



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Tecnologia

# **Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao pré-dimensionamento de coletores solares**

**Amadu Tijane Baldé**

Orientador

Prof. Adjunto Luís P. C. Neto, PhD

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, no âmbito da unidade curricular de Estágio/Projeto Final do 3º ano do curso de licenciatura em Engenharia das Energias Renováveis, para cumprimento dos requisitos obrigatórios de avaliação.

Outubro 2024

## **Composição do júri**

Presidente do Júri:

António Francisco Canatário Duarte

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Arguente:

Paula Cristina Alves Pereira

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

Orientador:

Luís Paulo Coelho Neto

Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

## **Agradecimentos**

A realização deste projeto foi possível graças ao apoio e à colaboração de várias pessoas e instituições, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Luís Paulo Coelho Neto, pela orientação incansável, paciência e valiosas contribuições ao longo de todas as etapas deste trabalho. Suas sugestões e críticas construtivas foram fundamentais para o desenvolvimento e aprimoramento desta pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos aos meus colegas de curso, que participaram das discussões e contribuíram com ideias e sugestões. A troca de conhecimento e experiências foi enriquecedora e essencial para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ainda à minha família pelo apoio emocional e incentivo contínuo durante todo o período da minha formação. Sua confiança em mim foi um alicerce inestimável nos momentos de desafio e superação.

Por fim, expresso minha gratidão aos meus amigos, cuja amizade e encorajamento foram fundamentais para manter minha motivação ao longo deste percurso.

A todos, meu muito obrigado.

## **Resumo**

Este trabalho aborda o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao pré-dimensionamento de coletores solares, sejam eles térmicos ou fotovoltaicos.

O projeto surge da necessidade de atualização do processo de planejamento desses sistemas, levando em consideração fatores cruciais como a localização geográfica, a orientação e inclinação dos coletores, além de variações climáticas e astronómicas. A ferramenta proposta utiliza modelos de simulação baseados em relações geométricas e astronómicas para calcular a posição do Sol ao longo do ano e determinar a configuração ideal dos coletores solares, visando maximizar a eficiência.

No decorrer do trabalho serão abordados conceitos fundamentais sobre geometria solar, nomeadamente a relação entre a Terra e o Sol, e como essas variáveis influenciam o desempenho dos sistemas solares.

O trabalho também detalha a estrutura e o funcionamento da calculadora "GUI+POR SOLAR" que foi desenvolvida para permitir aos utilizadores inserir dados específicos e obter cálculos precisos sobre a orientação e inclinação ideais dos coletores. Essa ferramenta é aplicável em dois países – Portugal e Guiné-Bissau – facilitando o processo de pré-dimensionamento e promovendo a adoção de soluções sustentáveis no setor de energia solar.

## **Palavras-chave**

Energia solar, Coletores solares, Relações astronómicas Terra-Sol, Otimização.

## **Abstract**

This work addresses the development of a tool to support the sizing of solar collectors, whether thermal or photovoltaic.

The project arises from the need to update the planning process for these systems, taking into account crucial factors such as geographic location, orientation and inclination of collectors, as well as climatic and astronomical variations. The proposed tool uses simulation models based on geometric and astronomical relationships to calculate the position of the Sun throughout the year and determine the ideal configuration of solar collectors, aiming to maximize efficiency.

During the work, fundamental concepts about solar geometry will be addressed, namely the relationship between the Earth and the Sun, and how these variables influence the performance of solar systems.

The work also details the structure and operation of the "Gui+Por Solar" calculator, which was developed to allow users to enter specific data and obtain accurate calculations on the ideal orientation and inclination of collectors. This tool is applicable in two countries – Portugal and Guinea-Bissau – facilitating the sizing process and promoting the adoption of sustainable solutions in the solar energy sector.

## **Keywords**

Solar energy, Solar collectors, Earth-Sun astronomical relationships, Optimization

# Índice geral

1. Introdução .....	2
1.1. Introdução ao projeto.....	2
1.2. Contexto e motivação .....	2
1.3. Objetivos3	
1.4. Estrutura do Relatório .....	4
2. Conceitos básicos sobre geometria solar .....	7
2.1. Coordenadas geográficas de um local na Terra .....	7
2.1.1. Latitude .....	7
2.1.2. Longitude.....	9
2.2. O movimento anual da Terra à volta do Sol.....	10
2.2.1. Distância média Sol-Terra.....	10
2.2.2. Dia-Número do ano.....	12
2.2.3. Ângulo do dia .....	12
2.2.4. Declinação solar .....	12
2.2.5. Equinócios e Solstícios .....	13
2.2.6. Hora Local .....	16
2.2.7. Fusos Horários.....	17
2.2.8. Horário de Verão .....	19
2.2.9. Equação do Tempo.....	19
2.2.10. Tempo Solar Verdadeiro.....	19
2.3. Coordenadas da posição do Sol durante o seu movimento aparente diário.....	20
2.3.1. Altura Solar e Ângulo de Zénite Solar .....	20
2.3.2. Ângulo de Azimute Solar .....	21
2.3.3. Ângulo Horário .....	22
2.3.4. Inclinação da Superfície Coletora.....	23
2.3.5. Orientação da Superfície Coletora .....	24
2.4. Relações trigonométricas para coletores horizontais ( $\beta \neq 0^\circ$ ; $\gamma = 0^\circ$ ).....	24
2.4.1. Ângulo horário de Nascer do Sol.....	25
2.4.2. Ângulo horário de Pôr do Sol.....	25
2.4.3. Duração do dia.....	25

2.4.4. Ângulo de incidência dos raios solares .....	25
2.5. Relações trigonométricas para superfícies inclinadas ( $\beta \neq 0^\circ$ ) voltadas para o equador ( $\gamma = 0^\circ$ ) .....	26
2.5.1. Ângulo horário do nascer do Sol para um coletor inclinado e voltado para o equador.....	26
2.6. Relações trigonométricas para superfícies orientadas arbitrariamente ( $\beta \neq 0^\circ$ ; $\gamma \neq 0^\circ$ )	27
2.7. Sombras entre filas de coletores .....	29
2.7.1. Filas de colectores instalados num plano horizontal.....	29
2.7.2. Filas de colectores instalados num plano inclinado.....	31
3. Calculadora “GUI+POR SOLAR” .....	33
3.1. Objetivos da Calculadora “GUI+POR SOLAR” .....	34
3.2. Abrangência (países, regiões, cidades).....	34
3.2.1. Distritos de Portugal com as respetivas localidades e coordenadas geográficas.....	35
3.2.2. Regiões da Guiné-Bissau com os seus respetivos localidades.....	36
3.3. INPUT’S requeridos ao utilizador .....	36
3.3.1. Menu PAÍS.....	36
3.3.2. Menu DISTRITO.....	37
3.3.3. Menu LOCALIDADE.....	38
3.3.4. Menu DATA .....	39
3.3.5. Menu HORA.....	40
3.4. OUTPUT’S obtidos.....	41
3.4.1. Menu INCLINAÇÃO & ORIENTAÇÃO do coletor solar .....	42
3.4.2. Menu DISTÂNCIA ENTRE COLETORES.....	45
4. Conclusões .....	48
4.1. Breve resumo do trabalho realizado .....	48
4.2. Evolução temporal do trabalho .....	48
4.3. Apreciação do trabalho desenvolvido face aos objetivos previamente definidos	49
4.4. Dificuldades e Limitações.....	49
4.5. Melhorias a fazer .....	50

## Índice de Figuras

Figura 1: Ilustração das coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) de um local terrestre .....	7
Figura 2: Principais Círculos de Latitude na Terra: Equador, Trópicos e Círculos Polares .....	8
Figura 3: Visualização do Meridiano de Greenwich e distribuição dos meridianos a cada 15° ao longo da Terra. ....	9
Figura 4: Movimento anual da Terra à volta do Sol (visto sob o prisma do hemisfério Norte) .....	10
Figura 5: Movimento aparente do sol, esfera celeste e ângulo da declinação Solar.....	13
Figura 6: Equinócios e Solstícios: Posições da Terra e efeitos na duração do dia e da noite .....	14
Figura 7: Incidência perpendicular dos raios solares no Equador.....	14
Figura 8: Solstício de Verão (esq.); Solstício de Inverno (dir.) .....	16
Figura 9: Inclinação da Terra em relação ao Sol ao longo de todo ano .....	16
Figura 10 Mapa dos fusos horários mundiais com base na convenção dos meridianos. ....	18
Figura 11: Mapa e Abreviatura dos fusos horários .....	19
Figura 12: Ilustração dos ângulos solares .....	21
Figura 13: Ilustração da convenção utilizada em [4] para o ângulo horário $\omega$ . ....	23
Figura 14: Inclinação e orientação da superfície coletora.....	23
Figura 15: Superfícies coletoras com inclinação $\beta \neq 0^\circ$ e orientação arbitrária $\gamma \neq 0^\circ$ . ..	27
Figura 16: Distância de sombreamentos entre fileiras de colectores solares (Horizontal) .....	30
Figura 17: Distância de sombreamentos entre fileiras de colectores solares (inclinado).....	31
Figura 18: Ilustração da capa da calculadora “GUI+POR SOLAR” .....	33
Figura 19: Instruções de uso da interface gráfica da calculadora .....	33
Figura 20: Menu País.....	37
Figura 21: Exemplificação do <i>dropdown</i> do menu País. ....	37
Figura 22: Menu País preenchido com a seleção de Portugal como o país onde se vão efetuar os cálculos.....	37
Figura 23: Menu Distrito ou Região .....	38
Figura 24: Dados sobre o distrito de Castelo Branco .....	38

Figura 25: Menu LOCALIDADE. ....	38
Figura 26: Seleção da localidade Covilhã pertencente ao distrito de Castelo Branco..	39
Figura 27: Menu DATA. ....	39
Figura 28: Menu Data com a data introduzida .....	40
Figura 29: Menu HORA. ....	40
Figura 30: Menu de seleção de horário com opção de marcar a hora.....	40
Figura 31: resultados do menu COLETOR HORIZONTAL .....	42
Figura 32: imagem do menu orientação e inclinação. ....	43
Figura 33: Introdução de valor de Inclinação $\beta = 30^\circ$ e Orientação $\gamma = 0^\circ$ (Sul) do coletor solar. ....	43
Figura 34: Resultados obtidos para um coletor solar inclinado a $30^\circ$ e orientado para o equador. ....	43
Figura 35: Introdução de valor de Inclinação $\beta = 30^\circ$ e Orientação $\gamma = 15^\circ$ (Oeste) do coletor solar. ....	44
Figura 36: Resultados obtidos para um coletor solar com $30^\circ$ de inclinação e orientado $15^\circ$ para Oeste. ....	44
Figura 37: Resultados obtidos para um coletor solar com $30^\circ$ de inclinação e orientado $15^\circ$ para Este.....	45
Figura 38: Menu DISTÂNCIA ENTRE COLETORES. ....	45
Figura 39: Seleção da Marca e do Modelo do Coletor Solar. ....	45
Figura 40: Distância mínima entre filas de coletores BOSCH FKC-2W quando instalados num local horizontal. ....	46
Figura 41: Distância mínima entre filas de coletores BOSCH FKC-2W quando instalados num local com $35^\circ$ de inclinação.....	46

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Data e características dos Equinócios da Primavera e do Outono.....	15
Tabela 2: Datas e características dos Solstícios de verão e inverno .....	16
Tabela 3: Diferenças horárias em relação a Lisboa atendendo à Hora Local (Verão) ..	18
Tabela 4: Inclinação de referência para coletores .....	24
Tabela 5: Distritos de Portugal e Regiões da Guiné-Bissau.....	35
Tabela 6: Distritos de Portugal com as respetivas localidades e coordenadas geográficas .....	36
Tabela 7: Regiões da Guiné-Bissau com os seus respetivas localidades e coordenadas geográficas .....	36

## Nomenclatura

$d$	Distância entre fileiras de coletores	(m)
$d_n$	Dia-número do Ano	(-)
$E_t$	Equação do tempo	(min.)
$E_0$	Fator de correção da excentricidade da órbita da Terra	(---)
HL	Hora Local ou Hora Legal	(h)
$L_{Local}$	Longitude local	(°)
$L_{Ref^a}$	Longitude de referência	(°)
$N_d$	Duração do dia para um coletor solar horizontal	(h)
$N'_d$	Duração do dia para um coletor solar inclinado e orientado para o Equador	(h)
$N''_d$	Duração do dia para um coletor solar inclinado e orientado a Este ou a Oeste	(h)
TSV	Tempo Solar Verdadeiro	(h)
UA	Unidade Astronômica (1 UA = 149 597 890 ± 500 km)	(km)
$r$	Distância Sol-Terra num determinado dia/mês	(km)
$r_0$	Distância média Sol-Terra ( $r_0 = 149 597 890 \pm 500$ km)	(km)
$\alpha$	Ângulo de altura solar	(°)
$\beta$	Inclinação da superfície coletora em relação à horizontal	(°)
$\delta$	Declinação solar	(°)
$\phi$	Latitude local	(°)
$\gamma$	Ângulo de azimute da superfície	(°)
$\gamma$	Ângulo de azimute da superfície coletora	(°)
$\Gamma$	Ângulo do dia	(°)
$\theta$	Incidência dos raios solares num coletor solar horizontal	(°)
$\theta_z$	Ângulo de zênite solar	(°)
$\theta_{\beta,0}$	Ângulo de incidência dos raios solares num coletor solar com inclinação $\beta$ e orientado para o Equador ( $\gamma = 0^\circ$ )	(°)
$\theta_{\beta,\gamma}$	Ângulo de incidência dos raios solares num coletor solar com inclinação $\beta$ e orientação $\gamma$ para Este ou Oeste	(°)
$\theta_{0,0}$	Ângulo de incidência dos raios solares num coletor solar horizontal	(°)
$\omega$	Ângulo horário do Sol	(°)
$\omega_{sr}$	Ângulo horário do nascer do Sol para um coletor solar horizontal	(°)
$\omega_{ss}$	Ângulo horário do pôr do Sol para um coletor solar horizontal	(°)
$\omega'_{sr}$	Ângulo horário do nascer do Sol para um coletor solar inclinado e orientado para o Equador	(°)
$\omega'_{ss}$	Ângulo horário do pôr do Sol para um coletor solar inclinado e orientado para o Equador	(°)
$\omega''_{sr}$	Ângulo horário do nascer do Sol para um coletor solar inclinado e orientado a Este ou a Oeste	(°)
$\omega''_{sr}$	Ângulo horário do pôr do Sol para um coletor solar inclinado e orientado a Este ou a Oeste	(°)
$\psi$	Ângulo de azimute solar	(°)

## **Siglas utilizadas neste documento**

CET	Central European Time, Hora Central Europeia.
CST	Central Standard Time, Horário Central Padrão.
DST	Daylight Saving Time, Horário de Verão.
EDT	Eastern Daylight Time, Horário de Verão Oriental.
EST	Eastern Standard Time, Horário Padrão do Leste.
GMT	Greenwich Mean Time, geralmente equivalente a UTC.
HL	Hora local.
TSV	Tempo Solar Verdadeiro.
UTC	Tempo Universal Coordenado, o padrão de tempo contra o qual todos os fusos horários são medidos.

# Capítulo 1

## Introdução

# 1. Introdução

## 1.1. Introdução ao projeto

Com o aumento crescente na procura por fontes de energia renovável e sustentável, os sistemas solares, térmicos ou fotovoltaicos, têm-se destacado como uma solução eficaz quer para o aquecimento de água em residências, estabelecimentos comerciais e industriais, quer para produção de energia elétrica. No entanto o pré-dimensionamento adequado desses sistemas é crucial para garantir a sua eficiência energética e económica. Fatores como a localização geográfica, a orientação e a inclinação dos coletores solares bem como as características climáticas locais desempenham papéis fundamentais na determinação do tamanho e configuração ideais.

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao pré-dimensionamento de coletores solares, que visa facilitar o processo de projeto e implementação dessas soluções sustentáveis.

Nos últimos anos, a busca por fontes de energia renováveis tem ganhado destaque em todo o mundo, sendo essencial para mitigar as mudanças climáticas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. No contexto de Portugal e Guiné-Bissau, a energia solar surge como uma solução particularmente promissora devido à abundância de radiação solar nessas regiões. Embora Portugal possua uma infraestrutura energética consolidada e um forte compromisso com as metas de sustentabilidade da União Europeia, a Guiné-Bissau, com um grande potencial de desenvolvimento no setor energético, enfrenta a energia solar como uma alternativa viável para expandir o acesso à eletricidade e reduzir o impacto ambiental.

Os coletores solares térmicos são uma tecnologia amplamente utilizada em Portugal, principalmente para o aquecimento de água em residências e setores industriais. Já os painéis fotovoltaicos, que transformam a luz solar em eletricidade, estão em expansão tanto em zonas urbanas quanto rurais, sendo uma solução importante para diversificar a matriz energética. Na Guiné-Bissau, onde a eletrificação ainda enfrenta desafios atuais, a implementação de sistemas solares fotovoltaicos pode ser uma ferramenta crucial para o desenvolvimento sustentável e o fornecimento de energia em áreas remotas. Porém, para que esses sistemas sejam eficazes e economicamente viáveis, o pré-dimensionamento correto é fundamental, considerando fatores como radiação solar, demanda energética e custo de instalação.

## 1.2. Contexto e motivação

A demanda crescente por fontes de energia renováveis reflete a urgência em mitigar os impactos ambientais causados pelo uso excessivo de combustíveis fósseis. A energia solar, por ser uma fonte abundante e sustentável, tem sido amplamente promovida em diversas regiões do mundo, especialmente em locais com alta incidência solar, como Portugal e Guiné-Bissau. A transição para um modelo energético mais sustentável

depende da implementação eficaz de tecnologias que permitam o aproveitamento otimizado dessa energia. Tanto em Portugal, que possui políticas avançadas de energia renovável, quanto na Guiné-Bissau, onde o acesso à eletricidade é limitado, a energia solar surge como uma solução crucial para a expansão energética.

No entanto, para que os sistemas solares, sejam térmicos ou fotovoltaicos, operem com eficiência máxima, é essencial que o pré-dimensionamento dos coletores solares seja realizado de forma precisa. O processo de pré-dimensionamento envolve uma consideração de fatores geográficos, climáticos e astronómicos, como a inclinação e a orientação dos coletores, que variam conforme a sua localização.

A motivação para o desenvolvimento do presente projeto surge, pois, da necessidade de simplificar e otimizar o processo de pré-dimensionamento de coletores solares, tornando-o acessível a engenheiros, arquitetos e profissionais do setor de energia, bem como a utilizadores menos especializados.

A ferramenta que foi desenvolvida visa permitir que qualquer pessoa, mesmo tendo poucos conhecimentos sobre o assunto, possa seguir passo-a-passo o processo de pré-dimensionamento do sistema.

Este projeto é particularmente relevante para a Guiné-Bissau, onde a energia solar pode desempenhar um papel crucial na eletrificação de áreas remotas, contribuindo para o desenvolvimento socioeconómico do país. Em Portugal, o foco está na otimização do uso de recursos renováveis, alinhando-se às metas de sustentabilidade da União Europeia. Ambos os países, com suas realidades energéticas distintas, podem se beneficiar de uma ferramenta que permite um pré-dimensionamento eficiente, garantindo a previsão técnica e económica dos sistemas solares.

### 1.3. Objetivos

O objetivo deste projeto é desenvolver uma ferramenta de apoio ao pré-dimensionamento de coletores solares – Calculadora "GUI+POR SOLAR" – considerando variáveis astronómicas e geográficas de diferentes distritos de Portugal e/ou regiões de Guiné-Bissau.

A "GUI+POR SOLAR" permite que o utilizador calcule com precisão um conjunto de cálculos solares intermédios tais como:

- Declinação solar ( $\delta$ )
- Altura solar ( $\alpha$ )
- Azimute solar ( $\psi$ )
- Ângulo de zénite solar ( $\theta_z$ )
- Equação do tempo ( $E_t$ )
- Ângulo horário de nascer ( $\omega_{sr}$ ) e de pôr do Sol ( $\omega_{ss}$ )
- Inclinação ( $\beta$ ) e orientação ( $\gamma$ ) do(s) coletor(es) solar(es)

de forma a depois se obterem valores para:

- A distância média Terra-Sol ( $r_0$ ) numa determinada data;
- A hora expressa em Tempo Solar Verdadeiro (TSV);
- A mudança de hora Inverno/Verão (DST);
- Hora de Nascer do Sol ( $\omega_{sr}$ ) e Hora de Pôr do Sol ( $\omega_{ss}$ ) para o coletor solar, qualquer que seja a sua localização, inclinação ( $\beta$ ) e orientação ( $\gamma$ );
- Duração do dia para o coletor solar ( $N_d$ ), qualquer que seja a sua localização, inclinação ( $\beta$ ) e orientação ( $\gamma$ );
- Ângulo de incidência dos raios solares no coletor solar ( $\theta$ ), qualquer que seja a sua localização, inclinação ( $\beta$ ) e orientação ( $\gamma$ ).

No caso dos coletores solares térmicos, adicionou-se uma funcionalidade que permite ao utilizador especificar a marca e o modelo do coletor solar térmico a utilizar, sendo que a calculadora fornecerá:

- A altura do coletor, expressa em metros;
- A largura do coletor, expressa em metros;
- A área do absorvedor do coletor, expressa em metros quadrados;
- A distância mínima entre filas de coletores, expressa em metros;
- A distância mínima entre filas de coletores durante o período invernal, expressa em metros.

Assinala-se que esta última funcionalidade também poderia se implementada para coletores solares fotovoltaicos, desde que construída uma base de dados de marcas, modelos e características geométricas dos mesmos.

## 1.4. Estrutura do Relatório

O presente relatório encontra-se dividido em 4 capítulos principais, com o objetivo de apresentar detalhadamente o desenvolvimento da ferramenta de apoio ao pré-dimensionamento de coletores solares.

No Capítulo 1 é apresentada a introdução ao projeto, que inclui o contexto, a motivação e os objetivos da pesquisa. Esta seção estabelece a base para a compreensão da importância do pré-dimensionamento de coletores solares e apresenta uma visão geral das metas que o trabalho se propõe a atingir.

O Capítulo 2 é dedicado aos conceitos básicos de geometria solar que são fundamentais para a compreensão do funcionamento dos sistemas solares. Aqui, são explicados temas como as coordenadas geográficas, o movimento anual da Terra em relação ao Sol e os principais ângulos que influenciam o desempenho dos coletores. Essa fundamentação teórica é essencial para que o utilizador compreenda as variáveis que a ferramenta considera durante o processo de pré-dimensionamento.

No Capítulo 3 é detalhada a estrutura e o funcionamento da calculadora "GUI+POR SOLAR" desenvolvida no âmbito desse trabalho. Esta seção aborda os objetivos da ferramenta, sua abrangência geográfica, bem como as entradas e saídas necessárias. Através de exemplos práticos, serão ilustradas as funcionalidades da calculadora, demonstrando como os utilizadores podem inserir dados específicos para obter resultados precisos sobre a orientação e a inclinação ideal dos coletores.

Finalmente, no Capítulo 4, apresentam-se as conclusões do trabalho efetuado, onde são discutidos os resultados alcançados, as dificuldades enfrentadas durante o desenvolvimento do projeto e as limitações da ferramenta. Além disso, são apresentadas sugestões para futuras melhorias e perspectivas de continuidade do trabalho, eventual evolução da ferramenta e sua aplicação em diferentes contextos.

# Capítulo 2

## Conceitos básicos de geometria solar

## 2. Conceitos básicos sobre geometria solar

Antes de se explicarem, em detalhe, os conceitos básicos da geometria solar, entendeu-se, por bem, começar por explicar alguns conceitos sobre a geometria da Terra, nomeadamente as coordenadas geográficas de um local na Terra.

### 2.1. Coordenadas geográficas de um local na Terra

As coordenadas geográficas de um local na Terra são usadas para especificar a localização exata desse local na superfície terrestre. Elas consistem em dois valores principais:

- Latitude
- Longitude

Como o achatamento do Planeta Terra é tão pequeno que pode ser desconsiderado, a melhor maneira de representá-lo em tamanho pequeno é usando uma esfera, que é chamada de globo terrestre, nela pode ser visto os continentes, mares, países e etc.

A latitude e a longitude são as coordenadas geográficas de um lugar qualquer da Terra. Elas são muito utilizadas nas navegações marítimas e aéreas. É cruzando as informações sobre a latitude e a longitude que podemos saber com precisão a localização de um ponto em qualquer lugar na superfície terrestre [1].

Na Figura 1 representam-se as linhas de latitude e as linhas de longitude, bem como as respetivas referências:

- Equador para as linhas das latitudes;
- Meridiano Principal para as linhas das longitudes.

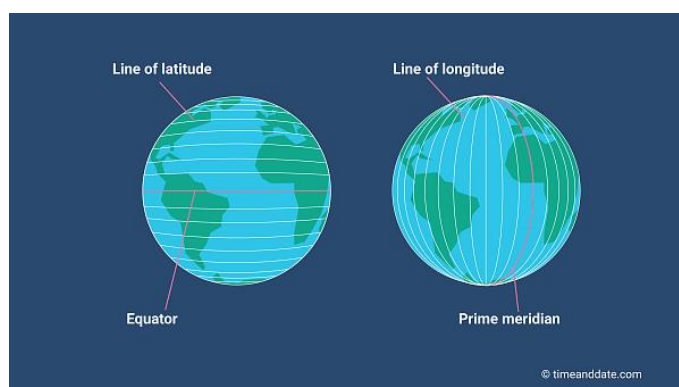


Figura 1: Ilustração das coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) de um local terrestre (figura copiada de [2])

#### 2.1.1. Latitude

Conforme se pode verificar na Figura 1, os Paralelos são círculos traçados paralelamente ao Equador, sendo o Equador uma linha imaginária que divide a Terra em duas metades:

- Hemisfério Norte.
- Hemisfério Sul;

ou seja, a linha do Equador é a circunferência máxima do globo terrestre e a palavra hemisfério significa a metade de uma esfera [1].

Designa-se por Latitude ( $\phi$ ) a distância angular entre o Equador e um ponto na superfície da Terra, medida ao longo de um meridiano. A latitude varia de  $0^\circ$  no Equador até  $90^\circ$  nos Polos ( $90^\circ\text{N}$  no Polo Norte e  $90^\circ\text{S}$  no Polo Sul).

As latitudes são expressas em graus ( $^\circ$ ), minutos ( $'$ ) e segundos ( $''$ ), sendo consideradas positivas no hemisfério norte e negativas no hemisfério sul.

Na Figura 2 apresentam-se os cinco principais círculos de latitude (também designadas por Latitudes Notáveis) que marcam mapas da Terra:

- **Círculo Polar Ártico:** O Círculo Polar Ártico está na latitude  $66^\circ 34'$  Norte. Diz-se que todos os locais situados ao norte desta latitude estão no Círculo Polar Ártico;
- **Trópico de Câncer:** A latitude  $23^\circ 26'$  Norte também é conhecida como Trópico de Câncer. Marca a posição mais ao norte da Terra, onde o Sol está diretamente acima de sua cabeça pelo menos uma vez por ano. Isso acontece durante o Solstício de Junho, quando o Hemisfério Norte da Terra está inclinado em direção ao Sol;
- **Equador:** O equador é uma linha imaginária entre os hemisférios Norte e Sul. Ele divide o globo ao meio a  $0$  graus de latitude;
- **Trópico de Capricórnio:** O Trópico de Capricórnio é a latitude que fica a  $23^\circ 26'$  ao sul do equador. É a posição mais meridional do globo, onde o Sol está diretamente acima durante o Solstício de Dezembro;
- **Círculo Antártico:** O Círculo Antártico, por outro lado, está na latitude  $66^\circ 34'$  sul. Diz-se que quaisquer locais situados ao sul desta latitude estão no Círculo Antártico. Lugares nos círculos Ártico e Antártico experimentam o Sol da Meia-Noite e a noite polar.

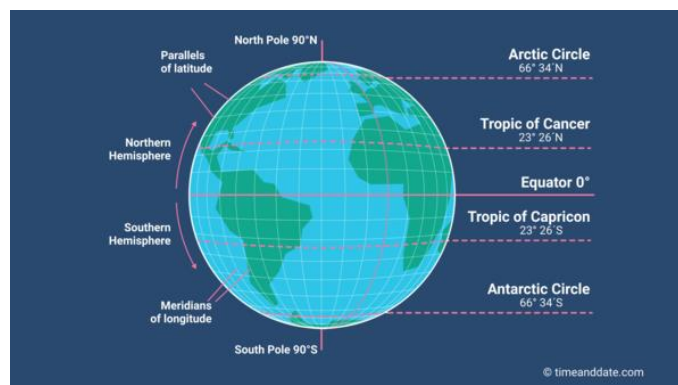


Figura 2: Principais Círculos de Latitude na Terra: Equador, Trópicos e Círculos Polares (figura copiada de [2])

### 2.1.2. Longitude

Como referido anteriormente, os Meridianos são linhas imaginárias traçadas de Pólo a Pólo. O principal meridiano (ou meridiano inicial) é o Meridiano de Greenwich, o qual divide a Terra em duas metades:

- Oeste (ocidente);
- Este (orientado).

Greenwich tornou-se um meridiano referencial internacionalmente em 1884 devido a um acordo internacional que aconteceu em Washington, isso para padronizar as horas em todo o mundo, Greenwich foi escolhido por “cortar” o observatório Astronómico Real, localizado em Greenwich, um distrito de Londres [1].

Designa-se por Longitude a distância angular medida ao longo do Equador a partir de um meridiano de referência – que é o Meridiano de Greenwich ( $0^\circ$ ) – até ao ponto em questão.

A longitude varia de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  para Este (E) e de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  para Oeste (W). A referência padrão para a longitude é o Meridiano de Greenwich, também conhecido como Meridiano Principal, que corresponde a  $0^\circ$ .

Tal como se pode visualizar na Figura 3, tomando Greenwich como referência, estabelece-se:

- Locais a Oeste de Greenwich: Longitudes negativas
- Locais a Este de Greenwich: Longitudes positivas

De modo similar à latitude, a longitude também é expressa em graus ( $^\circ$ ), minutos ( $'$ ) e segundos ( $''$ ).

Na Figura 3 podemos observar não só o Meridiano de Greenwich como também a distribuição dos meridianos ao longo do planeta Terra, sendo de notar que todos os meridianos locais são múltiplos de  $15^\circ$  (este ou oeste) do meridiano de Greenwich.

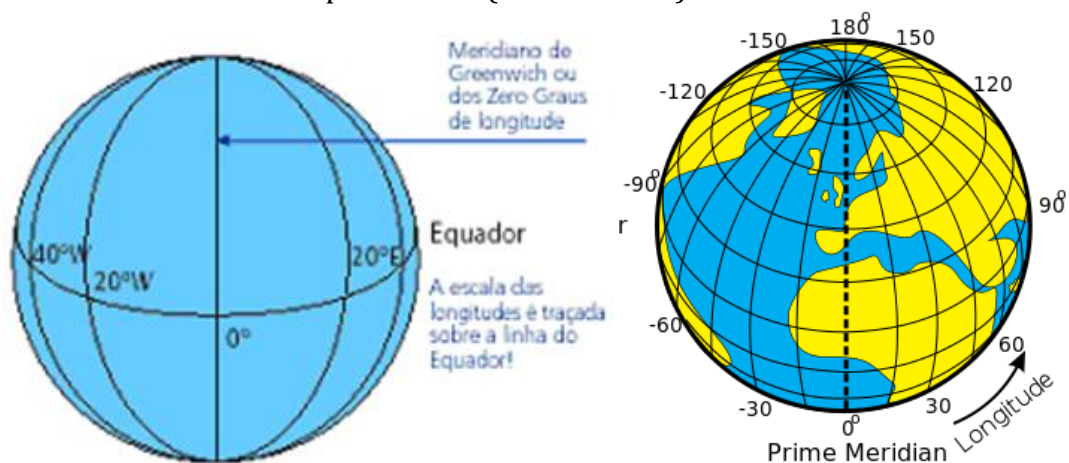


Figura 3: Visualização do Meridiano de Greenwich e distribuição dos meridianos a cada  $15^\circ$  ao longo da Terra.

(figura copiada de [3])

## 2.2. O movimento anual da Terra à volta do Sol

O movimento anual da Terra em torno do Sol é conhecido como Órbita ou Translação. É como uma grande viagem que a Terra faz todos os anos, dando uma volta completa ao redor do Sol. Esse movimento é essencial para a nossa existência, pois determina as estações do ano e influencia o clima em diferentes regiões do planeta.

Durante esse movimento anual a Terra mantém uma trajetória definida, seguindo uma órbita elíptica. Isto significa que a Terra não está sempre à mesma distância do Sol; às vezes está um pouco mais perto e outras vezes está um pouco mais longe.

A Terra roda sobre si mesma, completando uma rotação por dia, e o eixo de rotação da Terra, denominado eixo polar, forma um ângulo com a normal ao plano da órbita terrestre (denominado plano da Eclíptica). Essa inclinação é responsável pelas várias Estações do ano.

Devido ao movimento de translação da Terra em torno do Sol, a posição aparente do Sol em relação à Terra muda ao longo do ano, descrevendo uma trajetória na esfera celeste chamada Eclíptica. A Eclíptica é um círculo máximo que tem uma inclinação de  $23^{\circ}27'$  em relação ao Equador Celeste. É esta inclinação que causa as estações do ano. Na Figura 4 podemos observar o movimento anual da Terra à volta do sol.

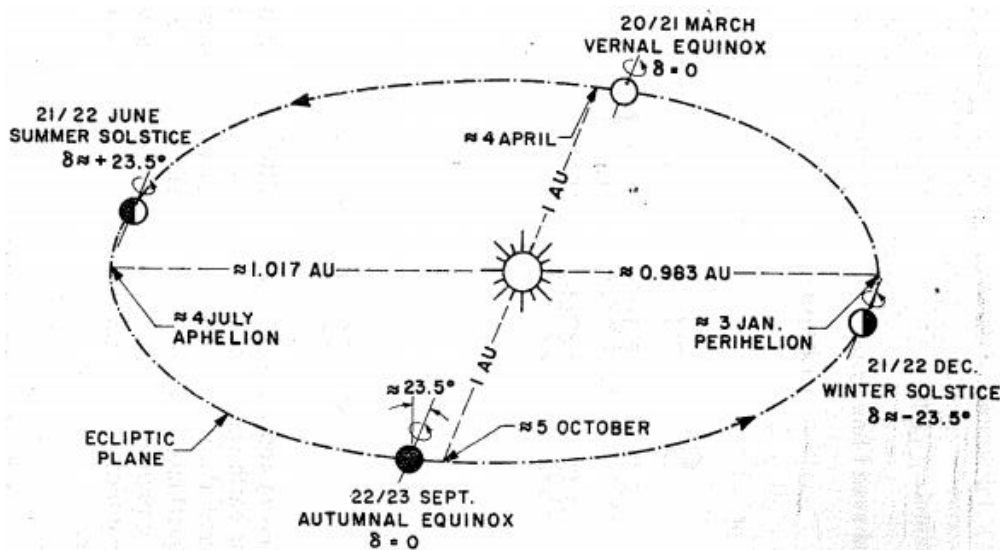


Figura 4: Movimento anual da Terra à volta do Sol (visto sob o prisma do hemisfério Norte)

(figura copiada [3])

Sabemos que a Terra assim como os demais corpos celestes não são estáticos, porquanto eles realizam movimentos. Os movimentos da Terra são responsáveis por fenômenos astronômicos, como solstícios e equinócios, a existência do dia e da noite, a contagem do ano, entre outros. Entendê-los é fundamental para compreender a complexidade e dinamismo do Universo.

A Terra realiza diversos movimentos, contudo, nem todos produzem efeito direto em nossas vidas, por isso passam despercebidos.

### 2.2.1. Distância média Sol-Terra

A distância média entre o Sol e a Terra é de aproximadamente 149,6 milhões de quilômetros, o que é conhecido como 1 UA<sup>1</sup> (uma unidade astronômica). Essa distância pode variar ligeiramente ao longo do ano devido à órbita elíptica da Terra.

Esta distância é crucial para determinar a quantidade da energia solar que a Terra recebe e, portanto, influencia diretamente o clima e as condições ambientais do nosso planeta.

A unidade astronômica (UA) é uma unidade de medida utilizada pelos cientistas para medirem, através de telescópios, distâncias dentro do sistema solar. Uma unidade astronômica corresponde, aproximadamente, à distância média entre a Terra e o Sol.

$$1 \text{ UA} = 149\,597\,890 \pm 500 \text{ km} \quad (1)$$

Conforme se pode observar na Figura 4, a distância da Terra ao Sol apenas é igual a uma unidade astronômica (1,000 UA) nos Equinócios de Outono ou da Primavera, havendo alturas em que está mais próxima (0,983 UA no Solstício de Inverno) ou que está mais longe (1,017 UA no Solstício de Verão).

A equação (2) pode ser usada para determinar a distância média da Terra ao Sol em qualquer altura do ano.

$$E_0 = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = 1.00011 \quad (2)$$

$$+ 0.034221 \cos \Gamma$$

$$+ 0.00128 \sin \Gamma$$

$$+ 0.000719 \cos(2\Gamma) + 0.000077 \sin(2\Gamma)$$

onde:

- $E_0$  Fator de correção da excentricidade da órbita da Terra (adimensional)
- $r_0$  Distância média Sol-Terra), expressa em km ( $r_0 = 149\,597\,890 \pm 500$  km)
- $r$  Distância Sol-Terra (num determinado dia/mês), expressa em km ( $\pm 500$  km)
- $\Gamma$  Ângulo do Dia (parâmetro que se explicará detalhadamente mais à frente neste texto)

O terceiro planeta a contar do Sol, a uma distância média de 149 600 000 quilômetros, é a nossa Terra. É o maior e o mais denso dos chamados planetas rochosos (Mercúrio, Vénus, Terra e Marte) e, tanto quanto se sabe, o único capaz de sustentar vida. A Terra demora vinte e quatro horas a realizar uma rotação sobre o seu eixo, entre uma aurora e outra, e essa é a duração do nosso dia.

A temperatura média na Terra é de 15°C – a temperatura de um dia primaveril – embora recentemente se tenha vindo a tornar um pouco mais quente. A maioria dos cientistas acredita que este acontecimento é o resultado da acumulação dos chamados gases de efeito de estufa na nossa atmosfera, com inúmeras consequências

---

<sup>1</sup> A Unidade Astronômica (UA), Astronomical Unit (AU) em Inglês, é uma unidade de medida utilizada pelos cientistas para medirem, através de telescópios, distâncias dentro do sistema solar.

potencialmente preocupantes a longo prazo. De todos os membros da família do Sol, a Terra é, de longe, o mais bonito, calmo e agradável.

Nota: Daqui em diante ir-se-ão usar, maioritariamente, as equações apresentadas por Muhammad Iqbal no livro "An Introduction to Solar Radiation" [4].

### 2.2.2. Dia-Número do ano

O dia-número do ano ( $d_n$ ), também conhecido como número do dia do ano, é um conceito utilizado em diversos campos, incluindo a energia solar térmica, para identificar um dia específico do ano de forma sequencial, de 1 a 365 dias.

Na energia solar térmica, o dia-número do ano é crucial para calcular a posição do Sol e a radiação solar recebida em um determinado local. Esses cálculos são essenciais para dimensionar e otimizar sistemas solares térmicos, como coletores solares e aquecedores de água.

A fórmula para calcular o dia-número do ano de uma data específica no ano pode ser visualizada na equação (3).

$$d_n = \text{dia do mês} + \left( \sum \text{dias dos meses anteriores} \right) \quad (3)$$

Por exemplo, no dia 5 de março,  $d_n = 5$  dias do mês de março + (31 dias do mês de janeiro + 28 dias do mês de fevereiro) = 64.

### 2.2.3. Ângulo do dia

O Ângulo do dia<sup>2</sup> ( $\Gamma$ ) é uma medida angular que varia ao longo do ano, desempenhando um papel crucial no cálculo da posição do Sol e na quantidade de radiação solar recebida por um ponto na superfície da Terra. Este conceito é especialmente relevante para sistemas de energia solar térmica, onde a eficiência de captura de energia depende da posição relativa do sol.

O Ângulo do dia ( $\Gamma$ ), sabendo que a variável temporal ( $d_n$ ) está referente aos dias julianos presentes em cada ano, pode ser calculado pela equação (4).

$$\Gamma [\text{graus}] = \frac{360 (d_n - 1)}{365} \quad (4)$$

Caso se pretenda ter em conta que um ano completo corresponder a 365 dias e 6 horas, então poder-se-á recorrer à equação (5).

$$\Gamma [\text{graus}] = \frac{360 (d_n - 1)}{365,242} \quad (5)$$

### 2.2.4. Declinação solar

A declinação solar ( $\delta$ ) refere-se ao ângulo entre a direção do Sol e o plano do equador celeste.

---

<sup>2</sup> Day Angle em inglês.

Na Figura 5 podemos observar o movimento aparente do sol, esfera celeste e ângulo da declinação solar.

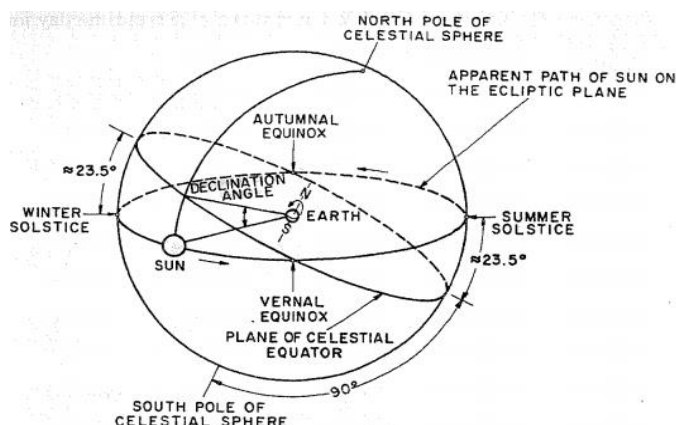


Figura 5: Movimento aparente do sol, esfera celeste e ângulo da declinação Solar.

(figura copiada de [3])

Este ângulo varia ao longo do ano devido à inclinação do eixo da Terra em relação à sua órbita em torno do Sol.

Os valores limites da declinação solar referem-se aos extremos Norte e Sul que o Sol atinge durante o ano. No Solstício de Verão, a declinação solar atinge o seu valor máximo, situando-se no Hemisfério Norte. Por outro lado, no Solstício de inverno, atinge o seu valor mínimo, estando no Hemisfério Sul.

Em termos numéricos, o valor máximo da declinação solar é  $+23,45^\circ$  (Solstício de Verão no Hemisfério Norte e Solstício de Inverno no Hemisfério Sul) enquanto o valor mínimo é de  $-23,45^\circ$  (Solstício de Inverno no Hemisfério Norte e Solstício de Verão no Hemisfério Sul). Estes valores são importantes para determinar a posição do Sol no céu ao longo do ano e têm implicações em várias áreas, como na agricultura, navegação e energia solar.

A declinação solar ( $\delta$ ), pode ser expressa pela equação (6).

$$\begin{aligned} \delta = & (0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) \\ & - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \sin(2\Gamma) \\ & - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \sin(3\Gamma)) \times \left(\frac{180}{\pi}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

onde:

$\delta$  Declinação solar, expressa em graus

Como se verá de seguida, a declinação solar está intrinsecamente ligada aos fenómenos astronómicos Solstícios e Equinócios que ocorrem em datas diferentes e que marcam o início das estações do ano.

### 2.2.5. Equinócios e Solstícios

Equinócios e Solstícios marcam o início das estações do ano e estão relacionados à incidência dos raios solares e à inclinação da Terra. Em virtude do eixo de rotação da

Terra e sua posição em relação ao Sol, a incidência de luz sobre os hemisférios é diferente. Esses fenômenos astronômicos representam, então, o movimento aparente do Sol e ambos ocorrem duas vezes por ano em cada hemisfério.

Existem dois equinócios e dois solstícios em um ano.

Os equinócios ocorrem quando o Sol cruza a linha do equador, tornando o dia e a noite de duração igual em todos os lugares da Terra. Isso marca o início da primavera e do outono.

Os solstícios, por outro lado, ocorrem quando o Sol atinge sua posição mais ao norte (solstício de verão) ou mais ao sul (solstício de inverno) em relação à linha do equador. No solstício de verão, o hemisfério norte está inclinado em direção ao Sol.

Esses eventos são importantes para agricultura, navegação e até mesmo em muitas culturas, têm significados simbólicos e religiosos.

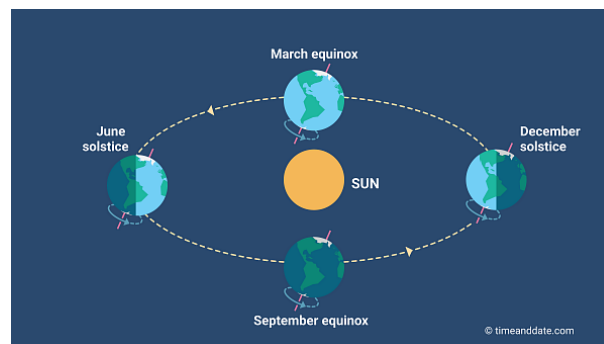


Figura 6: Equinócios e Solstícios: Posições da Terra e efeitos na duração do dia e da noite  
(figura copiada de [2])

## Equinócios

Os Equinócios representam o posicionamento médio do Sol em relação à Terra, isto é, nenhum dos hemisférios está inclinado em relação ao Sol, incidindo seus raios diretamente sobre a Linha do Equador, iluminando, então, igualmente os dois hemisférios, conforme se pode visualizar na Figura 7. Dito de outra forma, nos Equinócios a Declinação Solar  $\delta = 0^\circ$ .

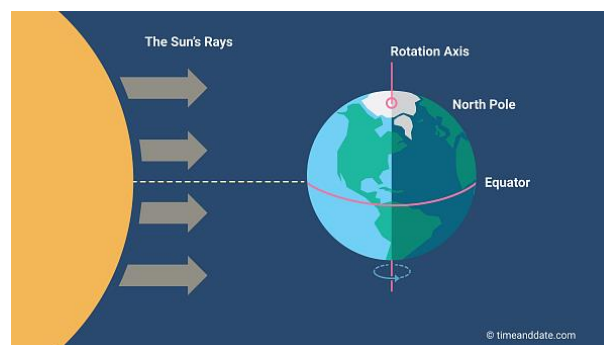


Figura 7: Incidência perpendicular dos raios solares no Equador  
(figura copiada de [2])

Esse fenômeno ocorre em dois momentos do ano: em março e em setembro. A ocorrência do equinócio dá início à primavera e ao outono. Em razão da mesma intensidade dos raios solares em ambos os hemisférios, os dias e as noites possuem a mesma duração.

Na Tabela 1 apresentam-se as datas em que ocorrem os Equinócios de Primavera e de Outono, tanto no Hemisfério Norte como no Hemisfério Sul.

Tabela 1: Data e características dos Equinócios da Primavera e do Outono

<b>Hemisfério Norte</b>	<b>Hemisfério Sul</b>
Equinócio de Primavera 20 ou 21 de março	Equinócio de Primavera 22 ou 23 de setembro
Equinócio de Outono 22 ou 23 de setembro	Equinócio de Outono 20 ou 21 de março

### **Solstícios**

O Solstício representa o posicionamento do Sol em seu limite máximo, isto é, o Sol estará em seu auge ao norte ou ao sul. Essa maior declinação do Sol em relação à Linha do Equador tem como consequência a maior iluminação de um dos hemisférios. Esse fenômeno ocorre em dois momentos do ano: em junho e em dezembro.

- Quando a inclinação do eixo Norte-Sul da Terra atinge o valor  $\delta = +23,45^\circ$ , i.e., quando o Hemisfério Norte está totalmente voltado para o Sol (Figura 8, lado esquerdo), ocorre o Solstício de Verão no Hemisfério Norte, enquanto ocorre o Solstício de Inverno no Hemisfério Sul. Contudo, convém lembrar que, de acordo com o que foi dito anteriormente, nesse momento a distância da Terra ao Sol é a maior de todas (1,017 UA) diminuindo fortemente a radiação incidente;
- Quando a inclinação do eixo Norte-Sul da Terra atinge o valor  $\delta = -23,45^\circ$ , i.e., quando é o Hemisfério Sul a estar totalmente voltado para o Sol (Figura 8, lado direito), ocorre o Solstício de Verão no Hemisfério Sul, ocorrendo então o Solstício de Inverno no Hemisfério Norte. Pelas razões apresentadas anteriormente nesse momento a distância da Terra ao Sol é a menor de todas (0,983 UA) pelo que a radiação incidente no hemisfério sul vai ser muito maior do que a radiação incidente no hemisfério Norte quando do Solstício de Verão.

Para além do que já foi dito, ainda há a referir que o Solstício de Verão é caracterizado por ter os dias mais longos do que as noites. Por sua vez, no Solstício de Inverno, as noites são mais longas do que os dias.

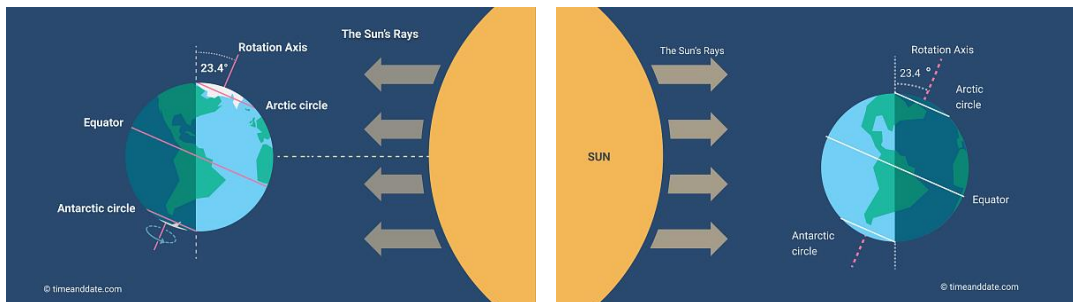


Figura 8: Solstício de Verão (esq.); Solstício de Inverno (dir.)

(figura copiada de [2])

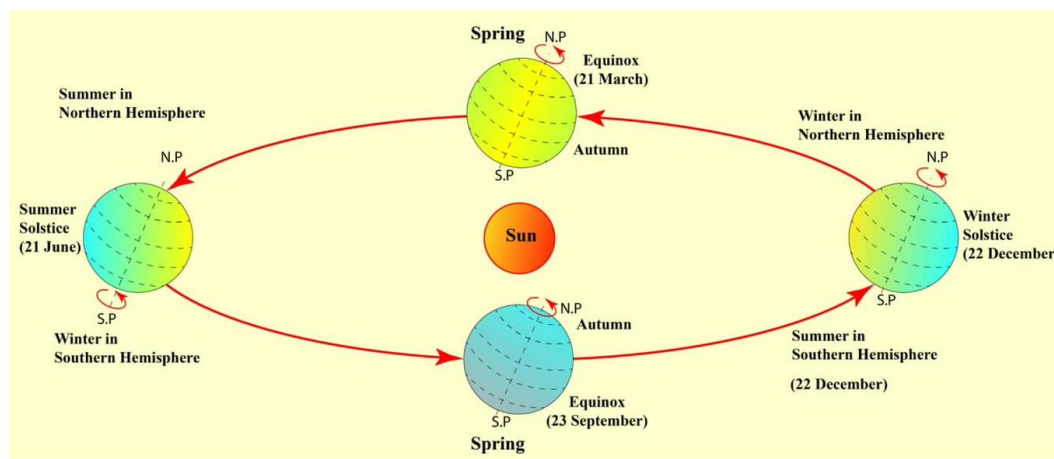


Figura 9: Inclinação da Terra em relação ao Sol ao longo de todo o ano

(figura copiada de [5])

Na Tabela 2 apresentam-se as datas em que ocorrem os Solstícios de Verão e de Inverno, tanto no Hemisfério Norte como no Hemisfério Sul.

Tabela 2: Datas e características dos Solstícios de verão e inverno

<b>Hemisfério Norte</b>	<b>Hemisfério Sul</b>
Solstício de Verão (o Sol incide perpendicularmente sobre o Trópico de Câncer) 20 ou 21 de junho	Solstício de Verão (o Sol incide perpendicularmente sobre o Trópico de Capricórnio) 20 ou 21 de dezembro
Solstício de Inverno (o Sol incide perpendicularmente sobre o Trópico de Capricórnio) 20 ou 21 de dezembro	Solstício de Inverno (o Sol incide perpendicularmente sobre o Trópico de Câncer) 20 ou 21 de junho

### 2.2.6. Hora Local

A Hora Local ou Hora Legal (**HL**) refere-se ao tempo oficial estabelecido para uma região específica, baseado em fusos horários padronizados. Este conceito é fundamental no contexto de sistemas solares térmicos, pois é usado para sincronizar a

operação dos equipamentos de captação de energia solar com o ciclo diário de luz solar, garantindo eficiência e eficácia na coleta de energia.

### 2.2.7. Fusos Horários

Os fusos horários são divisões da Terra em regiões onde a hora oficial é a mesma. Eles são baseados na rotação da Terra e estão geralmente a uma hora de diferença uns dos outros, embora existam exceções.

Devido ao seu movimento de rotação (movimento da Terra ao redor de um eixo imaginário, que a atravessa de um Pólo a outro, no sentido do Oeste para o Leste), a Terra apresenta dias e noites. Como resultado, diversos pontos da superfície terrestre apresentam diferenças de horários [6].

A determinação da hora parte do princípio de que a Terra é uma circunferência perfeita, medindo 360 graus, e de que a rotação terrestre dura 24 horas. Com isso, conclui-se que esse é o tempo necessário para que todos os meridianos que "cruzam" o planeta passem, num determinado momento, frente ao Sol. Dividindo-se os 360 graus da esfera terrestre pelas 24 horas de duração do movimento de rotação, resultam 15 graus. Portanto, a cada 15 graus que a Terra gira, passa-se uma hora – e cada uma dessas 24 faixas recebe o nome de fuso horário [6].

#### **Convenção dos fusos horários**

A convenção dos fusos horários utiliza o Meridiano de Greenwich como ponto de referência. Cada fuso horário é descrito como a diferença em horas em relação ao Greenwich, agora frequentemente referido como Tempo Universal.

A hora de Greenwich tornou-se a hora universal, no sentido de que é em relação a ela que se determinam os horários em outros pontos do globo terrestre. A leste de Greenwich, as horas aumentam a cada faixa de 15 graus, variando entre 0 e 12. Ao contrário, a oeste de Greenwich, as horas diminuem, em idêntica variação. O horário de Greenwich também é chamado de GMT, ou seja, Greenwich Mean Time (mean significando "média") [6].

É importante entender que essa padronização facilita as relações internacionais. No interior de um mesmo país, entretanto, esses limites não são tão rígidos. Os países podem estipular seus fusos horários a partir de suas divisões político-administrativas, que podem abranger regiões maiores ou menores do que as faixas de 15 graus [6].

Na Figura 10 podemos observar o mapa dos fusos horários mundiais com base na convenção dos meridianos.

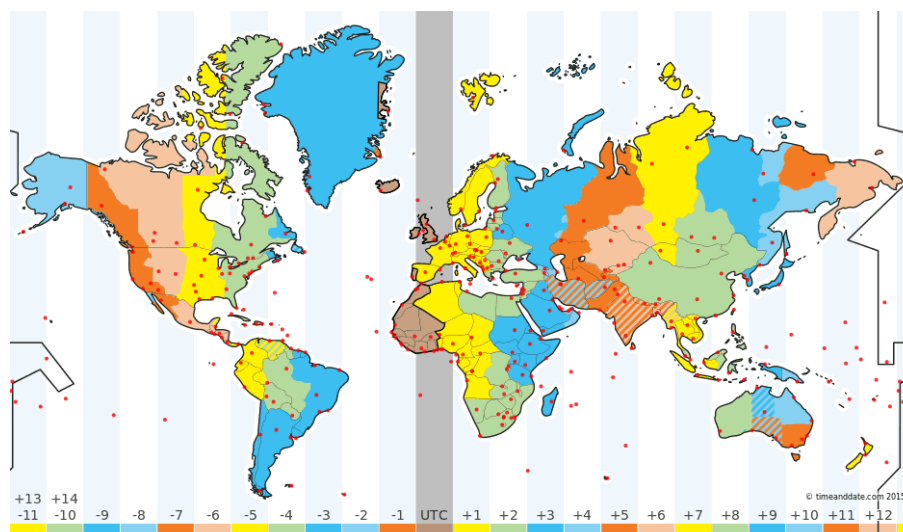


Figura 10 Mapa dos fusos horários mundiais com base na convenção dos meridianos.

(figura copiada de [2])

Quando se trata de fusos horários é habitual aparecerem, entre muitas outras, as seguintes abreviaturas:

- UTC Tempo Universal Coordenado, o padrão de tempo contra o qual todos os fusos horários são medidos;
- GMT Greenwich Mean Time, geralmente equivalente a UTC, usado especialmente no Reino Unido durante o inverno;
- EST Eastern Standard Time, horário padrão do Leste.
- EDT Eastern Daylight Time, horário de verão oriental.
- CET Central European Time, Hora Central Europeia.
- CST Central Standard Time, horário central padrão.

A Tabela 3 representa as diferenças horárias de vários países em relação a Lisboa atendendo à Hora Local.

Tabela 3: Diferenças horárias em relação a Lisboa atendendo à Hora Local (Verão)

Europa e África		
País	Cidade ou Capital	Fuso (h)
Albânia	Tirana	+1
Alemanha	Berlim	+1
Portugal	Lisboa	0
Portugal	Ilha de Açores	-1
Espanha	Madrid	+1
Espanha	Ilha das Canárias	0
Grécia	Atenas	+2
Geórgia	Tbilisi	+4
Guiné-Bissau	Bissau	0
África de sul	Cidade do Cabo	+2
Angola	Luanda	+1
Moçambique	Maputo	+2

### 2.2.8. Horário de Verão

Muitos países adotam o designado “Horário de Verão”<sup>3</sup>, ajustando os relógios uma hora à frente durante os meses mais quentes para aproveitar melhor a luz do dia. As abreviaturas para os fusos horários no horário de verão são frequentemente seguidas de "D" (Daylight) em vez de "S" (Standard ou Winter time).

De acordo com a legislação atual da União Europeia, o horário de verão (DST) começa no último domingo de março e termina no último domingo de outubro na maioria dos países europeus.



Figura 11: Mapa e Abreviatura dos fusos horários

(figura copiada de [2])

### 2.2.9. Equação do Tempo

A Equação do Tempo é utilizada para ajustar o tempo solar verdadeiro (ou aparente) em relação ao tempo solar médio. Essa equação é crucial para aplicações em sistemas de energia solar térmica, pois permite ajustar os sistemas de captação de energia solar para maximizar a eficiência ao longo do ano.

A Equação do Tempo pode ser expressa pela equação (6):

$$E_t = (0.000075 + 0.001868 \times \cos(\Gamma) - 0.032077 \times \sin(\Gamma) - 0.014615 \times \cos(2\Gamma) - 0.04089 \times \sin(2\Gamma)) \times (229.18) \quad (7)$$

onde:

$E_t$  Equação do Tempo, expressa em minutos.

### 2.2.10. Tempo Solar Verdadeiro

O Tempo Solar Verdadeiro (**TSV**) refere-se ao tempo medido diretamente pela posição do Sol no céu em um determinado local. É o tempo que seria indicado por um relógio

<sup>3</sup> Daylight Saving Time (DST) em inglês.

solar, onde o meio-dia solar verdadeiro ocorre quando o Sol está no ponto mais alto do céu, alinhado com o meridiano local. Este conceito é fundamental para otimizar a eficiência dos sistemas solares térmicos, que dependem da orientação precisa em relação ao Sol para captar a máxima energia possível. Ao utilizar o tempo solar verdadeiro, engenheiros e operadores podem ajustar os coletores solares com precisão, garantindo que estejam sempre alinhados com a posição real do sol. Isso maximiza a captação de energia solar e melhora a eficiência geral dos sistemas solares térmicos.

O Tempo Solar Verdadeiro (TSV) pode ser calculado a partir do conhecimento prévio da Hora Local (HL) através da equação (8):

$$\text{TSV} = \text{HL} + \frac{4 \times (\text{L}_{\text{Local}} - \text{L}_{\text{Ref}}^{\text{a}})}{60} + \frac{\text{Et}}{60} \quad (8)$$

e a conversão de Hora Local (HL) para Tempo Solar Verdadeiro (TSV) pode ser efetuada por recurso a:

$$\text{HL} = \text{TSV} - \frac{4 \times (\text{L}_{\text{Local}} - \text{L}_{\text{Ref}}^{\text{a}})}{60} - \frac{\text{Et}}{60} \quad (9)$$

onde:

HL Hora Local, expressa em horas.

$\text{L}_{\text{Local}}$  Longitude local, expressa em graus.

$\text{L}_{\text{Ref}}^{\text{a}}$  Longitude de referência, expressa em graus.

$\text{Et}$  Equação do Tempo, expressa em minutos.

### 2.3. Coordenadas da posição do Sol durante o seu movimento aparente diário

De acordo com [4] é possível determinar com alguma precisão a posição do Sol durante o seu movimento aparente diário.

As principais coordenadas utilizadas para descrever a posição do Sol no céu são:

- Declinação solar ( $\delta$ );
- Altura solar ( $\alpha$ );
- Ângulo de zénite solar ( $\theta_z$ );
- Azimute solar ( $\psi$ ).

#### 2.3.1. Altura Solar e Ângulo de Zénite Solar

A Altura Solar ( $\alpha$ ) é o ângulo entre o Sol e o horizonte e é calculada usando a latitude do local ( $\phi$ ), a declinação solar ( $\delta$ ) e o ângulo horário ( $\omega$ ):

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega] \quad (10)$$

onde:

- $\alpha$  Altura solar, expresso em graus  
 $\delta$  Declinação solar, expressa em graus  
 $\phi$  Latitude, expresso em graus  
 $\varpi$  Ângulo horário, expresso em graus

O Ângulo de Zênite Solar ( $\theta_z$ ) é uma medida essencial na análise de radiação solar e descreve o ângulo entre o Sol e o ponto diretamente acima (o zênite) no céu. Em termos práticos, o Ângulo de Zênite Solar é o complemento da altura solar ( $\alpha$ ) anteriormente referido:

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha \quad (11)$$

ou então:

$$\theta_z = \cos^{-1}[\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \varpi] \quad (12)$$

onde:

$\theta_z$  Ângulo de zênite solar, expresso em graus

### 2.3.2. Ângulo de Azimute Solar

O Ângulo de Azimute Solar ( $\psi$ ) é o ângulo do Sol em relação ao norte, medido ao longo do horizonte, sendo calculado com base na altura solar ( $\alpha$ ), declinação solar ( $\delta$ ) e latitude ( $\phi$ ):

Na Figura 12 estão ilustrados os ângulos solares.

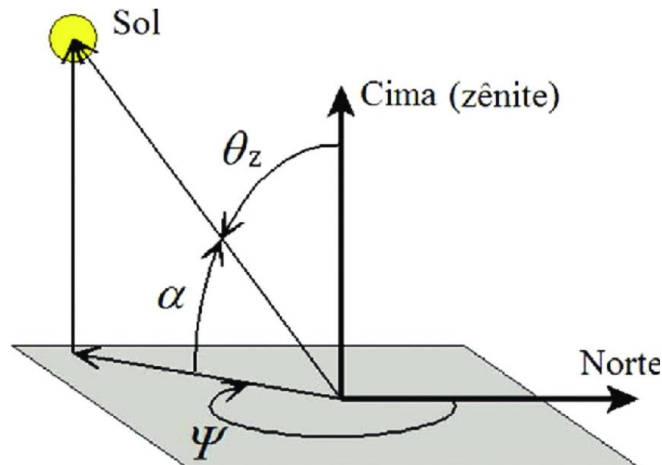


Figura 12: Ilustração dos ângulos solares

(figura copiada de [7])

Para este referencial teremos que  $0^\circ \leq \psi \leq 360^\circ$  e que:

- $\psi = 0^\circ$  (Norte)
- $\psi = 90^\circ$  (Este)
- $\psi = 180^\circ$  (Sul)

–  $\psi = 270^\circ$  (Oeste)

Contudo, se em vez do Norte se pretender usar o Sul como referência, deveremos usar a equação seguinte retirada de [4]:

$$\psi = \cos^{-1} \left( \frac{\sin \alpha \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cdot \cos \phi} \right) \quad (13)$$

onde:

$\psi$  Ângulo de azimute solar, expresso em graus

Para este referencial teremos que  $-180^\circ \leq \psi \leq +180^\circ$  e a seguinte convenção:

- $\psi > 0^\circ$  (Este)
- $\psi = 0^\circ$  (Sul)
- $\psi < 0^\circ$  (Oeste)

### 2.3.3. Ângulo Horário

O Ângulo Horário ( $\omega$ ) é uma medida da deslocação angular do Sol em relação ao meridiano do local.

O ângulo horário é considerado nulo ( $\omega = 0^\circ$ ) ao meio-dia solar (TSV = 12h00), variando  $15^\circ$  em cada hora.

De acordo com [4], o ângulo horário obedece à seguinte convenção:

- TSV < 12h00 (manhãs):  $\omega > 0^\circ$
- TSV = 12:00 (meio-dia solar):  $\omega = 0^\circ$
- TSV > 12h00 (tarde):  $\omega < 0^\circ$

Contudo há que referir que Iqbal [4] utilizou uma convenção oposta à atual no que concerne ao sinal positivo ou negativo das longitudes. Assim, face à convenção utilizada neste relatório – com Longitudes positivas a Oeste de Greenwich e Longitudes negativas a Este de Greenwich – teremos de utilizar:

- TSV < 12h00 (manhãs):  $\omega < 0^\circ$
- TSV = 12:00 (meio-dia solar):  $\omega = 0^\circ$
- TSV > 12h00 (tarde):  $\omega > 0^\circ$

Na Figura 13 está a ilustração da convenção utilizada neste trabalho para o ângulo horário  $\omega$ .

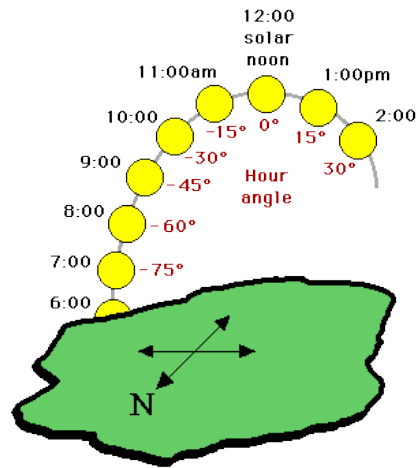


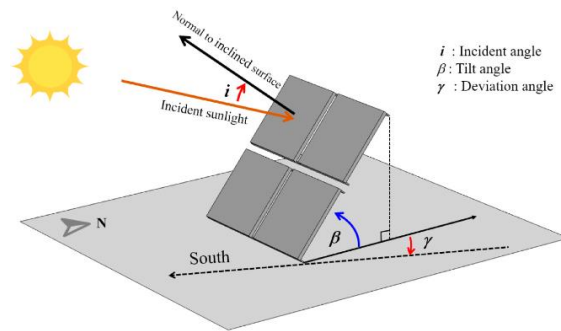
Figura 13: Ilustração da convenção utilizada em [4] para o ângulo horário  $\omega$ .

(figura copiada de [3])

Daqui em diante entender-se-á por Superfície Coletora Solar, ou simplesmente Superfície Coletora, uma superfície plana sob a qual incidem os raios solares, sendo indiferente que a mesma se destine à produção de água quente (coletor solar térmico) ou à produção de energia elétrica (coletor solar fotovoltaico).

#### 2.3.4. Inclinação da Superfície Coletora

Define-se a inclinação da superfície coletora ( $\beta$ ) como sendo o ângulo entre a superfície coletora e o plano horizontal.



(figura copiada de [8])

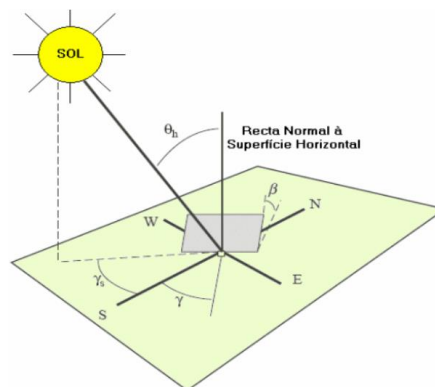


Figura 14: Inclinação e orientação da superfície coletora

(figura copiada de [9])

A inclinação da superfície coletora varia entre  $0^\circ < \beta < 90^\circ$ , sendo que:

- $\beta = 0^\circ$  quando a superfície coletora está na posição horizontal;
- $\beta = 90^\circ$  quando a superfície coletora está na posição vertical;

O ângulo de inclinação da superfície coletora vai depender da latitude do local, sendo recomendadas inclinações diferentes dependendo da altura do ano em que o sistema é utilizado. Na Tabela 4 encontram-se as inclinações recomendadas em função da latitude do local para utilizações em diferentes períodos do ano.

Tabela 4: Inclinação de referência para coletores

Período de utilização	Ângulo de inclinação recomendado
Inverno	$\beta = \text{Latitude do local} + 15^\circ$
Verão	$\beta = \text{Latitude do local} - 15^\circ$
Todo o ano	$\beta = \text{Latitude do local} - 5^\circ$

### 2.3.5. Orientação da Superfície Coletora

Quando a superfície coletora está inclinada em relação ao plano horizontal (i.e.,  $\beta > 0^\circ$ ), pode-se definir a orientação da mesma em relação a um referencial através de um parâmetro designado de Ângulo de Azimute da superfície ( $\gamma$ ), que é o ângulo que a projeção no plano horizontal duma perpendicular da superfície faz em relação ao eixo Norte-Sul.

No caso das superfícies coletoras estarem localizadas no hemisfério Norte, as mesmas devem estar orientadas a Sul, i.e., voltadas para o Equador. Já no caso das superfícies coletoras estarem localizadas no hemisfério Sul, as mesmas também devem estar voltadas para o Equador, mas isso já significa que estarão orientadas a Norte.

Voltando às superfícies coletoras localizadas no hemisfério Norte, pode-se estabelecer que  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$  e que:

- Superfície coletora virada para Este:  $\gamma > 0^\circ$
- Superfície coletora virada para Sul:  $\gamma = 0^\circ$
- Superfície coletora virada para Oeste:  $\gamma < 0^\circ$

## 2.4. Relações trigonométricas para coletores horizontais ( $\beta \neq 0^\circ$ ; $\gamma = 0^\circ$ )

As relações trigonométricas para coletores horizontais, onde a inclinação  $\beta = 0^\circ$  e a orientação  $\gamma = 0^\circ$ , são fundamentais para calcular a radiação solar incidente sobre esses coletores. A análise da radiação solar envolve diversas relações e conceitos trigonométricos.

### 2.4.1. Ângulo horário de Nascer do Sol

O ângulo horário de nascer do Sol ( $\omega_{sr}$ ) é o ângulo horário quando o Sol está no horizonte durante o nascer do sol.

Segundo [4], para uma superfície horizontal, o ângulo horário de nascer do Sol é expresso pela equação (15):

$$\omega_{sr} = \cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi) \quad (14)$$

onde:

$\omega_{sr}$  Ângulo horário de nascer do sol, expresso em graus

$$\omega_{sr} = -\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi) \quad (15)$$

Nota: Ao longo do presente texto, cada vez que numa equação aparecer um sinal negativo, assinalado a vermelho, tal será devido à diferença de convenção de sinais das longitudes usadas por [3] em relação ao convencionado por [4].

### 2.4.2. Ângulo horário de Pôr do Sol

O ângulo horário de pôr do Sol ( $\omega_{ss}$ ) é o ângulo horário quando o Sol está no horizonte durante o pôr do sol.

Para uma superfície horizontal, o ângulo horário pôr do Sol é expresso pela equação (16):

$$\omega_{ss} = -\omega_{sr} \quad (16)$$

onde:

$\omega_{ss}$  Ângulo horário de pôr do sol, expresso em graus

### 2.4.3. Duração do dia

A duração do dia ( $N_d$ ), ou o número de horas de Sol acima do horizonte para uma determinada localização e data, pode ser calculada utilizando relações trigonométricas. Segundo [4], o cálculo da duração do dia para coletores horizontais envolve a determinação dos horários do nascer e do pôr do sol.

Para uma superfície horizontal, a duração do dia é expressa pela equação (17):

$$N_d = -2 \times \frac{\omega_{sr}}{15} \quad (17)$$

onde:

$N_d$  Duração do dia, expresso em horas.

### 2.4.4. Ângulo de incidência dos raios solares

O ângulo de incidência dos raios solares ( $\theta$ ) pode ser determinado pela seguinte relação trigonométrica, a qual envolve a declinação solar ( $\delta$ ), a latitude ( $\phi$ ) e o ângulo horário solar ( $\omega$ ):

O ângulo de incidência dos raios solares pode ser expresso pela equação (18):

$$\theta = \cos^{-1} \left( (\sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \beta \cos \gamma) \sin \delta + (\cos \phi \cos \beta + \sin \phi \sin \beta \cos \gamma) \cos \delta \cos \varpi + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin(-\varpi) \right) \quad (18)$$

onde:

$\theta$  Ângulo de incidência dos raios solares, expresso em graus

## 2.5. Relações trigonométricas para superfícies inclinadas ( $\beta \neq 0^\circ$ ) voltadas para o equador ( $\gamma = 0^\circ$ )

Para analisar as relações trigonométricas para superfícies inclinadas voltadas para o equador, devemos considerar as definições e fórmulas básicas associadas à radiação solar sobre essas superfícies. A convenção amplamente utilizada em estudos de energia solar para calcular a irradiação sobre superfícies com diferentes inclinações e orientações enfoca a inclinação do coletor em relação à horizontal. A análise da inclinação do coletor é crucial para otimizar a captação de energia solar ao longo do ano.

O ângulo de incidência dos raios solares em um coletor inclinado voltado para o equador pode ser calculado considerando a geometria solar e a relação entre a posição do Sol e a superfície do coletor. Este cálculo permite determinar a eficiência do coletor em diferentes dias do ano e em diferentes horários, contribuindo para a otimização da captação de energia solar.

O ângulo de incidência dos raios solares pode ser expresso pela seguinte equação (19):

$$\theta_0 = \cos^{-1}(\sin(\delta) \cdot \sin(\phi - \beta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\varpi)) \quad (19)$$

onde:

$\theta_0$  Ângulo de incidência dos raios solares num coletor voltado para o Equador, expresso em graus

### 2.5.1. Ângulo horário do nascer do Sol para um coletor inclinado e voltado para o equador

Para calcular o ângulo horário do nascer do Sol ( $\varpi'_{sr}$ ) para um coletor solar inclinado voltado para o equador, precisamos considerar alguns parâmetros importantes: a inclinação do coletor ( $\beta$ ), a latitude do local ( $\phi$ ) e a declinação solar ( $\delta$ ).

O ângulo horário do nascer do Sol para um coletor inclinado e voltado para o equador, pode ser expressa pela equação (20):

$$\varpi'_{sr} = -\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan(\phi - \beta)) \quad (20)$$

onde:

$\varpi'_{sr}$  Ângulo horário do nascer do Sol para um coletor inclinado e voltado para o equador, expresso em graus

Notas:

- Numa superfície inclinada voltada para o Equador, o ângulo horário de nascer do Sol é simétrico do ângulo horário de pôr do Sol.
- Durante o Inverno (p/ Hemisfério Norte),  $\delta < 0$ , pelo que o ângulo horário de nascer do Sol para uma superfície inclinada ( $\omega'_{sr}$ ) ficaria superior ao ângulo horário de nascer do Sol para uma superfície horizontal ( $\omega_{sr}$ ), sendo necessário estabelecer o valor mínimo entre os dois seguintes valores:

$$\omega'_{sr} = \text{mín.} \left\{ \begin{array}{l} -\text{abs}(-\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan(\phi))) \\ -\text{abs}(-\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan(\phi - \beta))) \end{array} \right. \quad (21)$$

## 2.6. Relações trigonométricas para superfícies orientadas arbitrariamente ( $\beta \neq 0^\circ$ ; $\gamma \neq 0^\circ$ )

As relações trigonométricas para superfícies orientadas arbitrariamente são utilizadas para considerar tanto a orientação ( $\gamma$ ) quanto a inclinação ( $\beta$ ) da superfície.

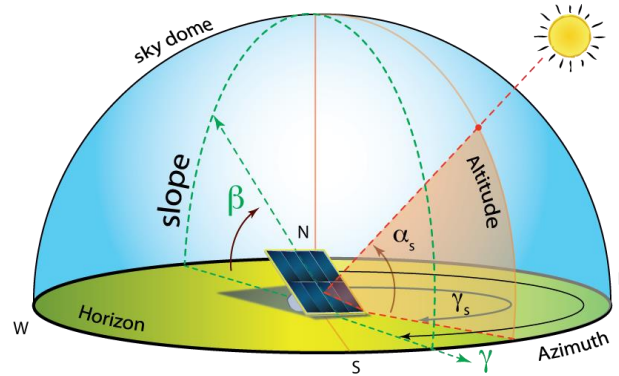


Figura 15: Superfícies coletoras com inclinação  $\beta \neq 0^\circ$  e orientação arbitrária  $\gamma \neq 0^\circ$ .

(figura copiada de [3])

O ângulo de incidência dos raios solares sobre uma superfície coletora com inclinação  $\beta \neq 0^\circ$  e que não esteja orientado exatamente para o Sul ( $\gamma \neq 0^\circ$ ) pode ser determinado quer pela equação (22), quer pela equação (23):

$$\theta_{\beta,\gamma} = \cos^{-1} \left( (\sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \beta \cos \gamma) \sin \delta \right. \\ \left. + (\cos \phi \cos \beta + \sin \phi \sin \beta \cos \gamma) \cos \delta \cos(-\omega) \right. \\ \left. + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin(-\omega) \right) \quad (22)$$

$$\theta_{\beta,\gamma} = \cos^{-1}(\cos \beta \cos \theta_z + \sin \beta \sin \theta_z \cos(\psi - \gamma)) \quad (23)$$

Embora ambas as equações possam ser utilizadas, é preferível utilizar a equação (23) pois não obriga a calcular previamente o ângulo de azimute ( $\psi$ ) e o ângulo de zênite ( $\theta_z$ ) do Sol.

Para uma superfície vertical ( $\beta = 90^\circ$ ) o ângulo de incidência ( $\theta_{90,\gamma}$ ) dos raios solares é obtido a partir da equação (24):

$$\theta_{90,\gamma} = \cos^{-1}(-\cos \phi \cos \gamma \sin \delta + \sin \phi \cos \gamma \cos \delta \cos \omega \\ + \cos \delta \sin \gamma \sin(-\omega)) \quad (24)$$

Antes de se calcular o ângulo horário de nascer do Sol ( $\omega''_{sr}$ ) ou o ângulo horário de pôr-do-Sol ( $\omega''_{ss}$ ) é preciso calcular dois parâmetros: X e Y.

$$x = \frac{\cos \phi}{\sin \gamma \tan \beta} + \frac{\sin \phi}{\tan \gamma} \quad (25)$$

$$y = \tan \delta \left( \frac{\sin \phi}{\sin \gamma \tan \beta} - \frac{\cos \phi}{\tan \gamma} \right) \quad (26)$$

Consoante o painel estiver virado para Este ou para Oeste, assim o ângulo horário de nascer do Sol ( $\omega''_{sr}$ ) e o ângulo horário de pôr-do-Sol ( $\omega''_{ss}$ ) é calculado com fórmulas diferentes uma vez que as magnitudes de  $\omega''_{sr}$  e de  $\omega''_{ss}$  não são iguais.

Recorrendo à equação (25) e à equação (26) podem-se obter expressões para dois casos opostos:

- A: Superfícies orientadas a Este
- B: Superfícies orientadas a Oeste

Tanto num como no outro caso, faz-se sempre uma comparação entre o ângulo horário de nascer do Sol de uma superfície horizontal ( $\omega_{sr}$ ) e o ângulo horário de nascer do Sol de uma superfície inclinada ( $\omega''_{sr}$ ), escolhendo-se depois para  $\omega''_{sr}$  o valor mínimo desses dois valores.

### A – Superfícies orientadas para Este

O ângulo horário de nascer do Sol para um coletor orientado a Este pode ser expresso pela equação (27) e o ângulo horário de pôr-do-sol pode ser expresso pela equação (28).

$$\omega''_{sr} = -\min \left\{ \begin{array}{l} |-\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi)| \\ \cos^{-1} \left( \frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \end{array} \right. \quad (27)$$

$$\omega''_{ss} = +\min \left\{ \begin{array}{l} |-\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi)| \\ \cos^{-1} \left( \frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \end{array} \right. \quad (28)$$

### B – Superfícies orientadas para Oeste

O ângulo horário do nascer do Sol para um coletor orientado a Oeste pode ser expresso pela equação (29), e o ângulo horário de pôr-do-sol pode ser expresso pela equação (30):

$$\omega''_{sr} = -\min \left\{ \begin{array}{l} |-\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi)| \\ \left| -\cos^{-1} \left( \frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right| \end{array} \right. \quad (29)$$

$$\omega''_{ss} = +\min \left\{ \begin{array}{l} |-\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi)| \\ \left| \cos^{-1} \left( \frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right| \end{array} \right. \quad (30)$$

A duração do dia para coletores orientados a Este e/ou a Oeste pode ser expresso pela equação (31):

$$N_d = \frac{\omega''_{sr} - \omega''_{ss}}{15} \quad (31)$$

onde:

$N_d$  duração do dia para o coletor solar, expresso em horas.

## 2.7. Sombras entre filas de coletores

Tanto em planos horizontais quanto inclinados, a gestão do sombreamento é uma preocupação central para maximizar a eficiência dos sistemas de coletores solares. O sombreamento parcial pode não apenas reduzir a quantidade de energia captada, mas também causar aquecimento desigual nos coletores, o que pode resultar em danos e diminuir a vida útil do sistema. Ferramentas de simulação solar podem ser utilizadas na fase de projeto para prever e mitigar os efeitos do sombreamento ao longo do ano. A implementação de filas de coletores bem espaçadas e corretamente orientadas, aliada a uma manutenção regular, é essencial para garantir que os sistemas solares operem com máxima eficiência e durabilidade.

Devido ao efeito de sombreamento próprio em um campo de painéis, as fileiras não devem ser posicionadas muito próximas umas das outras. Considera-se que, às 12 horas solares do dia mais curto do ano, as filas de coletores não devem projetar sombra sobre a fila que está imediatamente atrás [10].

### 2.7.1. Filas de coletores instalados num plano horizontal

A instalação de coletores solares em filas num plano horizontal requer uma análise cuidadosa para evitar o sombreamento entre os coletores, que pode reduzir significativamente a eficiência do sistema. O espaçamento adequado entre as filas é essencial para garantir que cada coletor receba a máxima quantidade de radiação solar direta durante todo o dia. Um fator crítico a ser considerado é o ângulo de elevação solar, que varia ao longo do ano. Para minimizar o sombreamento, os coletores devem ser espaçados de modo que a sombra projetada pela fila anterior não cubra a fila seguinte durante as horas de maior incidência solar. Além disso, a manutenção regular,

como a limpeza das superfícies dos coletores e a remoção de obstáculos potenciais, é vital para manter o desempenho ótimo do sistema. O *layout* horizontal é frequentemente escolhido por sua facilidade de instalação e manutenção, especialmente em grandes áreas abertas e telhados planos.

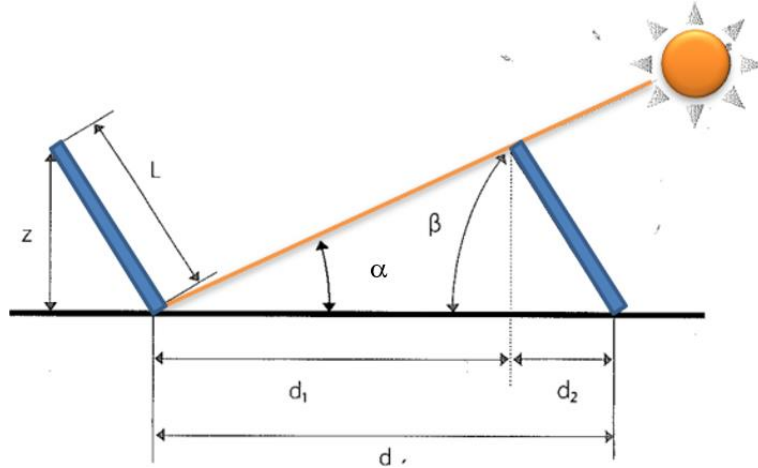


Figura 16: Distância de sombreamentos entre fileiras de coletores solares (Horizontal)  
(figura adaptada de [3])

A distância de filas entre o coletor horizontal é expressa pela equação (32)

$$\mathbf{d} = d_1 + d_2 = \frac{Z}{\tan(\alpha)} + \frac{Z}{\tan(\beta)} \quad (32)$$

ou então pela equação (34):

$$\mathbf{d} = L \times \left( \frac{\sin \beta}{\tan \alpha} + \cos \beta \right) \quad (33)$$

onde:

- d** Distância entre fileiras de coletores, expresso em metros
- L** Altura do coletor solar, expresso em metros
- β** Inclinação do coletor solar, expresso em graus
- α** Altura solar, expresso em graus

Sobre este assunto convém apresentar algumas notas adicionais:

- No dia mais desfavorável do período de utilização o equipamento não deve ter mais do 5% da superfície útil de captação coberta por sombras. Resultaria praticamente inoperante se 20% da superfície estivesse sombreada.
- Durante o mês de dezembro e na primeira metade de janeiro, mesmo tendo respeitado os distanciamentos entre filas ou obstáculos, poder-se-ão produzir sombras no início e no final do dia. No entanto, esta situação não é grave para a resposta do sistema.

- Se as instalações forem utilizadas durante o período invernal e se não existirem dificuldades com o espaço existente, recomenda-se o aumento da distância em 25%.
- Como regra geral, considerando a latitude de Portugal Continental, para instalações em superfícies planas horizontais, pode-se recorrer a um método expedito, considerando um afastamento que seja sempre igual ou superior a duas vezes a altura do obstáculo.

### 2.7.2. Filas de colectores instalados num plano inclinado

A instalação de coletores solares em filas num plano inclinado oferece uma abordagem eficaz para reduzir o sombreamento e melhorar a captação de energia solar. Em terrenos inclinados ou telhados inclinados, os coletores podem ser posicionados de forma que o ângulo de inclinação otimizado permita a máxima exposição à luz solar direta, minimizando a sombra projetada entre as filas. O ângulo de inclinação deve ser ajustado de acordo com a latitude do local para maximizar a eficiência ao longo do ano. Esse arranjo é particularmente vantajoso em regiões com espaço limitado, pois permite uma utilização mais eficiente do terreno ou da superfície do telhado. Além disso, a configuração inclinada facilita o escoamento de água da chuva e neve, mantendo as superfícies dos coletores limpas e operacionais. A estrutura de suporte deve ser projetada para resistir a condições climáticas adversas, garantindo a estabilidade e a durabilidade do sistema.

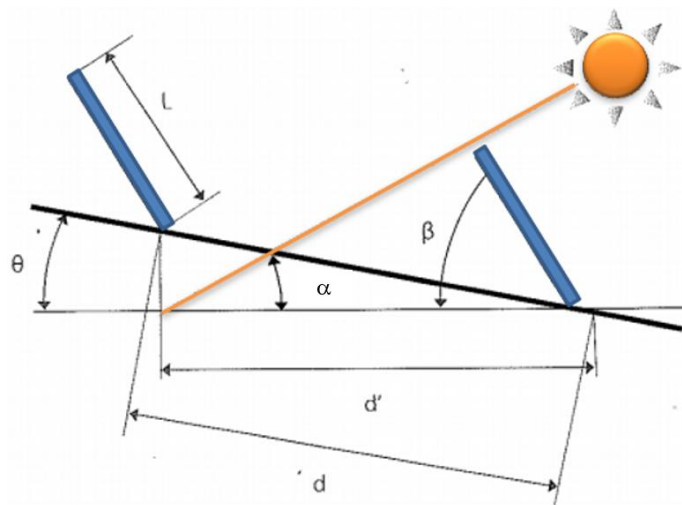


Figura 17: Distância de sombreamento entre fileiras de coletores solares (inclinado)

(figura copiada de [3])

A distância de filas entre o coletor num plano inclinado é expressa pela equação (34)

$$\mathbf{d'} = L \times \left( \frac{\sin(\beta - \theta)}{\tan(\alpha + \theta)} + \cos(\beta - \theta) \right) \quad (34)$$

ou então pela equação (35)

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{d'}}{\cos \theta} \quad (35)$$

# Capítulo 3

## Calculadora Solar “GUI+POR SOLAR”

### 3. Calculadora “GUI+POR SOLAR”

Antes de detalhar os objetivos da calculadora “GUI+POR SOLAR”, é apropriado apresentar a imagem da capa descrevendo-se a seguir as funcionalidades da calculadora de maneira abrangente.

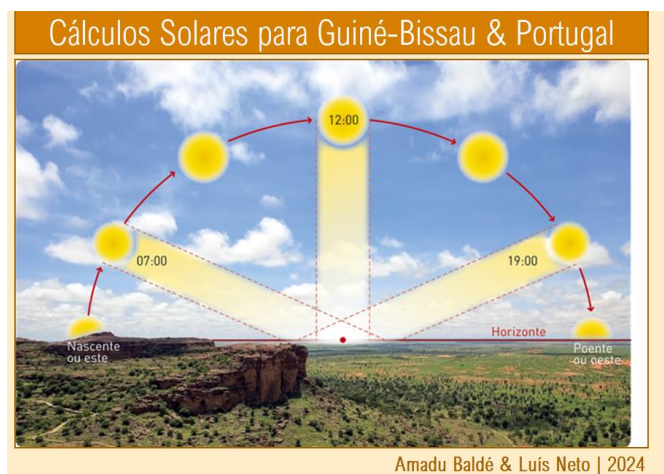


Figura 18: Ilustração da capa da calculadora “GUI+POR SOLAR”.

A interface gráfica da calculadora inclui instruções de uso essenciais para que o utilizador possa operar o dispositivo corretamente, tal como ilustrado na Figura 19.









Gui+Por Solar™ Programa de Cálculos Solares para Guiné-Bissau & Portugal	
INSTRUÇÕES DE UTILIZAÇÃO	
<b>Pais</b>	Seleção do País (Portugal ou Guiné-Bissau) onde vão ser efectuados os cálculos solares.
<b>Distrito</b>	Seleção do Distrito/Região onde vão ser efectuados os cálculos solares.
<b>Localidade</b>	Seleção da Localidade onde vão ser efectuados os cálculos solares.
<b>Data</b>	Introdução da Data pretendida no formato dia/mês ou dia/mês/ano. (em alternativa, pode clicar no símbolo do calendário para introdução da data atual)
<b>Hora</b>	Introdução da Hora pretendida no formato hh:mm. (em alternativa, pode clicar no símbolo do relógio para introdução da hora atual)
<b>Colector Horizontal</b>	Apresentação dos resultados obtidos para um Colector Horizontal, face às condições especificadas.
<b>Inclinação &amp; Orientação</b>	Introdução da Inclinação (em relação ao plano horizontal) e da Orientação (em relação ao Sul) do Colector Solar.
<b>Colector Inclinado</b>	Apresentação dos resultados obtidos para um Colector Inclinado e Orientado, face às condições especificadas.
<b>Distância entre colectores</b>	Seleção da Marca/Modelo de Colector e determinação da Distância entre filas de colectores (distância mínima e distância recomendável para período invernal).
Para efeitos legais, declina-se qualquer responsabilidade sobre os resultados obtidos.	

Os símbolos desencadeiam as seguintes ações:	
	Retorno ao início do processo de cálculo.
	Avançar para a folha seguinte.
	Retroceder para a folha anterior.
	Reset & AutoZoom
	Introduz Data atual
	Introduz Hora atual
	Introduz Data & Hora atual
	Reset & AutoZoom

Figura 19: Instruções de uso da interface gráfica da calculadora

Os símbolos que se encontram nas instruções de uso da “GUI+POR SOLAR” foram concebidos para facilitar a navegação e o uso da calculadora, permitindo ao utilizador ações como retroceder ou avançar, reiniciar os dados bem como inserir automaticamente dados como a data e a hora vigente no momento. Cada símbolo é intuitivo, representando uma função específica no processo de design, o que torna a interação com a ferramenta mais eficiente e acessível. A seguir, são descritos os símbolos e suas respetivas funcionalidades.

-  **Retorno ao início do processo de cálculo:** Ao clicar sobre este símbolo a calculadora regressa à primeira página, ou seja, ao início do programa de cálculos solares.
-  **Avançar para a folha seguinte:** Ao clicar sobre este símbolo o processo de cálculo avança para a próxima etapa.
-  **Retroceder para a folha anterior:** Ao clicar sobre este símbolo o processo de cálculo retrocede para a etapa anterior.
-  **Reset & AutoZoom:** Ao clicar sobre este símbolo a calculadora efectua um “reset” aos dados que eventualmente tenham sido introduzidos pelo utilizador e faz um ajuste automático ao zoom de modo a preencher o écran.
-  **Introduz data atual:** Ao clicar sobre este símbolo a calculadora introduz automaticamente a data atual.
-  **Introduz hora atual:** Ao clicar sobre este símbolo a calculadora introduz automaticamente a hora atual.
-  **Introduz data & hora atual:** Ao clicar sobre este símbolo a calculadora introduz automaticamente a data e a hora atual.
-  **Reset & AutoZoom:** Ao clicar sobre este símbolo a calculadora efectua um “reset” aos dados que eventualmente tenham sido introduzidos pelo utilizador e faz um ajuste automático ao zoom de modo a preencher o écran.

### 3.1. Objetivos da Calculadora “GUI+POR SOLAR”

A calculadora “GUI+POR SOLAR” foi desenvolvida em Excel para facilitar o planeamento de sistemas solares, fundamentada em relações astronómicas e parâmetros solares. A calculadora realiza cálculos detalhados utilizando a posição do Sol, dia número do ano, a equação do tempo, o ângulo do dia, a hora local, o tempo solar verdadeiro, a altura solar, a declinação solar, duração do dia ou melhor cálculos solares, com base nas fórmulas expressas em [4], devidamente adaptadas por [3].

A calculadora foi desenvolvida para permitir que os utilizadores insiram informações relevantes, tais como país, distrito, localidade, data e hora, a fim de realizar cálculos solares precisos. No contexto desses cálculos, a calculadora consegue determinar se se está no Horário de Inverno ou no Horário de Verão, porém essa funcionalidade é aplicável apenas a Portugal.

### 3.2. Abrangência (países, regiões, cidades)

A calculadora “GUI+POR SOLAR” foi projetada para ser utilizada em dois países:

- Portugal
- Guiné-Bissau

abrangendo os respetivos Distritos (Portugal) ou Regiões (Guiné-Bissau), conforme se detalha na Tabela 5.

Tabela 5: Distritos de Portugal e Regiões da Guiné-Bissau

<b>PORTUGAL</b> <b>Distritos</b>	<b>GUINÉ-BISSAU</b> <b>Regiões</b>
Aveiro	Bafatá
Beja	Biombo
Braga	Bissau
Bragança	Bolama
Castelo Branco	Cacheu
Coimbra	Gabú
Évora	Oio
Faro	Quinara
Guarda	Tombali
Leiria	
Lisboa	
Portalegre	
Porto	
Santarém, Portugal	
Setúbal	
Viana do Castelo	
Vila Real	
Viseu	
R. A. Madeira	
R. A. Açores	

Apesar da “GUI+POR SOLAR” estar restrita aos dois países acima mencionado, a qualquer momento ela pode ser alargada a mais países, desde que os dados dos mesmos sejam nela inseridos.

### 3.2.1. Distritos de Portugal com as respetivas localidades e coordenadas geográficas

A título de exemplo, na Tabela 6 apresenta-se um quadro contendo as localidades e respetivas coordenadas geográficas de um dos distritos de Portugal, nomeadamente Aveiro.

No Anexo I apresenta-se a totalidade dos Distritos, Localidades e Coordenadas Geográficas consideradas para Portugal.

Tabela 6: Distritos de Portugal com as respetivas localidades e coordenadas geográficas

Distrito	Localidade	Latitude	Longitude
Aveiro	Águeda	40,5785006°	-8,4438017°
	Albergaria-a-Velha	40,6906888°	-8,4792205°
	Anadia	40,4426833°	-8,4359581°
	Aveiro	40,6404960°	-8,6537841°
	Esmoriz	40,9602526°	-8,6228198°
	Espinho	41,0083643°	-8,6394111°
	Estarreja	40,7523494°	-8,5703455°
	Fiães	40,9945859°	-8,5247192°
	Ílhavo	40,6001108°	-8,6666667°
	Lourosa	40,9835410°	-8,5499188°
	Mealhada	40,3792003°	-8,4517733°
	Oliveira de Azeméis	40,8390118°	-8,4777807°
	Oliveira do Bairro	40,5138208°	-8,4928163°
	Ovar	40,8594819°	-8,6252174°
	Santa Maria da Feira	40,9254179°	-8,5426688°
	São João da Madeira	40,9020813°	-8,4896358°
São João da Madeira	40,8498115°	-8,3939142°	
Vale de Cambra	40,5785006°	-8,4438017°	

### 3.2.2. Regiões da Guiné-Bissau com os seus respetivos localidades

Na Tabela 7 apresenta-se um quadro contendo as localidades e respetivas coordenadas geográficas de uma das regiões de Guiné-Bissau, nomeadamente Cacheu.

Tabela 7: Regiões da Guiné-Bissau com os seus respetivas localidades e coordenadas geográficas

Região	Localidade	Latitude	Longitude
Cacheu	Bigene	12,4464657°	-15,5416206°
	Bula	12,1062143°	-15,7090975°
	Cacheu	12,2733969°	-16,1678840°
	Caió	11,9739106°	-16,1830372°
	Canchungo	12,0737723°	-16,0363925°
	São Domingos	12,4102601°	-16,1971817°

No Anexo II apresenta-se a totalidade das Regiões, Localidades e Coordenadas Geográficas consideradas para Guiné-Bissau.

### 3.3. INPUT'S requeridos ao utilizador

Para utilizar a calculadora “GUI+POR SOLAR”, o utilizador deve fornecer os seguintes dados de entrada:

- País
- Distrito/Região
- Localidade
- Data
- Hora

#### 3.3.1. Menu PAÍS

O menu “PAÍS” (Figura 20) oferece uma opção de escolha, por meio de um menu suspenso (*dropdown*), entre os dois países previamente referenciados (Figura 21).



Figura 20: Menu País.

Figura 21: Exemplificação do *dropdown* do menu País.

Ao selecionar um dos países, a calculadora ajusta automaticamente várias informações, incluindo a exibição da bandeira nacional, o nome do presidente em exercício, a área geográfica e os dados sobre emissões de dióxido de carbono, tal como se pode observar na Figura 22.



Figura 22: Menu País preenchido com a seleção de Portugal como o país onde se vão efetuar os cálculos.

### 3.3.2. Menu DISTRITO

O menu DISTRITO (Figura 23) apresenta uma lista detalhada dos distritos de Portugal e, no caso da Guiné-Bissau, das suas respetivas regiões. Esta funcionalidade permite que os utilizadores selecionem a unidade administrativa de interesse, por meio de um menu suspenso (*dropdown*) fornecendo informações específicas e relevantes para cada distrito ou região escolhida.

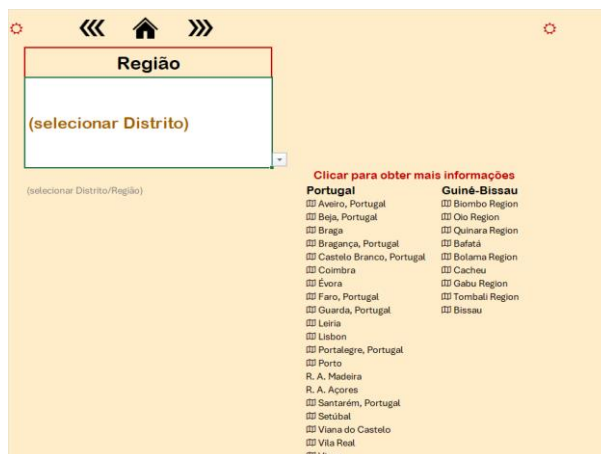


Figura 23: Menu Distrito ou Região

Na Figura 24 apresenta-se o exemplo do utilizador ter selecionado o distrito de Castelo Branco.



Figura 24: Dados sobre o distrito de Castelo Branco

### 3.3.3. Menu LOCALIDADE

O menu LOCALIDADE (Figura 25) permite ao utilizador selecionar a localidade desejada com base no país e no Distrito/Região previamente escolhido, por meio de um menu suspenso (*dropdown*). Após a seleção da localidade, a calculadora ajusta automaticamente as coordenadas de latitude e longitude correspondentes.

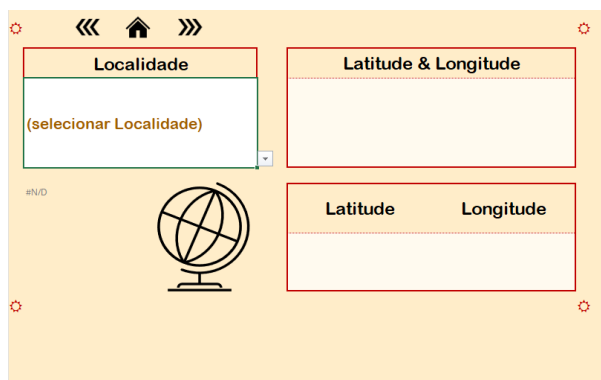


Figura 25: Menu LOCALIDADE.

Na Figura 26 exemplifica-se a situação do utilizador ter selecionado a localidade da Covilhã (pertencente ao distrito de Castelo Branco), fornecendo informações detalhadas e pertinentes a esta localidade.

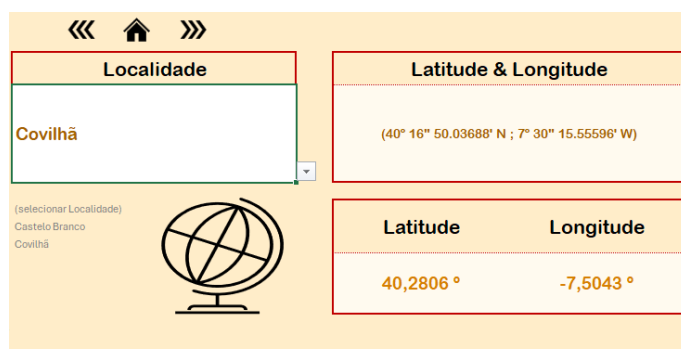


Figura 26: Seleção da localidade Covilhã pertencente ao distrito de Castelo Branco.

### 3.3.4. Menu DATA

No menu "DATA" da calculadora na (Figura 27), o utilizador tem a opção de inserir uma data no espaço em branco, podendo especificar apenas o dia e o mês no formato dia/mês, ou incluir também o ano no formato dia/mês/ano.

Caso o país selecionado seja Portugal, a calculadora identificará automaticamente se a data corresponde ao Horário de Inverno ou ao Horário de Verão, com base na regulamentação vigente de mudança de hora para o fuso horário português.



Figura 27: Menu DATA.

Adicionalmente, o menu DATA inclui um esquema interativo que permite ao utilizador clicar no símbolo do calendário para selecionar a data atual (dia, mês e ano). Este recurso facilita a entrada rápida e precisa da data desejada.

Na Figura 28 apresenta-se o exemplo da introdução por parte do utilizador da data correspondente ao dia 5 de abril, sendo que a calculadora identificou tratar-se de uma sexta-feira e, como o país selecionado anteriormente era Portugal, então a calculadora identificou também que nesse dia estava em vigor o Horário de Verão.



Figura 28: Menu Data com a data introduzida

### 3.3.5. Menu HORA

Para a funcionalidade de seleção de horário, foi implementado o menu HORA (Figura 29) que permite ao utilizador introduzir a hora pretendida no formato hora:minutos, (Figura 32).

Adicionalmente foi criado um esquema interativo, onde o utilizador pode clicar no símbolo do relógio para inserir automaticamente a hora atual. Este esquema foi projetado para proporcionar uma experiência de utilizador mais intuitiva e eficiente, garantindo que a inserção do horário seja rápida e precisa.



Figura 29: Menu HORA.

Na Figura 30 apresenta-se o exemplo da introdução manual por parte do utilizador da hora correspondente às 17h30m.

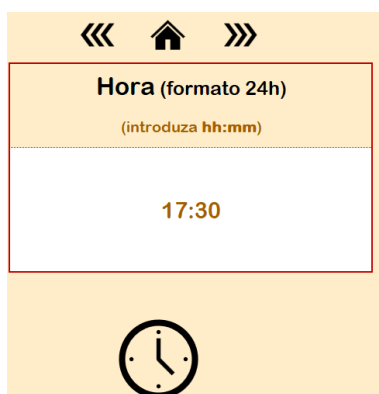


Figura 30: Menu de seleção de horário com opção de marcar a hora

### 3.4. OUTPUT'S obtidos

A calculadora "GUI+POR SOLAR" disponibiliza diversos resultados calculador tendo por base os dados fornecidos previamente pelo utilizador, nomeadamente país, distrito, localidade, hora e data. Esses resultados são depois apresentados no menu Coletor Horizontal (Figura 31), onde se pode verificar que, face aos dados introduzidos pelo utilizador:

- País: ..... Portugal
- Distrito: ..... Castelo Branco
- Localidade: ..... Covilhã
- Data: ..... 5 de abril
- Hora Local: ..... 17h30

se obtém as seguintes relações astronómicas (Figura 31):

- Latitude do local .....  $\phi = 40^{\circ}16'50''$  N
- Longitude do local .....  $7^{\circ}30'15''$  W
- Hora Local ..... HL = 17h30 (DST)
- Dia-número .....  $d_n = 95$
- Dia-ângulo .....  $\Gamma = 92,7^{\circ}$
- Declinação solar .....  $\delta = 5,8^{\circ}$
- Correção de longitude ..... -30,0 minutos
- Correção da Equação do Tempo (Et) ..... -3,1 minutos
- Distância Terra-Sol .....  $r = 149\,669\,290 \pm 500$  km
- Ângulo de altura solar .....  $\alpha = 27,0^{\circ}$
- Ângulo de zénite solar .....  $\theta_z = 63,0^{\circ}$
- Ângulo horário .....  $\omega = 59,2^{\circ}$
- Ângulo de azimute solar .....  $\psi = -73,5^{\circ}$  desde Sul ou  $\psi = 253,5^{\circ}$  desde Norte
- Tempo Solar Verdadeiro ..... TSV = 15h56m51s

Tratando-se de um coletor solar horizontal ( $\beta = 0^{\circ}$ ), obter-se-á ainda a seguinte informação:

- Ângulo de incidência dos raios solares no coletor .....  $\theta = 63,0^{\circ}$
- Hora de nascer do sol para o coletor ..... 06h13m
- Hora de pôr do sol para o coletor ..... 18h52m
- Duração do dia para o coletor ..... 12h39m

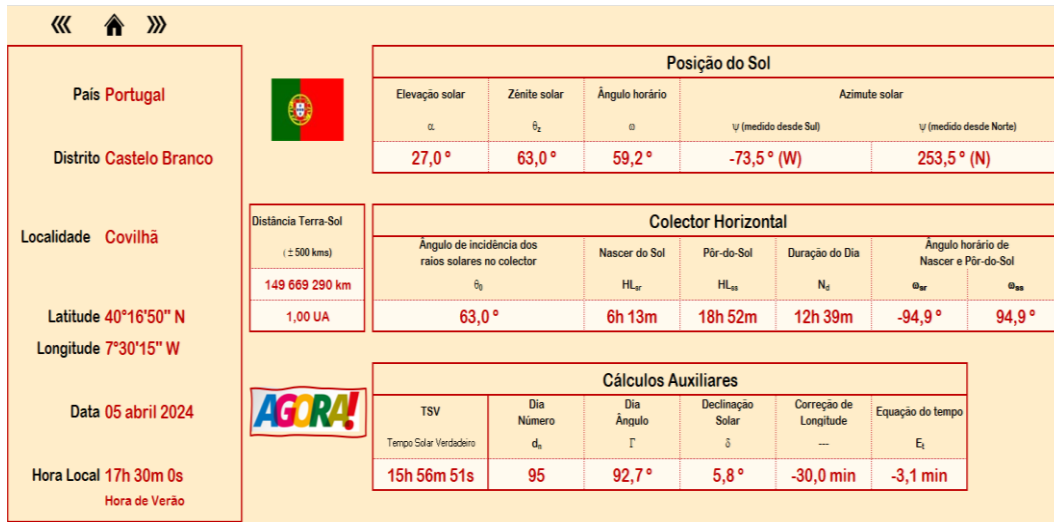


Figura 31: resultados do menu COLETOR HORIZONTAL

### 3.4.1. Menu INCLINAÇÃO & ORIENTAÇÃO do coletor solar

O menu INCLINAÇÃO & ORIENTAÇÃO do coletor solar (Figura 32) foi projetado para permitir ao utilizador a introdução de valores, no espaço em branco. O utilizador pode inserir diretamente o valor desejado para a inclinação, garantindo a personalização conforme as necessidades do projeto ou as condições específicas do local de instalação.

Para a orientação do coletor solar a calculadora “GUI+POR SOLAR” oferece três opções predefinidas:

- Coletor solar orientado a Sul;
- Coletor solar orientado a Este;
- Coletor solar orientado a Oeste.

Estas opções permitem ao utilizador selecionar rapidamente a direção desejada sem ter de pensar sobre a convenção de sinais adequada, facilitando a simulação e análise do desempenho do coletor solar sob diferentes condições de orientação.

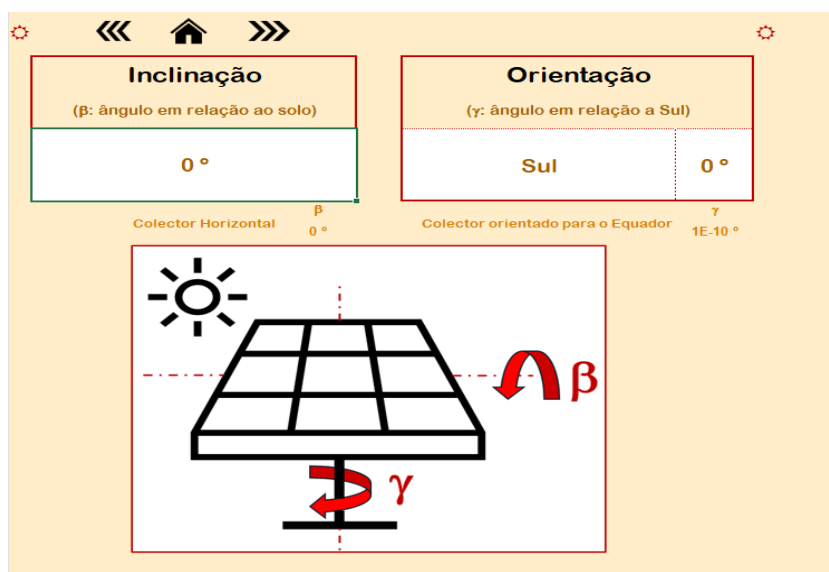


Figura 32: imagem do menu orientação e inclinação.

Na Figura 33 ilustra-se a situação de um coletor solar inclinado  $30^\circ$  em relação a plano horizontal (i.e.,  $\beta = 30^\circ$ ) e orientado para o Equador (i.e., Sul,  $\gamma = 0^\circ$ ).

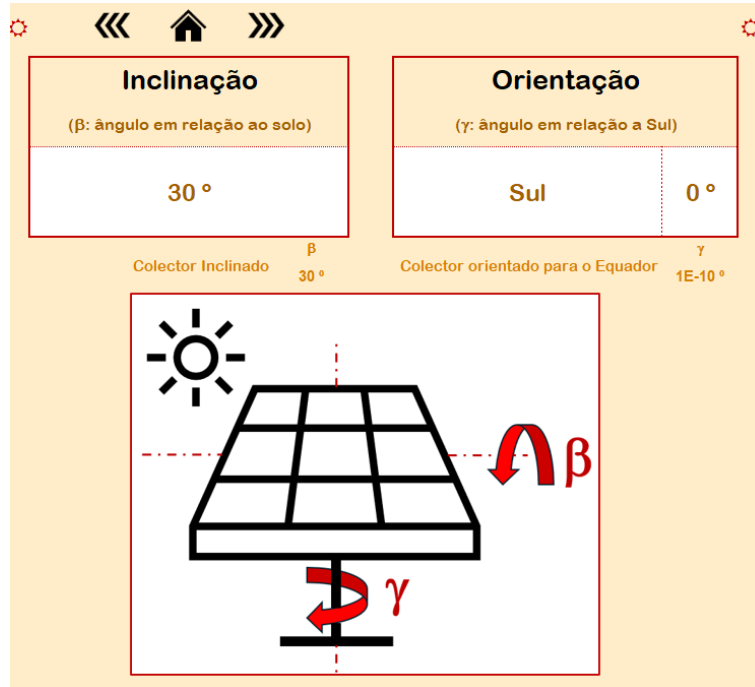


Figura 33: Introdução de valor de Inclinação  $\beta = 30^\circ$  e Orientação  $\gamma = 0^\circ$  (Sul) do coletor solar.

Tratando-se de um coletor solar inclinado ( $\beta = 30^\circ$ ) e orientado para o equador ( $\gamma = 30^\circ$ ), obter-se-á (Figura 34):

- Ângulo de incidência dos raios solares no coletor .....  $58,73^\circ$
- Hora de nascer do sol para o coletor ..... 06h28m
- Hora de pôr do sol para o coletor ..... 18h37m
- Duração do dia para o coletor ..... 12h08m

Coletor:	Inclinação:	$\beta = 30$	&	Orientação:	$\gamma = 0$
Ângulo de incidência dos raios solares no coletor $\theta_0$	Nascer do Sol do Coletor $HL_{sr}$	Pôr-do-Sol do Coletor $HL_{ss}$	Duração do Dia do Coletor $N_d$	Ângulo horário de Nascer do Sol do Coletor $\omega''_{sr}$	Ângulo horário de Pôr-do-Sol do Coletor $\omega''_{ss}$
<b><math>58.73^\circ</math></b>	<b>6h 28m</b>	<b>18h 37m</b>	<b>12h 8m</b>	<b><math>-91.05^\circ</math></b>	<b><math>91.05^\circ</math></b>

Figura 34: Resultados obtidos para um coletor solar inclinado a  $30^\circ$  e orientado para o equador.

Na Figura 35 ilustra-se a introdução de dados requerida para um coletor solar inclinado  $30^\circ$  em relação à horizontal ( $\beta = 30^\circ$ ) mas orientado  $15^\circ$  para Oeste ( $\gamma = -15^\circ$ ).

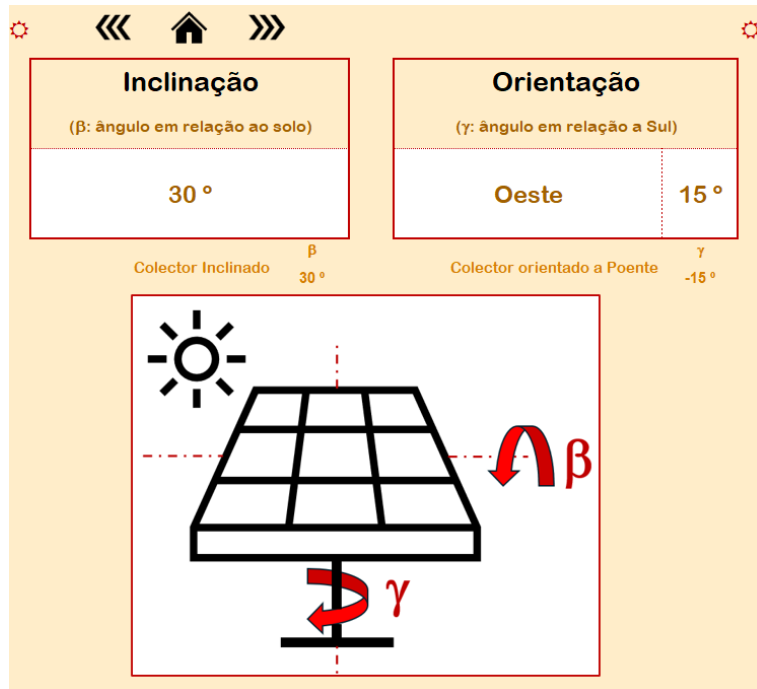


Figura 35: Introdução de valor de Inclinação  $\beta = 30^\circ$  e Orientação  $\gamma = 15^\circ$  (Oeste) do coletor solar. Para esta configuração, obter-se-á (Figura 36):

- Ângulo de incidência dos raios solares no coletor .....  $51,29^\circ$
- Hora de nascer do sol para o coletor ..... 06h58m
- Hora de pôr do sol para o coletor ..... 18h52m
- Duração do dia para o coletor ..... 11h53m

Coletor:	Inclinação:	$\beta = 30$	&	Orientação:	$\gamma = -15$
Ângulo de incidência dos raios solares no coletor $\theta_0$	Nascer do Sol do Coletor $HL_{sr}$	Pôr-do-Sol do Coletor $HL_{ss}$	Duração do Dia do Coletor $N_d$	Ângulo horário de Nascer do Sol do Coletor $\omega_{sr}^h$	Ângulo horário de Pôr-do-Sol do Coletor $\omega_{ss}^h$
<b><math>51.29^\circ</math></b>	<b>6h 58m</b>	<b>18h 52m</b>	<b>11h 53m</b>	<b><math>-83.55^\circ</math></b>	<b><math>94.92^\circ</math></b>

Figura 36: Resultados obtidos para um coletor solar com  $30^\circ$  de inclinação e orientado  $15^\circ$  para Oeste.

Procedendo do mesmo modo, mas com o coletor instalado com uma inclinação  $\beta = 30^\circ$  e orientado  $\gamma = 15^\circ$  (Este) obter-se-á (Figura 37):

- Ângulo de incidência dos raios solares no coletor .....  $66,16^\circ$
- Hora de nascer do sol para o coletor ..... 06h13m
- Hora de pôr do sol para o coletor ..... 18h07m
- Duração do dia para o coletor ..... 11h53m

Colector:	Inclinação:	$\beta = 30$	&	Orientação:	$\gamma = 15$
Ângulo de incidência dos raios solares no colector	Nascer do Sol do Colector	Pôr-do-Sol do Colector	Duração do Dia do Colector	Ângulo horário de Nascer do Sol do Colector	Ângulo horário de Pôr-do-Sol do Colector
$\theta_0$	HL <sub>sr</sub>	HL <sub>ss</sub>	N <sub>d</sub>	$\omega''_{sr}$	$\omega''_{ss}$
66.16 °	6h 13m	18h 7m	11h 53m	-94.92 °	83.55 °

Figura 37: Resultados obtidos para um colector solar com 30° de inclinação e orientado 15° para Este.

### 3.4.2. Menu DISTÂNCIA ENTRE COLETORES

No menu DISTÂNCIA ENTRE COLETORES (Figura 38) o utilizador tem a possibilidade de escolher a marca e o modelo do colector desejado, através de um menu suspenso (*dropdown*).

Pais **Portugal**

0

Distrito **Castelo Branco**

Localidade **Covilhã**

Latitude **40°16'50" N**

Longitude **7°30'15" W**

Data **05 abril 2024**

Hora Local **17h 30m 0s**

Hora de Verão

#### Separação entre filas de colectores solares

Marca (selecione a marca)

**(seleccionar Marca)**

0 (selecione o modelo)

**(seleccionar Modelo)**

Local da instalação (indique a inclinação do local)

**0 °**

instalação num plano horizontal



Dados técnicos do colector (DIN CERTCO)

Altura do colector (m)	Largura do colector (m)	Absorção do colector (m²)

Distância mínima entre filas de colectores

Mínimo	Utilização durante o período invernal

Figura 38: Menu DISTÂNCIA ENTRE COLETORES.

Na Figura 39 ilustra-se o processo de seleção da Marca e do Modelo do colector solar térmico através de menus *dropdown interdependentes*, significando isto que, consoante a marca de colector solar que for escolhida, assim será possível escolher um dos seus modelos.

**Marca**

(selecione a marca)

**(seleccionar Marca)**

(seleccionar Marca)

BOSCH

REINHARD SOLARTECHNIK

SOLAHART INDUSTRIES

SOLARTECH

VISSMANN

VULCANO

ZANTIA

**0 °**

instalação num plano horizontal

**0**

(selecione o modelo)

**(seleccionar Modelo)**

(seleccionar Modelo)

Bosch FKC-2W

Bosch FT 226-2H

Bosch FT 226-2V

Buderus CKN 2.0-s



Figura 39: Seleção da Marca e do Modelo do Coletor Solar.

Tal como se exemplifica na Figura 40, após a introdução da marca (BOSCH) e modelo (BOSCH FKC-2W) do colector solar térmico, a calculadora fornece:

- Altura do colector..... 1,175 m
- Largura do colector ..... 2,017 m

- Área do absoror do coletor ..... 2,25 m<sup>2</sup>

Separação entre filas de coletores solares																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Marca</th> <th>0</th> <th colspan="3">Dados técnicos do coletor (DIN CERTCO)</th> </tr> <tr> <th>(selecione a marca)</th> <th>(selecione o modelo)</th> <th>Altura do coletor (m)</th> <th>Largura do coletor (m)</th> <th>Absoror do coletor (m<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tr> <td>BOSCH</td> <td>Bosch FKC-2W</td> <td>1,175 m</td> <td>2,017 m</td> <td>2,25 m<sup>2</sup></td> </tr> </table>			Marca	0	Dados técnicos do coletor (DIN CERTCO)			(selecione a marca)	(selecione o modelo)	Altura do coletor (m)	Largura do coletor (m)	Absoror do coletor (m <sup>2</sup> )	BOSCH	Bosch FKC-2W	1,175 m	2,017 m	2,25 m <sup>2</sup>
Marca	0	Dados técnicos do coletor (DIN CERTCO)															
(selecione a marca)	(selecione o modelo)	Altura do coletor (m)	Largura do coletor (m)	Absoror do coletor (m <sup>2</sup> )													
BOSCH	Bosch FKC-2W	1,175 m	2,017 m	2,25 m <sup>2</sup>													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Local da instalação</th> </tr> <tr> <th>(indique a inclinação do local)</th> </tr> </thead> <tr> <td>0°</td> </tr> </table> <p>instalação num plano horizontal</p>		Local da instalação	(indique a inclinação do local)	0°	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Distância mínima entre filas de coletores</th> </tr> <tr> <th>Mínimo</th> <th colspan="2">Utilização durante o período invernal</th> </tr> </thead> <tr> <td>1,18 m</td> <td>+ 25%</td> <td>1,47 m</td> </tr> </table>			Distância mínima entre filas de coletores			Mínimo	Utilização durante o período invernal		1,18 m	+ 25%	1,47 m	
Local da instalação																	
(indique a inclinação do local)																	
0°																	
Distância mínima entre filas de coletores																	
Mínimo	Utilização durante o período invernal																
1,18 m	+ 25%	1,47 m															

Figura 40: Distância mínima entre filas de coletores BOSCH FKC-2W quando instalados num local horizontal.

Adicionalmente, a calculadora “GUI+POR SOLAR” oferece a opção de o utilizador inserir manualmente a inclinação do local onde os coletores solares vão ser implantados.

Caso se trate de uma instalação em local plano, o utilizador deve indicar o valor 0° no respetivo campo (conforme exemplificado na figura anterior), obtendo depois a informação acerca da distância mínima entre filas de coletores de modo a não haver sombreamentos.

- Distância mínima entre filas de coletores ..... 1,18 m
- Distância mínima entre filas de coletores durante o Inverno ..... 1,47 m

Caso o local da instalação não seja plano, o respetivo valor da inclinação deve ser inserido de forma a ser calculado novo valor para a distância mínima entre filas de coletores. Na Figura 41 ilustra-se a situação de um local com 35° de inclinação, obtendo-se:

- Distância mínima entre filas de coletores ..... 5,95 m
- Distância mínima entre filas de coletores durante o Inverno ..... 7,44 m

<table border="1"> <thead> <tr> <th>Marca</th> <th>0</th> <th>Altura do coletor (m)</th> <th>Largura do coletor (m)</th> <th>Absoror do coletor (m<sup>2</sup>)</th> </tr> <tr> <th>(selecione a marca)</th> <th>(selecione o modelo)</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tr> <td>BOSCH</td> <td>Bosch FKC-2W</td> <td>1.175 m</td> <td>2.017 m</td> <td>2.25 m<sup>2</sup></td> </tr> </table>		Marca	0	Altura do coletor (m)	Largura do coletor (m)	Absoror do coletor (m <sup>2</sup> )	(selecione a marca)	(selecione o modelo)				BOSCH	Bosch FKC-2W	1.175 m	2.017 m	2.25 m <sup>2</sup>
Marca	0	Altura do coletor (m)	Largura do coletor (m)	Absoror do coletor (m <sup>2</sup> )												
(selecione a marca)	(selecione o modelo)															
BOSCH	Bosch FKC-2W	1.175 m	2.017 m	2.25 m <sup>2</sup>												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Local da instalação</th> </tr> <tr> <th>(indique a inclinação do local)</th> </tr> </thead> <tr> <td>35°</td> </tr> </table> <p>instalação num plano não horizontal</p>		Local da instalação	(indique a inclinação do local)	35°	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Distância mínima entre filas de coletores</th> </tr> <tr> <th>Mínimo</th> <th colspan="2">Utilização durante o período invernal</th> </tr> </thead> <tr> <td>5.95 m</td> <td>+ 25%</td> <td>7.44 m</td> </tr> </table>			Distância mínima entre filas de coletores			Mínimo	Utilização durante o período invernal		5.95 m	+ 25%	7.44 m
Local da instalação																
(indique a inclinação do local)																
35°																
Distância mínima entre filas de coletores																
Mínimo	Utilização durante o período invernal															
5.95 m	+ 25%	7.44 m														

Figura 41: Distância mínima entre filas de coletores BOSCH FKC-2W quando instalados num local com 35° de inclinação.

# Capítulo 4

## Conclusões

## 4. Conclusões

### 4.1. Breve resumo do trabalho realizado

O desenvolvimento da ferramenta "GUI+POR SOLAR" proporcionou uma solução robusta e adaptável para o pré-dimensionamento de sistemas solares tanto em Portugal como na Guiné-Bissau. O projeto atingiu os principais objetivos ao criar uma calculadora capaz de considerar as variáveis astronómicas e geográficas com precisão, permitindo aos utilizadores realizar cálculos com rapidez e precisão.

### 4.2. Evolução temporal do trabalho

O desenvolvimento deste projeto é uma abordagem estruturada e progressiva, de modo a garantir que todas as etapas foram realizadas com a atenção aos detalhes técnicos e conceituais. O primeiro passo consistiu numa pesquisa aprofundada sobre os conceitos fundamentais de geometria solar e as variáveis envolvidas no pré-dimensionamento de coletores solares térmicos e/ou fotovoltaicos. Essa etapa inicial, realizada ao longo dos primeiros meses, permitiu a aquisição de um conhecimento sólido sobre a relação entre a posição do Sol e o desempenho dos coletores solares, além de destacar a importância de fatores como a orientação, a inclinação e o ângulo de incidência.

Após uma fase de pesquisa, foi dado início ao desenvolvimento da ferramenta "GUI+POR SOLAR" utilizando-se de plataformas de simulação e programação, com ênfase na criação de um ambiente amigável e acessível ao utilizador. Essa fase ocorreu nos meses subsequentes e envolveu a elaboração de algoritmos baseados em relações astronómicas e geográficas, permitindo que a ferramenta realizasse cálculos precisos de declinação solar, altura solar, azimute solar e ângulo de localização, entre outros. Ao longo desse período, foram realizados testes rigorosos para garantir que os cálculos fossem consistentes com as expectativas teóricas e os dados de referência astronómicos.

Simultaneamente, foram realizadas simulações de cenários reais, utilizando dados de localidades específicas de Portugal e Guiné-Bissau. Essa fase foi fundamental para ajustar a ferramenta às realidades geográficas e climáticas de ambos os países, garantindo que ela pudesse ser aplicada com precisão em contextos variados. Essa etapa, que se estende por alguns meses, executa um refinamento contínuo dos algoritmos, com a implementação de correções para melhorar as soluções e a usabilidade da ferramenta.

Nos últimos meses do projeto, o foco voltou-se para a validação final da ferramenta. Foram realizados testes de campo e comparações com dados reais de sistemas solares instalados, tanto em Portugal quanto na Guiné-Bissau, o que possibilitou verificar a acurácia dos resultados gerados pela calculadora "GUI+POR SOLAR". Além disso, foram feitas as últimas melhorias na interface da ferramenta, com o objetivo de facilitar

sua utilização por profissionais da área de energia solar e por usuários com conhecimentos básicos sobre o tema.

A fase final consiste na elaboração deste relatório, que documenta todas as etapas do desenvolvimento da ferramenta, desde a revisão bibliográfica até os resultados obtidos. Esse processo incluiu uma análise crítica das dificuldades e das limitações do trabalho, além de sugestões de melhorias futuras. Com isso, o projeto foi concluído dentro dos prazos estabelecidos, respeitando o cronograma previsto.

### **4.3. Apreciação do trabalho desenvolvido face aos objetivos previamente definidos**

O trabalho desenvolvido cumpriu de maneira satisfatória os objetivos definidos no início do projeto. Desde o início, o objetivo principal foi criar uma ferramenta capaz de auxiliar no pré-dimensionamento de coletores solares, utilizando parâmetros astronômicos e geográficos para otimizar o processo de captação de energia solar. Esse objetivo foi alcançado com a implementação da ferramenta "GUI+POR SOLAR", que permite ampliar a orientação, inclinação e outros fatores cruciais para a eficiência dos coletores solares, tanto em Portugal como na Guiné-Bissau.

A ferramenta desenvolvida foi demonstrada de forma adequada para o propósito ao qual foi designada, facilitando o cálculo de variáveis de maneira complexa e automatizada. Ao longo do trabalho, foram seguidas rigorosamente as diretrizes definidas, garantindo que todos os cálculos astronômicos essenciais, como declinação solar, altura solar e ângulo de zênite, sejam corretamente implementados. A abordagem utilizada permitiu que o sistema fosse intuitivo e acessível, não apenas para profissionais com conhecimento avançado em energia solar, mas também para utilizadores com menos experiência técnica.

### **4.4. Dificuldades e Limitações**

Durante o desenvolvimento da ferramenta "GUI+POR SOLAR" surgiram diversas dificuldades e limitações. Um dos principais desafios foi a implementação de cálculos astronômicos complexos, como a declinação solar e os ângulos de orientação e orientação dos coletores solares. Esses cálculos exigiram várias iterações e ajustes para garantir precisão, especialmente considerando as diferentes condições geográficas e climáticas envolvidas.

Além disso, a adaptação da ferramenta para ser utilizada em duas geografias distintas — Portugal e Guiné-Bissau — também impôs dificuldades. Cada região possui características solares e climáticas particulares, o que aplica a padronização dos cálculos e da interface para atender ambos os cenários.

Outro obstáculo importante foi relacionado à interface do utilizador e à acessibilidade da ferramenta. Como o projeto proposto foi utilizado por pessoas com diversos níveis de conhecimento técnico, foi necessário simplificar a entrada de dados e os cálculos

sem comprometer a precisão dos resultados. Esse equilíbrio entre facilidade de uso e rigor técnico foi um desafio constante durante o desenvolvimento.

#### **4.5. Melhorias a fazer**

A ferramenta 'GUI+POR SOLAR' apresentou um desempenho líder ao longo do desenvolvimento, mas há áreas que podem ser aprimoradas para melhorar sua funcionalidade. Primeiramente, a interface do utilizador poderia ser redesenhada para torná-la mais intuitiva, facilitando o uso por profissionais menos familiarizados com sistemas solares. Simplificar o menu e automatizar algumas etapas, como a inserção de dados de orientação e orientação, poderia reduzir o tempo gasto no preenchimento e melhorar a experiência do utilizador.

Em termos técnicos, a precisão dos cálculos astronómicos deve ser refinada. A inclusão de algoritmos mais avançados para o cálculo da declinação solar ( $\delta$ ), ângulos horários ( $\omega$ ) e azimutes ( $\psi$ ) permitirá maior exatidão nos resultados, especialmente em regiões com condições climáticas ou geográficas específicas. Isso será fundamental para garantir que o sistema seja útil tanto em Portugal como na Guiné-Bissau, onde as variáveis astronómicas podem ter impactos diferentes.

Outro ponto de melhoria está relacionado à gestão do sombreamento entre as filas de coletores. Implementar modelos que levem em consideração não apenas a altura dos coletores, mas também as variações sazonais da posição do sol, permitem uma melhor disposição dos coletores, maximizando a eficiência do sistema. Por fim, incluir a possibilidade de inserção de novos modelos de coletores no banco de dados da ferramenta permitirá ao usuário maior flexibilidade na escolha de dispositivos, ampliando o escopo de aplicação.

## Referências bibliográficas

- [1] G. Alan, “A GEOMETRIA DO PLANETA TERRA,” Belo Horizonte, 2014.
- [2] “Time&Date,” [Online]. Available: <https://www.timeanddate.com/calendar/march-equinox.html>. [Acedido em 17 05 2024].
- [3] L. P. C. Neto, *Conceitos sobre Geometria Solar*, Escola Superior de Tecnologia Castelo Branco, 2016-2017.
- [4] M. Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, 1983.
- [5] “Wikeversidade,” [Online]. Available: [https://pt.wikiversity.org/wiki/Ficheiro:Revolution\\_of\\_earth.jpg](https://pt.wikiversity.org/wiki/Ficheiro:Revolution_of_earth.jpg). [Acedido em 06 05 2024].
- [6] Â. T. de Miranda, 27 02 2014. [Online]. Available: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/fusos-horarios-entenda-como-se-determina-a-hora-em-cada-pais.htm>. [Acedido em 2024 05 27].
- [7] “ResearchGate,” [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Angulos-solares-Y-Angulo-azimute-a-altitude-solar-e-q-Z-angulo-de\\_fig2\\_312546708](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Angulos-solares-Y-Angulo-azimute-a-altitude-solar-e-q-Z-angulo-de_fig2_312546708). [Acedido em 08 05 2024].
- [8] “MDPI,” [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/23/6369>. [Acedido em 06 05 2024].
- [9] “Eletronica-pt,” [Online]. Available: <https://www.electronica-pt.com/energia-solar>. [Acedido em 06 05 2024].
- [10] G. C. Machado, “Dimensionamento de um sistema solar térmico para aquecimento da água da piscina do IST,” Lisboa, Junho de 2017.
- [11] d. A. P. N. R. André, *Efeito do ângulo de incidência na medida da irradiância solar*, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA, 2020.
- [12] “Wikipedia,” 17 11 2023. [Online]. Available: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Hor%C3%A1rio\\_de\\_ver%C3%A3o](https://pt.wikipedia.org/wiki/Hor%C3%A1rio_de_ver%C3%A3o). [Acedido em 27 05 2024].
- [13] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering - Processes and Systems (2nd Ed.)*, Academic Press, 2014.



# ANEXOS

# **ANEXO I**

## **Coordenadas Geográficas de algumas localidades de Portugal**

<b>Distrito</b>	<b>Localidade</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Aveiro	Águeda	40,5785006°	-8,4438017 °
	Albergaria-a-Velha	40,6906888°	-8,4792205 °
	Anadia	40,4426833°	-8,4359581 °
	Aveiro	40,6404960°	-8,6537841°
	Esmoriz	40,9602526°	-8,6228198°
	Espinho	41,0083643°	-8,6394111°
	Estarreja	40,7523494°	-8,5703455°
	Fiães	40,9945859°	-8,5247192°
	Ílhavo	40,6001108°	-8,6666667°
	Lourosa	40,9835410°	-8,5499188°
	Mealhada	40,3792003°	-8,4517733°
	Oliveira de Azeméis	40,8390118°	-8,4777807°
	Oliveira do Bairro	40,5138208°	-8,4928163°
	Ovar	40,8594819°	-8,6252174°
	Santa Maria da Feira	40,9254179°	-8,5426688°
	São João da Madeira	40,9020813°	-8,4896358°
	São João da Madeira	40,8498115°	-8,3939142°
Vale de Cambra	40,5785006°	-8,4438017°	
Beja	Beja	38,0154479°	-7,8650368°
Braga	Barcelos	41,5314496°	-8,6192306°
	Braga	41,5510583°	-8,4280045 °
	Esposende	41,5315251°	-8,7792538 °
	Fafe	41,4514060°	-8,1708502 °
	Guimarães	41,4417677°	-8,2955712 °
Bragança	Bragança	41,8071182°	-6,7589839°
	Macedo de Cavaleiros	41,5362124°	-6,9560267°
	Miranda do Douro	41,5000816°	-6,2713310°
	Mirandela	41,4896150°	-7,1774792°
Castelo Branco	Castelo Branco	39,8266322°	-7,4919318°
	Covilhã	40,2805658°	-7,5043211°
Coimbra	Cantanhede	40,3461879°	-8,5940128°
	Coimbra	40,2111931°	-8,4294632°
	Figueira da Foz	40,1485808°	-8,8556550°
	Oliveira do Hospital	40,3595402°	-7,8617453°

<b>Distrito</b>	<b>Localidade</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Évora	Évora	38,5707742°	-7,9092808°
Faro	Faro	37,0162727°	-7,9351771°
	Lagoa	37,1347000°	-8,4526300°
Guarda	Gouveia	40,4940078°	-7,5917814°
	Guarda	40,5378408°	-7,2662964°
	Mêda	40,9662962°	-7,2637352°
	Pinhel	40,7747612°	-7,0650244°
	Sabugal	40,3518321°	-7,0896479°
	Seia	40,4200998°	-7,7028054°
	Trancoso	40,7784700°	-7,3490800°
	Vila Nova de Foz Coa	41,0818397°	-7,1424138°
Leiria	Alcobaça	39,5519199°	-8,9763396°
	Caldas da Rainha	39,4072118°	-9,1346004°
	Leiria	39,7437902°	-8,8071119°
	Marinha Grande	39,7495952°	-8,9298895°
	Peniche	39,3566221°	-9,3812853°
	Pombal	39,9161851°	-8,6279171°
Lisboa	Lisboa	38,7077507°	-9,1365919°
	Sintra	38,7992000°	-9,3883000°
	Cascais	38,7000000°	-9,4167000°
	Loures	38,8333000°	-9,1667000°
	Amadora	38,7333000°	-9,2333000°
	Oeiras	38,6833000°	-9,3167000°
	Odivelas	38,7903000°	-9,1797000°
	Vila Franca de Xira	38,9500000°	-8,9833000°
	Queluz	38,7514000°	-9,2664000°
	Agualva	38,7700000°	-9,2988000°
	Póvoa de Santa Iria	38,8620000°	-9,0690000°
	Massamá	38,7568000°	-9,2748000°
	Estoril	38,7042000°	-9,3983000°
Portalegre	Eivas	38,8811828°	-7,1637495°
	Ponte de Sor	39,2519303°	-8,0089970°
	Portalegre	39,2911347°	-7,4333887°
Porto	Porto	41,1494512°	-8,6107884°

<b>Distrito</b>	<b>Localidade</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
R.A. Madeira	Funchal	32,6496497°	-16,908678°
R.A. Açores	Angra do Heroísmo	38,6593167°	-27,219557°
	Ponta Delgada	37,7394344°	-25,668361°
	Ribeira Grande	37,8216490°	-25,517912°
	Ribeira Grande	37,8225227°	-25,519491°
	Horta	38,5368032°	-28,630109°
Santarém	Abrantes	39,4631905°	-8,1973618°
	Almeirim	39,2107506°	-8,6340173°
	Cartaxo	39,1619192°	-8,7862444°
	Entroncamento	39,4652196°	-8,4682137°
	Fátima	39,6255007°	-8,6658028°
	Ourém	39,6567900°	-8,5796300°
	Rio Maior	39,3365387°	-8,9364098°
	Samora Correia	38,9348747°	-8,8689911°
	Santarém	39,2363637°	-8,6867081°
	Tomar	39,6036596°	-8,4150492°
	Torres Novas	39,4796200°	-8,5395500°
Setúbal	Setúbal	38,5241783°	-8,8932341°
	Almada	38,6803000°	-9,1583000°
	Seixal	38,6500000°	-9,1000000°
	Barreiro	38,6667000°	-9,0667000°
	Amora	38,6265000°	-9,1189000°
	Corroios	38,6147000°	-9,1508000°
Viana do Castelo	Valença	42,0270455°	-8,6428831°
	Viana do Castelo	41,6948670°	-8,8310880°
Vila Real	Chaves	41,7399453°	-7,4714770°
	Peso da Régua	41,1637043°	-7,7875821°
	Valpaços	41,6067883°	-7,3108525°
	Vila Real	41,3021183°	-7,7448980°
Viseu	Lamego	41,0985270°	-7,8105708°
	Mangualde	40,6035400°	-7,7656000°
	Santa Comba Dão	40,3957876°	-8,1305121°
	São Pedro do Sul	40,7610407°	-8,0657325°
	Tarouca	41,0162400°	-7,7752378°
	Tondela	40,5164200°	-8,0805300°
	Viseu	40,6574713°	-7,9138664°

## **ANEXO II**

# **Coordenadas Geográficas de algumas localidades de Guiné-Bissau**

Região	Localidade	Latitude	Longitude
Biombo	Prabis	11,7998429°	-15,7441944°
	Quinhamel	11,8942792°	-15,8515122°
	Safim	11,9442376°	-15,6447760°
Oio	Bissorã	12,2236101°	-15,4520898°
	Farim	12,4876693°	-15,2135712°
	Mansabá	12,2920363°	-15,1747799°
	Mansoa	12,0685718°	-15,3166460°
	Nhacra	11,9606442°	-15,5393147°
Quinara	Buba	11,5919567°	-14,9939564°
	Empada	11,5409160°	-15,2285530°
	Fulacunda	11,7769244°	-15,1732028°
	Tite	11,7804090°	-15,3981653°
Bafatá	Bafatá	11,1723745°	-14,656041°
	Bambadinca	11,9800411°	-14,8774838°
	Contuboel	12,3868254°	-14,5707896°
	Galomaro	11,9548598°	-14,6394972°
	Gã-Mamudo	12,2737361°	-14,7263051°
	Xitole	11,7345955°	-14,8130070°
Bolama	Bolama	11,5002000°	-15,0266110°
	Bubaque	11,2987010°	-15,8386805°
	Caravela	11,5682637°	-16,2632341°
	Uno	11,2653127°	-16,2144089°
Cacheu	Bigene	12,4464657°	-15,5416206°
	Bula	12,1062143°	-15,7090975°
	Cacheu	12,2733969°	-16,1678840°
	Caió	11,9739106°	-16,1830372°
	Canchungo	12,0737723°	-16,0363925°
	São Domingos	12,4102601°	-16,1971817°
Gabu	Gabu	12,2832294°	-14,2248490°
	Madina do Boé	11,7430500°	-14,2133904°
	Pirada	12,6618190°	-14,1502619°
	Pitche	12,3231267°	-13,9552976°
	Sonaco	12,3861130°	-14,4933275°
Tombali	Bedanda	11,3582013°	-15,1119179°
	Cacine	11,1233807°	-15,0159074°
	Catió	11,2719312°	-15,2540028°
	Quebo	11,3411609°	-14,9366428°
Bissau	Bissau	11,8631602°	-15,5865753°
	Antula	11,8968807°	-15,5920888°
	Bandim	11,8513245°	-15,5971205°
	Bairro Militar	11,8734893°	-15,6163146°
	Cuntum	11,8502815°	-15,6175590°