



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MELCHIADES GOMES DA SILVA

**GERAÇÃO DE PERFIS CLIMÁTICOS SOBRE RADIAÇÃO SOLAR E
TEMPERATURA DO AR EM BELÉM DO PARÁ.**

ANANINDEUA - PA

2022

MELCHIADES GOMES DA SILVA

**GERAÇÃO DE PERFIS CLIMÁTICOS SOBRE RADIAÇÃO SOLAR E
TEMPERATURA DO AR EM BELÉM DO PARÁ.**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciência e Tecnologia com ênfase em tecnologia mecânica, pela Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua.

Orientador: Dr. Luiz C. Fialho Andrade

ANANINDEUA - PA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G633g Gomes da Silva, Melchiades.
Geração de Perfis Climáticos sobre Radiação Solar e
Temperatura do ar em Belém do Pará / Melchiades Gomes
da Silva. — 2022.
24 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de
Ananindeua, Curso de Ciência e Tecnologia, Ananindeua,
2022.

1. Tratamento estatístico. 2. Dados climáticos. 3.
Radiação solar. 4. Temperatura do Ar. I. Título.

CDD 551.6

MELCHIADES GOMES DA SILVA

**GERAÇÃO DE PERFIS CLIMÁTICOS SOBRE RADIAÇÃO SOLAR E
TEMPERATURA DO AR EM BELÉM DO PARÁ.**

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado como requisito parcial para
a obtenção do grau de bacharel em
Ciência e Tecnologia com ênfase em
tecnologia mecânica, pela Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário
de Ananindeua

Orientador: Dr. Luiz C. Fialho Andrade

APROVADO EM: 16 / 12 /2022

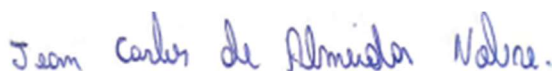
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade
Orientador – UFPA



Profª. M.Sc. Franciele Gomes Ferreira
Examinador interno - UFPA



B.Sc. Jean Carlos de Almeida Nobre
Examinador Externo - UFPA



B.Sc. David Lohan Pereira de Sousa
Examinador Externo - UFPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Terezinha de Jesus Silva e minhas filhas Gisele Souza da Silva e Karina Souza da Silva.

A Universidade Federal do Pará por ter proporcionado ensino, pesquisa e extensão de qualidade.

A Faculdade de Ciência e Tecnologia juntamente com seu corpo técnico e docente.

Aos Bacharéis em Ciência e Tecnologia Jean C. A. Nobre e David L. P. Sousa, pelas dicas e orientações desta pesquisa.

Ao meu orientador, o Prof Dr. Luiz Claudio Fialho Andrade pela paciência e orientação.

RESUMO

Neste estudo utilizam-se duas bases de dados distintas para a realização de um tratamento estatístico sobre amostras da radiação solar e da temperatura do ar na cidade de Belém-PA comparando as bases e gerando perfis climáticos finais para cada arquivo climático. Cada arquivo climático possui um período pré-definido em relação a sua catalogação dos dados climáticos, os dados expressos no arquivo climático SWERA estão entre os anos de 1973 até 1997, ou seja, é feito um tratamento estatístico sobre 25 anos. No caso do arquivo climático IWECC os anos analisados foram de 1982 até 1995, logo, o tratamento estatístico é realizado sobre 14 anos. A forma de compilação de dados climáticos desses tipos de bases demanda a realização de tratamento estatístico para possibilitar o seu uso em pesquisas que precisam de um perfil final de dados climáticos, como nos casos de simulações numéricas sobre desempenho térmico, ou sobre a viabilidade de implantação de plantas de energia fotovoltaica, entre outras aplicações. Nota-se que os objetivos pré-definidos neste estudo foram alcançados pois foi possível analisar e gerar novos perfis climáticos para dados de bulbo seco, bulbo úmido, radiação solar direta e radiação solar difusa entre os arquivos climáticos dos projetos SWERA e IWECC.

Palavras-chave: Tratamento estatístico. Dados climáticos. Radiação solar. Temperatura do ar.

ABSTRACT

In this study, two different databases are used to perform a statistical treatment on samples of solar radiation and air temperature in the city of Belém-PA comparing the bases and generating final climate profiles for each climate file. Each climate file has a predefined period in relation to its cataloging of climate data, the data expressed in the SWERA climate file are between the years 1973 to 1997, that is, a statistical treatment is carried out over 25 years. In the case of the IWECC climate file, the years analyzed were from 1982 to 1995, so the statistical treatment is carried out over 14 years. The way of compiling climate data from these types of databases requires statistical treatment to enable its use in research that needs a final profile of climate data, as in the case of numerical simulations on thermal performance, or on the feasibility of implantation of photovoltaic energy plants, among other applications. It is noted that the pre-defined objectives in this study were achieved since it was possible to analyze and generate new climate profiles for data on dry bulb, wet bulb, direct solar radiation and diffuse solar radiation between the climate files of the SWERA and IWECC projects.

Keywords: Statistical treatment. Climate data. Solar radiation. Air temperature.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1 Estudos sobre Dados Climáticos.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Cidade de Belém do Pará.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	14
4.1 Resultados do projeto IWECA.....	14
4.2 Resultados do projeto SWERA.....	17
4.3 Análise comparativa.....	20
4.4 Novo Perfil entre as duas bases.....	21
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23



**GERAÇÃO DE PERFIS CLIMÁTICOS SOBRE RADIAÇÃO
SOLAR E TEMPERATURA DO AR EM BELÉM DO PARÁ.
GENERATION OF CLIMATE PROFILES ON SOLAR RADIATION AND AIR
TEMPERATURE IN BELÉM DO PARÁ.**

Melchiades Gomes da Silva¹ 

Jean Carlos de Almeida Nobre² 

David Lohan Pereira de Sousa³ 

Gisele Fabiane do Nascimento Gomes⁴ 

Patrick Mar Siqueira⁵ 

Luiz Claudio Fialho Andrade⁶ 

Resumo: Neste estudo utilizam-se duas bases de dados distintas para a realização de um tratamento estatístico sobre amostras da radiação solar e da temperatura do ar na cidade de Belém-PA comparando as bases e gerando perfis climáticos finais para cada arquivo climático. Cada arquivo climático possui um período pré-definido em relação a sua catalogação dos dados climáticos, os dados expressos no arquivo climático SWERA estão entre os anos de 1973 até 1997, ou seja, é feito um tratamento estatístico sobre 25 anos. No caso do arquivo climático IWECE os anos analisados foram de 1982 até 1995, logo, o tratamento estatístico é realizado sobre 14 anos. A forma de compilação de dados climáticos desses tipos de bases demanda a realização de tratamento estatístico para possibilitar o seu uso em pesquisas que precisam de um perfil final de dados climáticos, como nos casos de simulações numéricas sobre desempenho térmico, ou sobre a viabilidade de implantação de plantas de energia fotovoltaica, entre outras aplicações. Nota-se que os objetivos pré-definidos neste estudo foram alcançados pois foi possível analisar e gerar novos perfis climáticos para dados de bulbo seco, bulbo úmido, radiação solar direta e radiação solar difusa entre os arquivos climáticos dos projetos SWERA e IWECE.

Palavras-chave: Tratamento estatístico. Dados climáticos. Radiação solar. Temperatura do ar.

Abstract: In this study two different databases are used to perform a statistical treatment on samples of solar radiation and air temperature in the city of Belém-PA comparing the bases and generating final climate profiles for each climate file. Each climate file has a pre-defined period in relation to its cataloging of climate data, the data expressed in the SWERA climate file are between the years 1973 to 1997, that is, a statistical treatment is made over 25 years. In the case of the IWECE climate archive the years analyzed were from 1982 to 1995, so the statistical treatment is carried out over 14 years. The way of compiling climate data from these types of databases requires statistical treatment to enable its use in research that needs a final profile of

¹ Graduando em Ciência e Tecnologia, UFPA, melchiades.silva@ananindeua.ufpa.br.

² Bach. em Ciência e Tecnologia, UFPA, jean.nobre@ananindeua.ufpa.br.

³ Bach. em Ciência e Tecnologia, UFPA, david.sousa@ananindeua.ufpa.br.

⁴ Graduanda em Ciência e Tecnologia, UFPA, gisele.gomes@ananindeua.ufpa.br.

⁵ Graduando em Ciência e Tecnologia, UFPA, patrick.siqueira@ananindeua.ufpa.br.

⁶ Dr. em Engenharia Mecânica, UFPA, lfialho@ufpa.br.



climate data as in the case of numerical simulations on thermal performance, or on the feasibility of implementation of photovoltaic energy plants, among other applications. It is noted that the pre-defined objectives in this study were achieved because it was possible to analyze and generate new climate profiles for data from dry bulb, wet bulb, direct solar radiation and diffuse solar radiation between the climate files of the SWERA and IVEC projects.

Keywords: Statistical treatment. Climate data. Solar radiation. Air temperature.

1 INTRODUÇÃO

Neste estudo utilizam-se duas bases de dados distintas para realizar um tratamento estatístico em relação à radiação solar e à temperatura do ar na cidade de Belém-PA, finais, comparando estas variáveis segundo o número de anos em que os dados foram coletados, de acordo com cada uma das bases de arquivos climáticos. Esses tipos de perfis climáticos podem ser utilizados em diversas aplicações, como na análise da viabilidade de implementação de energia fotovoltaica, no caso da radiação solar, e nos estudos de conforto térmico, no caso da temperatura do ar. A partir do tratamento estatístico dos arquivos climáticos é gerado um novo perfil climático para cada variável climática estudada: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, radiação solar difusa, e radiação solar direta.

Os arquivos climáticos utilizados neste estudo são do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), que juntamente com o INPE e LABSOLAR/UFSC, disponibilizou arquivos climáticos para 20 cidades brasileiras, e uma dessas capitais foi a de Belém-PA e do projeto *International Weather for Energy Calculations* (IVEC) criado pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*). Nas duas bases de dados a coleta de variáveis climáticas consiste de medições horárias, ou seja, 8760 horas de medição por ano analisado.

Os estudos em Climatologia são importantes, pois ajudam a entender a dinâmica do clima para uma determinada área. Neste sentido, “o estudo do tempo e do clima ocupa uma posição central e importante no amplo campo da ciência ambiental” (AYOADE, 1996). Além disso, esses estudos podem auxiliar no planejamento e gestão territorial (CONTI, 1996).



2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estudos sobre Dados Climáticos

Casagrande e Alvares (2013), realizaram a criação de arquivos climáticos futuros para a cidade de Vitória-ES para a aplicação em simulações térmicas de edifícios. As rotinas internas da ferramenta foram elaboradas, principalmente, a partir do método *morphing* e são descritas detalhadamente no referencial técnico da ferramenta. Para conversão dos arquivos climáticos atuais em arquivos futuros, foi utilizada a ferramenta desenvolvida por Jentsch, Bahaj e James (2008), denominada *Climate Change World Weather File Generator*.

Passos Filho et. al. (2019), realizaram um trabalho com o escopo de apresentar um processo de elaboração de um arquivo climático para o Complexo Industrial e Portuário do Pecém, a 40 km da capital Fortaleza, a fim de ser utilizado em simulações durante o processo de projeto de edificações. A síntese do arquivo foi realizada por meio da coleta e tratamento de informações medidas *in loco*, da aplicação de modelos recomendados para a estimativa de dados inexistentes, e do desenvolvimento de um método alternativo para a estimativa de um *Test Reference Year* de localidades sem dados meteorológicos de vários anos.

Dados Climáticos geralmente não são direcionados para a construção civil ou áreas relacionadas, sendo este um dos problemas enfrentados por arquitetos e engenheiros, pois, a coleta é destinada ao ramo de agricultura e estudos geográficos. De acordo com Pereira et. al. (2004), "a maioria dos dados que existem estão em diagramas analógicos", e, para sua adaptação para utilização em *softwares* de simulações numéricas, é necessário realizar um processo de tratamento desses dados para a redução dos mesmos, o que, normalmente, é realizado de maneira "manual" (PEREIRA, et. al., 2004).

Outro problema encontrado para a concepção de arquivos climáticos é a respeito da medição da radiação solar, pois, é uma das variáveis mais importantes para se avaliar o desempenho termoenergético, porém, várias estações no Brasil coletam apenas as horas de insolação, o que acaba sendo insuficiente para a simulação (PEREIRA, et. al., 2004).



3 MATERIAL E MÉTODOS

O foco deste trabalho é estudar a radiação solar e as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar na cidade de Belém-PA através de uma análise estatística sobre um período pré-definido para cada arquivo climático. Os dados compilados no arquivo climático da SWERA estão distribuídos nos anos de 1973 até 1997, ou seja, será feito um tratamento estatístico sobre 25 anos. No caso do arquivo climático IWECA os anos analisados foram os de 1982 até 1995, logo, o tratamento estatístico será sobre 14 anos. Cada arquivo climático será tratado e analisado pelas temperaturas do ar e radiações solares (mínimas, máximas e médias).

A obtenção dos arquivos climáticos analisados (SWERA e IWECA) se dá pela plataforma da internet do *software Energyplus*, como pode-se ver na Figura 1. Para a compilação e tratamento dos arquivos climáticos foi utilizado o *software Openstudio* e a plataforma de planilhas gratuita do *Google*.

Figura 1 – Pagina de obtenção dos arquivos climáticos.



Fonte: Energyplus, (2022).

O tratamento estatístico é feito a partir do cálculo da média anual, mensal, diária e horária conforme os dados expressos nos arquivos climáticos. Utilizando a equação abaixo:

$$\text{Média} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

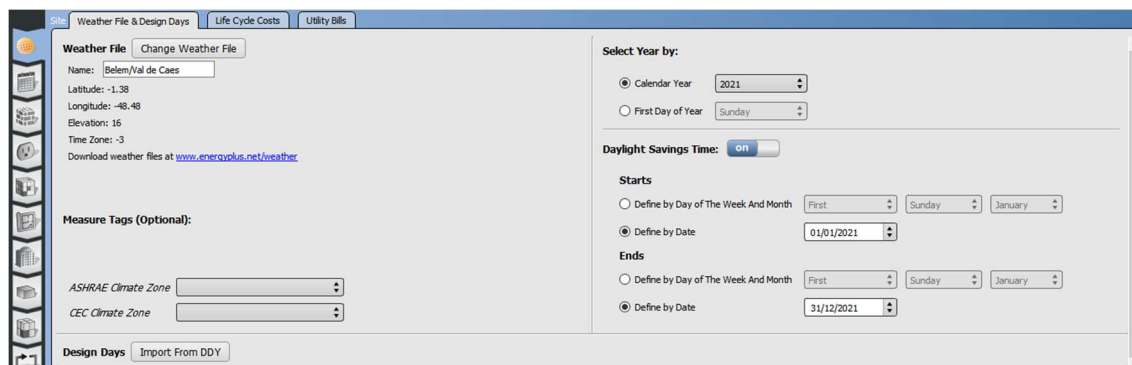
X_i = Somatório das variáveis

n = Quantidade de variáveis



Na Figura 2 tem-se a aba chamada *site* do *Openstudio* onde são inseridos os arquivos climáticos das diferentes bases de dados e definidos os períodos de análise e posteriormente compilados no *software*.

Figura 2 – Aba *site*.



Fonte: Openstudio, (2022).

Após o tratamento estatístico dos dados climáticos de cada arquivo durante seus respectivos anos catalogados e analisados, é feito um novo perfil da radiação solar e temperaturas do ar através das duas bases de dados.

3.1 Cidade de Belém do Pará

A cidade de Belém é a capital do Estado do Pará. O clima característico do Pará é o clima equatorial, que possui altas temperaturas e altos índices pluviométricos. No sul do estado tem-se em uma menor área o clima tropical.

As Tabelas 1 e 2 mostram algumas informações e dados geográficos da cidade de Belém-PA.

Tabela 1 – Informações da Cidade de Belém-PA.

Área Territorial	1.059,466 km ²
População Estimada	1.506.420 pessoas
Densidade Demográfica	1.315,26 hab/km ²

Fonte: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. (2010).

Tabela 2 – Localização geográfica do Município de Belém.

Latitude Sul	01°27'20"
Longitude W-Gr	48°30'15"
Altitude (m)	22

Fonte: CODEM – Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém. Caracterização do Território. (2011).



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados do projeto IWECE

Após o tratamento estatístico de 14 anos (1982 – 1995), gerou-se os perfis finais do arquivo climático do projeto IWECE para cada mês do ano na cidade de Belém-PA.

A Tabela 3 mostra as temperaturas de bulbo seco em °C (média, mínima e máxima), nota-se um perfil anual com uma média total de 26,53 °C, uma mínima de 19,91 °C e uma máxima de 35,5 °C.

A Tabela 4 ilustra as temperaturas de bulbo úmido em °C (média, mínima e máxima), percebe-se um perfil anual com uma média total de 24,36 °C, uma mínima de 19,91 °C e uma máxima de 27,76 °C.

A Tabela 5 demonstra a radiação solar difusa em W/m² (média, mínima e máxima), nota-se um perfil anual com uma média total de 122,45 W/m², com o pôr do sol a radiação solar tanto direta como difusa tende a zero portanto a mínima de 24 horas diárias é 0 w/m² e uma máxima de 579,33 W/m².

A Tabela 6 mostra a radiação solar direta em W/m², nota-se um perfil anual com uma média total de 116,464 W/m² e uma máxima de 897,25 W/m².

Tabela 3 – Tratamento estatístico da temperatura de bulbo seco durante 14 anos.

Temperatura por Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C
Janeiro	26,239	22	32,5833
Fevereiro	25,5829	22	31,2333
Março	25,8359	22	32
Abril	26,1485	23	35,5
Maio	26,5852	23	33,2333
Junho	26,8504	19,9167	32,7083
Julho	26,5656	22	33
Agosto	26,7812	22,75	33
Setembro	26,7301	22	32
Outubro	27,1492	22,65	33
Novembro	26,9651	21,5833	33,4667
Dezembro	26,9095	22,5833	32,75
Anual	26,5344	19,9167	35,5

Fonte: Autor, (2022).



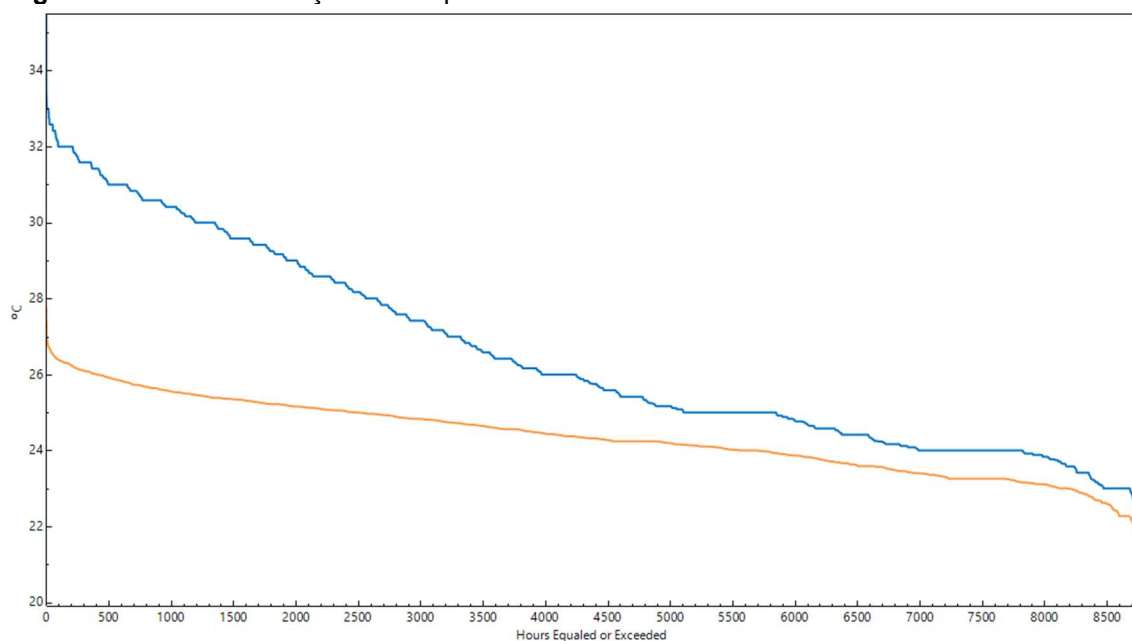
Tabela 4 – Tratamento estatístico da temperatura de bulbo úmido durante 14 anos.

Temperatura por Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C
Janeiro	24,5223	22	26,9078
Fevereiro	24,1776	21,5707	26,8085
Março	24,4427	21,7947	27,4893
Abril	24,6437	22,8352	27,7689
Maio	24,6108	22,8601	26,8172
Junho	24,2752	19,9167	26,5433
Julho	23,9245	20,8877	25,9119
Agosto	24,0646	22,0585	26,7274
Setembro	24,2522	21,5045	26,7007
Outubro	24,4095	22,1652	26,9336
Novembro	24,4441	21,1731	26,5755
Dezembro	24,5604	22,4596	26,7256
Anual	24,361	19,9167	27,7689

Fonte: Autor, (2022).

Na Figura 3 é mostrada a curva de duração das temperaturas de bulbo seco e úmido por horas durante 14 anos cada ano possuindo uma catalogação de 8.760 horas. A temperatura de bulbo seco (linha azul) vai de 19,91 °C até 35,5. A temperatura de bulbo úmido (linha laranja) vai de 19,91 °C até 27,76 °C.

Figura 3 – Curva de duração da temperatura de bulbo seco e úmido durante 14 anos.



Fonte: Autor, (2022).



Tabela 5 – Tratamento estatístico da Radiação solar difusa durante 14 anos.

Radiação por Mês	Média W/m ²	Mínima W/m ²	Máxima W/m ²
Janeiro	128,952	0	522,167
Fevereiro	138,061	0	579,333
Março	139,031	0	576,583
Abril	132,425	0	541,833
Maio	116,15	0	486,583
Junho	103,664	0	495,917
Julho	102,833	0	475,167
Agosto	105,392	0	533,083
Setembro	121,498	0	480,25
Outubro	126,811	0	556,917
Novembro	127,387	0	550,25
Dezembro	128,777	0	546,25
Anual	122,454	0	579,333

Fonte: Autor, (2022).

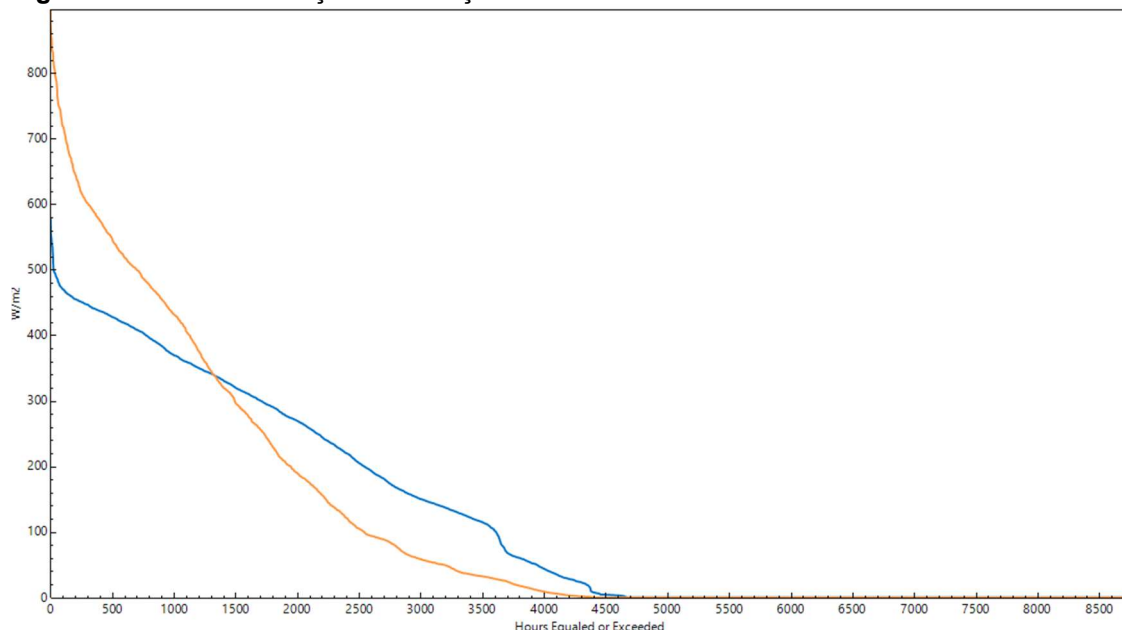
Tabela 6 – Tratamento estatístico da Radiação solar direta durante 14 anos.

Radiação por Mês	Média W/m ²	Mínima W/m ²	Máxima W/m ²
Janeiro	70,5882	0	748,8333
Fevereiro	48,6176	0	598,417
Março	61,6667	0	643,25
Abril	66,3131	0	613,917
Maio	112,366	0	884,083
Junho	144,904	0	834,25
Julho	166,335	0	809,25
Agosto	185,382	0	897,25
Setembro	161,23	0	777,67
Outubro	143,369	0	873,083
Novembro	124,353	0	789,833
Dezembro	106,976	0	829,75
Anual	116,464	0	897,25

Fonte: Autor, (2022).

Na Figura 4 é mostrada a curva de duração da radiação solar direta e difusa. A radiação solar difusa (linha azul) vai de 0 W/m² até 579,33 W/m². A radiação solar direta (linha laranja) vai de 0 W/m² até 897,25 W/m².

Figura 4 – Curva de duração da radiação solar direta e difusa durante 14 anos.



Fonte: Autor, (2022).

4.2 Resultados do arquivo SWERA

Feito o tratamento estatístico de 25 anos (1973 – 1997), gerou-se os perfis finais. A Tabela 7 mostra as temperaturas de bulbo seco, nota-se um perfil com uma média de 26,46 °C, uma mínima de 21,91 °C e uma máxima de 35,54 °C.

Tabela 7 – Tratamento estatístico da temperatura de bulbo seco durante 25 anos.

Temperatura por Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C
Janeiro	26,0797	21,9167	33,5
Fevereiro	25,5362	22	31,5833
Março	25,8412	22,7667	32
Abril	25,8974	23	32,5833
Maio	26,1658	23	32,6667
Junho	26,8527	23	32,75
Julho	26,6585	22	33,0833
Agosto	26,7634	22,4167	35,5417
Setembro	26,7333	23	32,9167
Outubro	27,1569	22	33,125
Novembro	26,8744	23	33
Dezembro	26,9573	23	34,1167
Anual	26,466	21,9167	35,5417

Fonte: Autor, (2022).



A Tabela 8 mostra as temperaturas de bulbo úmido, nota-se um perfil com uma média de 24,45 °C, uma mínima de 19,35 °C e uma máxima de 28,64 °C.

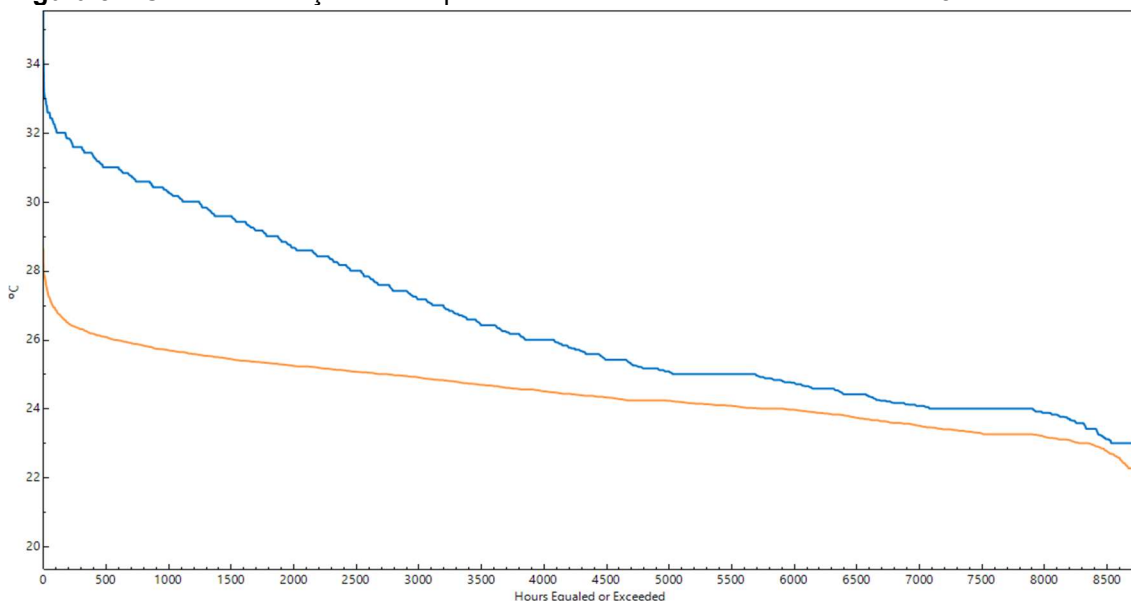
Tabela 8 – Tratamento estatístico da temperatura de bulbo úmido durante 25 anos.

Temperatura por Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C
Janeiro	24,5588	21,6135	27,8036
Fevereiro	24,2604	22	26,4981
Março	24,4061	22,2732	26,704
Abril	24,4904	22,2729	26,7473
Maiο	24,6574	22,6991	27,7412
Junho	24,4526	21,8778	27,1485
Julho	24,2223	21,2899	27,8738
Agosto	24,1065	22,1183	26,9421
Setembro	24,4408	20,0756	26,8005
Outubro	24,3816	21,587	27,5625
Novembro	24,3283	19,3591	26,569
Dezembro	25,1742	22,9058	28,6467
Anual	24,4586	19,3591	28,6467

Fonte: Autor, (2022).

Na Figura 5 a temperatura de bulbo seco (linha azul) varia de 21,9 °C até 35,5 °C. A temperatura de bulbo úmido (linha laranja) varia de 19,3 °C a 28,6 °C.

Figura 5 – Curva de duração da temperatura de bulbo seco e úmido durante 25 anos.



Fonte: Autor, (2022).



Na Tabela 9 nota-se um perfil da radiação solar difusa com uma média de 117,19 W/m² e uma máxima de 625,5 W/m². A Tabela 10 mostra o perfil da radiação solar direta com uma média de 128,95 W/m² e máxima de 810,5 W/m².

Tabela 9 – Tratamento estatístico da Radiação solar difusa durante 25 anos.

Radiação por Mês	Média W/m²	Mínima W/m²	Máxima W/m²
Janeiro	127,905	0	617,583
Fevereiro	132,998	0	566,167
Março	130,651	0	548,25
Abril	119,864	0	564,75
Maio	113,702	0	510,5
Junho	97,9381	0	482,167
Julho	97,3185	0	517,917
Agosto	104,176	0	489,75
Setembro	115,128	0	607,5
Outubro	120,671	0	609,667
Novembro	123,014	0	556,417
Dezembro	124,276	0	625,5
Anual	117,196	0	625,5

Fonte: Autor, (2022).

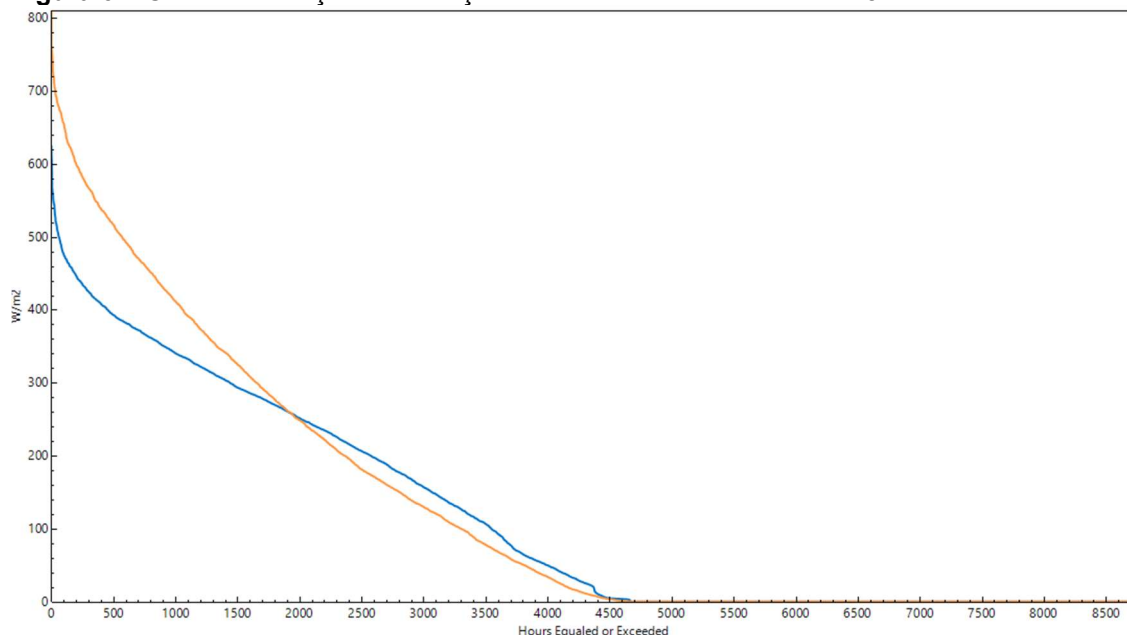
Tabela 10 – Tratamento estatístico da Radiação solar direta durante 25 anos.

Radiação por Mês	Média W/m²	Mínima W/m²	Máxima W/m²
Janeiro	93,7848	0	704,333
Fevereiro	82,4431	0	683,333
Março	86,8915	0	690,75
Abril	98,0862	0	735
Maio	117,828	0	759
Junho	154,761	0	755,25
Julho	169,415	0	730,167
Agosto	174,749	0	761,417
Setembro	154,647	0	810,5
Outubro	154,113	0	808,917
Novembro	140,104	0	720,667
Dezembro	117,227	0	704,25
Anual	128,95	0	810,5

Fonte: Autor, (2022).

Na Figura 6 a radiação solar difusa (linha azul) varia de 0 W/m² até 625,5 W/m². A radiação solar direta (linha laranja) varia de 0 W/m² até 810,5 W/m².

Figura 6 – Curva de duração da radiação solar direta e difusa durante 25 anos.



Fonte: Autor, (2022).

4.3 Análise comparativa.

Nota-se que em relação ao perfil final da temperatura de bulbo seco a diferença da média total entre ambos arquivos é de 0,0684 °C com o arquivo do projeto IWECE apresentando uma maior temperatura média. A temperatura mínima variou 2 °C com o arquivo do projeto SWERA apresentando a maior temperatura entre ambos. A temperatura máxima variou 0,0417 °C com o arquivo do projeto SWERA com a maior temperatura.

No perfil final da temperatura de bulbo úmido a diferença da média total entre ambos arquivos é de 0,0976 °C com o arquivo do projeto SWERA apresentando uma maior temperatura. A temperatura mínima variou 0,5576 °C com o arquivo do projeto IWECE apresentando a maior temperatura entre ambos. A temperatura máxima variou 0,8778 °C com o arquivo do projeto SWERA com a maior temperatura medida.

No perfil final da radiação solar difusa a diferença da média total entre ambos arquivos é de 5,258 W/m² com o arquivo do projeto IWECE apresentando



a maior radiação. A radiação difusa máxima variou 46,167 W/m² com o arquivo do projeto SWERA com a maior radiação medida.

No perfil final da radiação solar direta a média total variou entre ambos arquivos 12,486 W/m² com o arquivo do projeto SWERA apresentando a maior radiação. A radiação direta máxima variou 86,75 W/m² com o arquivo do projeto IWECA com a maior radiação medida.

4.4 Novo Perfil entre as duas bases.

Feito o tratamento estatístico a partir da média por horas de cada arquivo climático (IWECA e SWERA) gerou-se os perfis finais mostrados abaixo.

A Tabela 11 mostra as temperaturas do bulbo seco, nota-se um perfil com uma média total de 26,5 °C, uma mínima de 21,45 °C e uma máxima de 34,27 °C. O mês com maior temperatura foi agosto e o com menor foi junho.

Tabela 11 – Tratamento estatístico da temperatura de bulbo seco entre as bases de dados.

Temperatura por Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C
Janeiro	26,0797	21,9583	33,0416
Fevereiro	25,5595	22	31,4083
Março	25,8385	22,3833	32
Abril	26,0229	23	32,5416
Mai	26,3755	23	32,95
Junho	26,8515	21,4583	32,7291
Julho	26,6120	22	33,0416
Agosto	26,7723	22,5833	34,2708
Setembro	26,7317	22,5	32,4583
Outubro	27,1530	22,325	33,0625
Novembro	26,9197	22,2916	33,2333
Dezembro	26,9334	22,7916	33,4333
Anual	26,5	21,4583	34,2708

Fonte: Autor, (2022).

A Tabela 12 mostra as temperaturas de bulbo úmido em °C, percebe-se um perfil anual com uma média total de 24,40 °C, uma mínima de 20,26 °C e uma máxima de 27,68 °C. O mês com maior temperatura neste perfil foi dezembro e o com menor foi novembro.



Tabela 12 – Tratamento estatístico da temperatura de bulbo úmido entre as bases de dados.

Temperatura por Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C
Janeiro	24,5405	21,8067	27,3557
Fevereiro	24,219	21,7853	26,6533
Março	24,4244	22,0339	27,0966
Abril	24,5670	22,5540	27,2581
Maio	24,6341	22,7796	27,2792
Junho	24,3639	20,8972	26,8459
Julho	24,0734	21,0888	26,8928
Agosto	24,0855	22,0884	26,8347
Setembro	24,3465	20,79	26,7506
Outubro	24,3955	21,8761	27,248
Novembro	24,3862	20,2661	26,5722
Dezembro	24,8673	22,6827	27,6861
Anual	24,4098	20,2661	27,6861

Fonte: Autor, (2022).

A Tabela 13 mostra a radiação solar difusa, nota-se um perfil com uma média de 119,825 W/m² e uma máxima de 585,875 W/m². Com o mês de dezembro apresentando a maior radiação difusa medida.

Tabela 13 – Tratamento estatístico da Radiação solar difusa entre as bases de dados.

Radiação por Mês	Média W/m ²	Mínima W/m ²	Máxima W/m ²
Janeiro	128,428	0	569,875
Fevereiro	135,5295	0	572,75
Março	134,841	0	562,4165
Abril	126,1445	0	553,2915
Maio	114,926	0	498,5415
Junho	100,8010	0	489,042
Julho	100,0757	0	496,542
Agosto	104,784	0	511,4165
Setembro	118,313	0	303,75
Outubro	123,741	0	583,292
Novembro	125,2005	0	553,3335
Dezembro	126,5265	0	585,875
Anual	119,825	0	585,875

Fonte: Autor, (2022).



A Tabela 14 mostra o perfil da radiação solar direta com uma média de $122,707 \text{ W/m}^2$ e máxima de 841 W/m^2 . Com o mês de outubro apresentando a maior radiação direta medida.

Tabela 14 – Tratamento estatístico da Radiação solar direta entre as bases de dados.

Radiação por Mês	Média W/m^2	Mínima W/m^2	Máxima W/m^2
Janeiro	82,1865	0	726,5831
Fevereiro	65,5303	0	640,875
Março	74,2791	0	667
Abril	82,1996	0	674,4585
Maio	115,097	0	821,5415
Junho	149,8325	0	794,75
Julho	167,875	0	769,7085
Agosto	180,0655	0	829,3335
Setembro	157,9385	0	794,085
Outubro	148,741	0	841
Novembro	132,2285	0	755,25
Dezembro	112,1015	0	767
Anual	122,707	0	841

Fonte: Autor, (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Valores médios, mínimos, máximos e curvas de duração, para a radiação solar direta e difusa, e para as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido foram obtidos a partir do tratamento estatístico temporal dos dados compilados em duas bases diferentes de dados climáticos. Valores médios, mínimos e máximos, também foram obtidos para estas variáveis climáticas considerando o cruzamento entre as referidas bases de dados. Com isso, foi possível gerar perfis finais para a cidade de Belém-PA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARQUIVOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DE BELÉM-PA, 2022. **Weather Data by country. South America (WMO Region 3) – Brazil**. Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA. Acesso em: 1 de novembro de 2022.



AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

CASAGRANDE, B. G.; ALVAREZ, C. E. de. Preparação de arquivos climáticos futuros para avaliação dos impactos das mudanças climáticas no desempenho termoenergético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 173-187, jul./set. 2013.

CODEM - Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (2011). **Caracterização do Território**. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/1_01_Caracterizacao%20do%20Territorio.pdf. Acesso em: 29 de outubro de 2022.

CONTI, J. B. A climatologia e a defesa da natureza. **Boletim Climatológico da FTC/UNESP**, Presidente Prudente, São Paulo, n. 2, p.05-09, 1996.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 3 de novembro de 2022.

OPENSTUDIO v3.3.0. Disponível em: <https://openstudio.net/>. Acesso em: 22 de outubro de 2022.

PASSOS FILHO, J. A. A.; RAVIOLO, B. de P. y; CATUNDA, N.; CASTRO, N. H. B. de .; ANDRADE, K. C. de; CARDOSO , D. R. Construção de arquivos TRY a partir de padrões climáticos conhecidos de cidades próximas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019030, 2019.

PEREIRA, Iraci; ALVES, Tatiana; PINHEIRO, Ricardo; ASSIS, Eleonora. Metodologia de tratamento de dados climáticos para inserção em softwares de simulação energética de edifícios. **I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**. São Paulo, julho 2004.