A		Solarline 2.4	Kaplan 3.0	OPC 10	Kairos VN 2.2	AS-2.4M				
Thermo V HP3L58-24-A		Solarline 2.6		OPC 15	Kairos_XP_2.5-1_H	ECO 18				
Thermo V HP3L58-30-A				ORW12	Kairos_XP_2.5-1_V	ECO 20				
						ECO 20M				
						NEO 18				
						NEO 20				
						NEO 20 H				
						NEO 20M				
Baxiroca	Bongás	Buderus	Calpak	Chaffoteaux	Changzou Blueclean	Chromagen				
---	---	---	---	---	---	---				
Mediterraneo 200	B200	SKE 2.0 S	12 VTN	Zelios SYS 2.5	SB-58/1800 30 ST	PA_D				
Mediterraneo 250	B250	SKN 3.0 S / SKN 3.0 W	14 VTN	Zelios VN 2.2		PA_E				
SOL 200		CKE 1.0 S	150 G	Zelios_XP_2.5-1_H		PA_F				
SOL 200 H		CKN 1.0 S	16 VTN	Zelios_XP_2.5-1_V		QR-D				
SOL 250		Logasol CKN 2.0 s	200 G			QR-E				
SOL 250 H		Logasol SKN 4.0-s	200 GA			QR-F				
		Logasol SKN 4.0-W	240 GA							
		SKR 12.1R CPC								
		SKR 6.1R CPC								
Consolar	Cosmosolar	DAIKIN	DELPASO Solar	Delta Solar	Donauer	Edwards	ensol	Eny Premium	ESE - European Solar Engineer	EZINC
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
TUBO 12 CPC	EPI 25	EKSH26P	DPS VSM 2200	EPI 20	FC 23S	Titan 2	EM2V/2_0B	L.25	Ecosol 2.32	SUPERLINE M USB
	EPI 54	EKSV21P		EPI 54	FC 421		EM2V/2_0S	M.21		SUPERLINE XL-1 FSB
					FC 425		ES1V/2_0B	S.18		Super Line L UBB PU
							ES1V/2_0S			Super Line L USB
							ES1V/2_65B			Super Line M USB
							ES1V/2_65S			Super Line XL-H USB
							ES2V/2_0B AI			
							ES2V/2_0C AI			
							ES2V/2_0S AI			
							ES2V/2_65S			
Eny Premium	ESE - European Solar Engineer	EZINC	FogãoSol	Gasokol	Giacomini	Hewalex	Immergas S.p.A.	Immosolar		
---	---	---	---	---	---	---	---	---		
L.25	Ecosol 2.32	SUPERLINE M USB	FCLS	sunnySol UP	PSI03Y001	KSR10	CP2	IS-PRO 1Q		
M.21		SUPERLINE XL-1 FSB	FCLS Selectivo		PSO02Y001	KS 2000 TLP AC	CP4	IS-PRO 2000 Tinox H		
S.18		Super Line L UBB PU			PSO02Y002	KS 2000 TP		IS-PRO 2000 Tinox Q		
		Super Line L USB			PSV01Y001	KS 2100 TLP AC		IS-PRO 2400 Tinox H		
		Super Line M USB			PSV01Y002	KS 2100 TLP ACR		IS-PRO 2400 Tinox Q		
		Super Line XL-H USB			PSV02Y001	KS 2500 TLP AC		IS-PRO 2H		
					PSV02Y002	KS 2600TLP AC		IS-PRO 2Q		
						KS 2600 TLP ACR		IS-TOP		
Intersol	IS-Energy	Jacques Giordano	Junkers	KBB	MARVEL	MGC	MEGA ECOPOWER	MEGASUN	NAU	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
TC25	IS PRO 2.1 HN	C8/12.S.U.	VK 140-1	K 420 - DH	CLS 2510	CPC Power ST1	ST 2000 Selectivo	ST 2000 Selective	C2	
TC-H25	IS PRO 2.7 HN	C8/8.S.U.	FCB - 1S	K 420 -EM			ST 2500 Selectivo	ST 2500 Selective	FLATLINE Blue Energy Pro	
		C8/8.S.HI	FCC - 1S	K 420 - LC					SAPHIRLINE	
			FCC 2S	K 420 - MS - AL					Silverline Q	
			FKB - 1S	K 420 - VH						
			FKC - 1S/1W	K 423 - DH						
			FKC-2S	K 423 -EM						
			FKC-2W	K 423 - MS - AL						
			FKT - 1S/1W	K 423 - VH						
			FKT-2S							
			FKT-2W							

NES - New Energy Systems	Odeisun	OFASUN	OPENPLUS	Oventrop	Paradigma s.r.l.	REHAU-SOLECT	RIELLO	Rigsun	RITTER	Rotex	Saunier Duval	Schüco
PK SL CL 2.15	2000 Selective	2500 Selective	OP-V2	OFK-CK22	EasySun II	KW	CP 20 TN	RK 2300 ALPIN	CPC 14 Star Azzurro	V26P	HR 2.1 RB	CTE 215 CH
	2500 Selective		2510 OP-V2.3	OFK-CS22		WK	CP 20 TS		CPC 21 Star Azzurro		SCV 2.3	CTE 220 CH2
			OP-V2.5	OKP-10			CP 25 TV		CPC 30 Star Azzurro		SRDV 2.3	CTE 520 CH
				OKP-20					CPC 45 Star Azzurro		SRD 2.3	CTE 520 CH1
									CSO 21		SRH 2.3	CTE 520 CH2
									OEM 21		SRV 2.3	
<b>SIGURD Technologie</b>	<b>Solahart</b>	<b>Solargus</b>	<b>Solarizer</b>	<b>SolarProject</b>	<b>Solar Energy</b>	<b>Soldirecto</b>	<b>Soliker</b>	<b>Solimpeks</b>	<b>Solius</b>			
HELIOSELEC 202	BT	ESP 1	ES2000A	SP-V2	RK2001 Mediterano	VH 2.1 Selectivo	UNISOL PLUS	CLS F 2108	GIGASOL			
HELIOSELEC 234	J		ES2000B	SP-V2.3	RK2300 Mediterano		UNISOL PLUS EVO	CLS F 2510	Prosol			
	KF			SP-V2.5	RKA2500 Alpin		UNISOL PLUS G		SilverSol2			
	LCS				RKE2500N Alpin Easy				SilverSol2 XL			
					RKEQ2500N Alpin Easy				TubeSol CPC 08			
									Tubosol CPC 12			
									Tubosol CPC 18			
									Tubosol CPC 21			
<b>SOLution Solartechnik</b>	<b>SONERGI</b>	<b>Sonnenkraft</b>	<b>SunAitec</b>	<b>Sunerg</b>	<b>Sunerg</b>	<b>Sunex</b>	<b>Sunlit</b>	<b>TEKNOENERGY</b>	<b>Thermomax</b>	<b>TISUN</b>	<b>Vaillant</b>	<b>Velux</b>
Insolar22-1	SP 2	SK500 N	RTS	H1T	H1TX	SX 2.51	Climasol 2_00	PS002	HP 400 20	FA 1/3	VFK 1140	CLI M08 5000
Insolar32-1	SS 2						Climasol 2_50		HP 400 30	F1 1/4	VFK 125	CLI S06 5000
Insolar42-1							Climasol 2_70		HP 450 20	FM-S 2.00 Modulkollektor	VFK 135D	CLI S08 5000
Insolar52-1									HP 450 30	FM-S 2.55 Modulkollektor	VFK 145 HV	CLI U10 3000
08 SOLrose20ECO									TS 300	FM-W 2.00 Modulkollektor	VFK 570	CLI U10 3001
12 SOLrose20 ECO-4A									TS 350	FM-W 2.55 Modulkollektor		CLI U12 5000
18 SOLrose20 ECO-L									TS 400			V2100_A4
21 SOLrose 26												V27000_A2
SOLrose 26L												
Unisol 20cc-1												
Unisol 20cc-1 FLOAT												
Unisol 27cc-1												
Unisol 27cc-1 FLOAT												
Unisol 27cc-2												
Unisol 27cc-2 FLOAT												
Unisol 27-1												
Unisol 27-1 FLOAT												
<b>Viessmann Werke</b>	<b>Vulcano</b>	<b>Wagner Co</b>	<b>Wagner Solar</b>	<b>Wasco</b>	<b>Weishaupt</b>	<b>Westech</b>	<b>Wikora</b>	<b>Wolf</b>	<b>Zantia</b>	<b>Zhejiang Shentai Solar</b>		
Vitosol 100-F SH1A	FCB - 1S	EURO C32 RH/HTF	LBM 2 AR		200 WTS F1 K1	SP-S58/1800A 10	Wikosun 2020 Mi	CFK 1	ZHS/200	Suntask SR15-58/1800		
Vitosol 100-F SH1B	FCC - 1S	EURO L20AR			250 WTS F1 K2	SP-S58/1800A 22	Wikosun 2340-Ti	TopSon F3-1	ZHS/234	Suntask SR20-58/1800		
Vitosol 100-F SV1A	FCC 2s	EURO L42 HTF			270 WTS F1 K3	SP-S58/1800A 30		TopSon F3-Q	ZHS/250	Suntask SR30-58/1800		
Vitosol 100-F SV1B	FKB - 1S				WTS F1 K4				Z 2.3/71-15			
Vitosol 200-F SH2A	FKC-2S				WTS-F2 K3				Z 2.3/71-20			
Vitosol 200-F SH2B	FKC - 1S/1W				WTS-F2 K4				Z 2.3/71-25			
Vitosol 200-F SV2A	FKC-2W								Z 2.3/71-30			
Vitosol 200-F SV2B	FKT - 1S/1W											
Vitosol 200-T SD2A 2m2	FKT-2S											
Vitosol 200-T SD2A 3m2	FKT-2W											
Vitosol 200-T SP2	Optimus											
Vitosol 300-F SH3A	Verus											
Vitosol 300-F SH3B												
Vitosol 300-F SV3A												
Vitosol 300-F SV3B												
Vitosol 300-T SP3A 2m2												
Vitosol 300-T SP3A 3m2												