

CLIMATEINDEX



REPENSANDO A GEOGRAFIA

APP



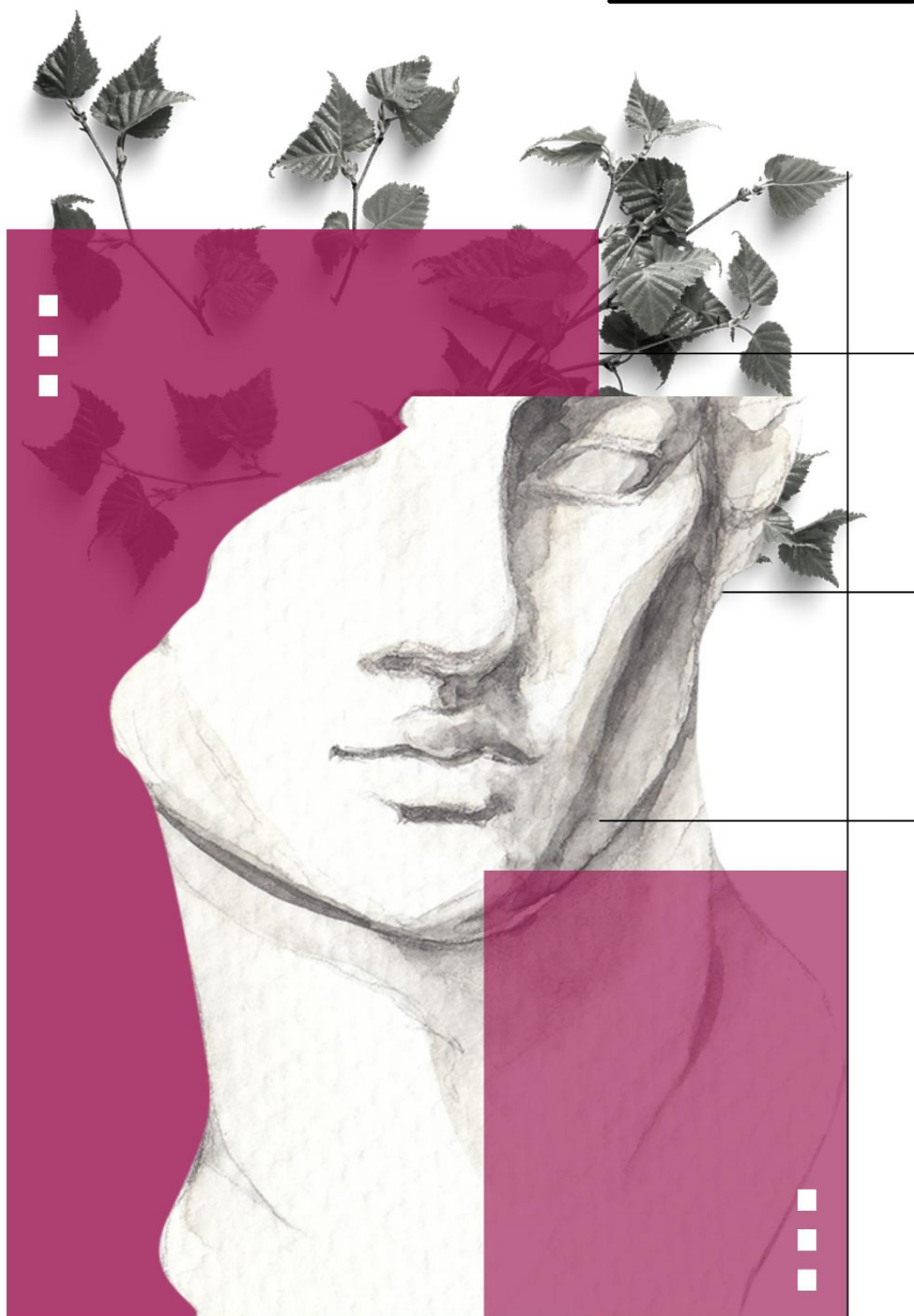


PROPOSTA DESENVOLVIMENTO O APLICATIVO CLIMATE INDEX

Por: Felipe Oliveira



METODOLOGIA DO BALANÇO HÍDRICO DE TORNTHTWAITE E MATHER (1955) ADAPTADA PORT XAVIER (2022)



CAPÍTULO 1

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) é uma metodologia utilizada para quantificar a entrada e saída de água no sistema, através do solo, planta e atmosfera, estimando a disponibilidade de água ao longo do tempo. Essa metodologia fornece informações sobre a retenção de água no solo, déficit hídrico e excedente hídrico, permitindo analisar as fases de disponibilidade de água ao longo dos anos. As principais entradas de água consideradas no BHC são a Precipitação (**P**), proveniente das chuvas. As principais saídas de água incluem a Evapotranspiração (**ET**), que representa a perda de água para a atmosfera pelo solo e vegetação, e a Drenagem Profunda (**DP**), que é o excesso de água que percola para os lençóis freáticos. Para balanços climatológicos, sem considerar irrigação ou ascensão capilar, a equação geral do balanço hídrico simplificado para:

$$\Delta ARM = P - ET - DP$$

Onde:

- ΔARM : variação do armazenamento de água no solo;
- P: precipitação total mensal (mm);
- ET: evapotranspiração (mm);
- DP: drenagem profunda/excedente que percola para o lençol freático (mm).

Valores positivos de ΔARM indicam que a água disponível atende à demanda da vegetação; Valores negativos indicam déficit hídrico.

Interpretação:

Essa equação expressa o princípio da conservação da água no solo: tudo o que entra (chuva) menos o que sai (evapotranspiração + drenagem) resulta na variação de armazenamento.

Se $\Delta ARM >$

1.1. Cálculo da Evapotranspiração Potencial (ETP)

A Evapotranspiração Potencial (ETP) é a base da metodologia de Thornthwaite (1955), representando a quantidade máxima de água que pode ser transferida para a atmosfera por evaporação do solo e transpiração das plantas, assumindo um suprimento ilimitado de água. Seu cálculo mensal é influenciado pela temperatura média mensal do ar e pela duração do dia (fotoperíodo). A fórmula para a ETP mensal (ETPm) é:

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514}$$

Onde:

- **ETP_m** = Evapotranspiração Potencial mensal (em mm).
- **T_m** = Temperatura média mensal do ar (em °C).
- **I** = Índice térmico anual, calculado como a soma dos 12 índices térmicos mensais:

$$ETP_m = 16 \times \left(\frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^a \cdot k$$

a = coeficiente empírico calculado a partir de **I**:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} I + 0,49239.$$

k = fator de correção do fotoperíodo (ajusta a evapotranspiração de acordo com a latitude e a duração do mês).

Interpretação:

O **16** é uma constante de referência usada para o mês padrão de 30 dias com 12 horas de luz.

O termo $\left(\frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^a$ relaciona a temperatura média do mês com o índice de calor anual, representando a energia disponível para a evapotranspiração.

O **k** ajusta a fórmula à realidade da latitude e do número de dias do mês (ex.: janeiro ≠ fevereiro ≠ julho).

Sequência do Cálculo do Balanço Hídrico

Entrada de dados:

O usuário fornece os **dados climáticos mensais**:

- Temperatura média (T_m);
- Precipitação (P);

Esses valores alimentam todo o cálculo subsequente.

Cálculo da Evapotranspiração Potencial (ETP)

- Aplicar a fórmula de **Thornthwaite (1948)**, ajustada para a latitude/localidade:

Onde:

$$ETP_m = 16 \times \left(\frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^a \cdot k$$

- **T_m** = temperatura média mensal
- **I** = índice de calor anual
- **a** = coeficiente empírico
- **k** = fator de correção de latitude/duração do mês

Isso gera o valor de referência da **d demanda hídrica** mensal.

1.2. Diferença P – ETP

Calcular:

$$P - ETP - ETP - ETP$$

Esse valor indica **situação hídrica preliminar**:

Positivo → possibilidade de **excedente**.

Negativo → ocorrência de **déficit potencial**.

1.2.3. Acúmulo de déficits (NEG.ACUM)

- Somar os valores negativos de P–ETPP - ETPP–ETP.
- Esse valor representa a **água que o solo precisa fornecer** para compensar a falta de chuva.
- É a base para calcular o quanto o solo está sendo “esvaziado” em termos de armazenamento de água.

1.2.4. Armazenamento de água no solo (ARM)

- O ARM é limitado pela **Capacidade de Água Disponível (CAD)** do solo.
- O CAD é um parâmetro fixo escolhido pelo pesquisador.
- Por padrão, adota-se **100 mm** como referência.
- Mas, em alguns estudos ou testes, pode-se adotar **10 mm como base simplificada**, apenas como **referencial para simulação**.
- Assim, o ARM varia entre **0 e CAD**.

1.2.5. Variação do ARM (ΔARM ou ATL)

- Representa a mudança no armazenamento de um mês para outro:

$$\Delta ARM = ARM_{mês} - ARM_{mês - 1}$$

1.2.6. Evapotranspiração Real (ETR)

- A ETR depende da disponibilidade de água no solo:

$$ETR = \begin{cases} ETP & \text{se } P \geq ETP \\ P + ARM_{inicial} - ARM_{final} & \text{se } P < ETP \end{cases}$$

1.2.7. Déficit Hídrico (DEF)

- Ocorre quando a demanda de evapotranspiração não é totalmente atendida:

$$DEF = ETP - ETR$$

Mostra o **estresse hídrico** sofrido pela vegetação.

1.2.8. Excedente Hídrico (EXC)

- Quando o solo atinge sua capacidade máxima (CAD) e ainda sobra água da chuva:

$$EXC = \begin{cases} (P - ETP) - \Delta ARM & \text{se } ARM = CAD \\ 0 & \text{se } ARM < CAD \end{cases}$$

Resumo para o app:

1. Usuário insere **P** e **Tm**.
2. Sistema calcula **ETP (Thornthwaite)**.
3. Faz **P – ETP** (excedente ou déficit preliminar).
4. Atualiza **NEG.ACUM**.
5. Calcula **ARM** (respeitando limite CAD).
6. Calcula **ΔARM**.
7. Calcula **ETR**.
8. Calcula **DEF**.
9. Calcula **EXC**.

1.2.9 Metodologia de Xavier – Coleta e Organização dos Dados

Base de Dados:

- BR-DWGD (1961–2020; resolução espacial $\approx 0,1^\circ$). O BR-DWG usa a coleção de dados climáticos coletadas pelo Instituto de Metrologia (INMET) e da Agencia Nacional da Agua (ANA).

Variáveis diárias mínimas obrigatórias:

- Precipitação (P, mm)
- Temperatura máxima (Tmax, °C)
- Temperatura mínima (Tmin, °C)

Registro temporal: dados devem conter ano, mês e dia.

Variáveis opcionais (quando disponíveis):

- Umidade Relativa (UR, %)
- Velocidade do Vento (VV, m/s)
- Radiação solar (RadSol, MJ/m²)

1.3. Passo a Passo

1. Localização dos pontos de coleta

- Para um ponto específico: selecionar a célula de grade mais próxima;
- Para municípios ou polígonos: calcular a média espacial das células contidas ou intersectadas, usando média ponderada pela área.

2. Ingestão dos dados diários → Tabela bruta

Formato inicial (colunas):

(Ano | mês | dia | Rad. Sol | Tmax_C | Tmin_C | UR_% | VV_ms | P_mm | ETo)

3. Tratamento de qualidade dos dados

- Remover **duplicidades**.
- Marcar **valores ausentes** (NA).
- Verificar **limites físicos plausíveis**, por exemplo:

$$-10\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_{max} \leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$$

4. Cálculo da Temperatura Média diária

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

5. Agregação mensal (por ano/mês)

Gerar valores mensais a partir das séries diárias:

- **Precipitação (P_m)** = soma(P_diária)
- **Temperaturas:**
 1. Tmax_m = média (Tmax_diária)
 2. Tmin_m = média (Tmin_diária)
 3. Tmed_m = média (Tmed_diária)

- **UR_m** = média (UR_diária) (se disponível)
- **VV_m** = média (VV_diária) (se disponível)
- **Rad_m** = soma ou média da radiação diária (conforme unidade de origem)
- **n_dias_validos** = total de dias válidos no mês
- **%cobertura** = $(n_dias_validos / n^{\circ} \text{ de dias do mês}) \times 100$

Observação Importante

- As variáveis **UR, VV e Radiação** não são exigidas para o cálculo pelo método de **Thornthwaite**.
- Contudo, devem ser mantidas na planilha para atender às requisições do projeto e para permitir aplicações futuras com metodologias mais completas (ex.: **Penman-Monteith**).
- Caso não estejam disponíveis, registrar como **NA**.

METODOLOGIA DE MAINAR MEDEIROS (2018) PARA FAZER O BALANÇO HÍDRICO

CAPÍTULO 2



A metodologia proposta por Raimundo Mainar (2018) se baseia no método clássico de Thornthwaite & Mather (1955) para o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), adaptado à realidade do semiárido nordestino, especialmente da Paraíba. Essa adaptação considera a **Capacidade de Água Disponível (CAD)** do solo como referência fixa de **100 mm**, valor adotado como padrão nos estudos desenvolvidos pelo autor, representando o limite máximo de armazenamento de água no solo antes que ocorra escoamento ou percolação profunda (FRANCISCO; MEDEIROS; SANTOS, 2018).

O procedimento metodológico é implementado por meio de planilhas eletrônicas, que organizam os dados climáticos e realizam o cálculo sequencial das variáveis do balanço hídrico. Os dados de entrada necessários são a precipitação (**P**) e a temperatura média (**T_m**), a partir da qual se estima a Evapotranspiração Potencial (**ETP**) pelo método de Thornthwaite, ajustado à latitude e duração dos meses.

2. Uma vez obtida a ETP, a planilha segue o seguinte processo:

1. **Cálculo da diferença P – ETP:** determina se há excedente ($P > ETP$) ou déficit potencial ($P < ETP$);
2. **Controle do armazenamento de água no solo (ARM):** limitado ao CAD de 100 mm. O ARM é atualizado mensalmente, aumentando quando há excedente de chuva e diminuindo quando a demanda de evapotranspiração não é atendida pela precipitação;
3. **Variação do armazenamento (ΔARM):** diferença entre o ARM do mês atual e o do mês anterior;
4. **Cálculo da Evapotranspiração Real (ETR):** quando a precipitação é suficiente ($P \geq ETP$), $ETR = ETP$; quando não é, a ETR é limitada ao somatório da chuva mais a retirada de água armazenada no solo;
5. **Déficit hídrico (DEF):** ocorre quando a ETP não é atendida integralmente pela ETR, representando o estresse hídrico das plantas;
6. **Excedente hídrico (EXC):** quando o ARM atinge o limite do CAD e ainda há precipitação excedente, indicando água disponível para escoamento superficial ou recarga de aquíferos.

Essa estrutura sequencial da planilha permite visualizar mês a mês o comportamento hídrico da região analisada, mostrando de forma integrada períodos de déficit, excedente e equilíbrio. A metodologia é amplamente aplicada em estudos climatológicos e agrícolas no

semiárido, permitindo análises históricas e simulações de cenários futuros. Em trabalhos como o de Cabaceiras-PB, por exemplo, foram testados cenários de aumento de temperatura (+1 °C a +4 °C) e redução da precipitação (−10% e −20%), mostrando como essas variações intensificam o déficit hídrico e comprometem a disponibilidade de água (MEDEIROS et al., 2015; FRANCISCO; MEDEIROS; SANTOS, 2018).

Dessa forma, a **Metodologia de Mainar** se consolida como uma ferramenta robusta para o monitoramento e a simulação da disponibilidade hídrica em ambientes semiáridos, com forte aplicabilidade em estudos de clima, recursos hídricos e planejamento agrícola.

2.1. Dados de entrada e identificação (planilha)

A planilha “Mestra” deve conter, **no mínimo**, os seguintes campos por linha (mês/estação ou mês/município):

- **Nome do município, UF**
- **lat** (graus decimais; necessária ao fator de fotoperíodo), **lon**
- **P_mm** (precipitação média)
- **Tmed_C** (temperatura média)

Observação: importante sobre CAD: no escopo “Mainar”, **CAD = 100 mm** é a referência padronizada. Para testes ou calibrações, pode-se operar com outro valor (p.ex., **10 mm como base referencial**), desde que parametrizável no sistema.

2.1.2 Etapas de cálculo (lógica da planilha)

1. ETP mensal (Thornthwaite):

Calcular a **Evapotranspiração Potencial** com a equação de Thornthwaite, usando **Tmed** e corrigindo por **latitude** (fotoperíodo) e **duração do mês**:

$$ETP_m = 16 \times \left(\frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^a \times k(\text{lat}, \text{mês})$$

Com III = índice de calor anual e aaa função de III; kkk é o fator que ajusta pela **latitude** e **nº de dias do mês** (tabelas/instruções originais).

2. Saldo preliminar

$$P - ETP \text{ (-)} ETP - ETP$$

Indica tendência de **excedente potencial** (positivo) ou **déficit potencial** (negativo).

3. Armazenamento de água no solo (ARM)

Atualizar o **ARM** mês a mês, limitado ao intervalo (0, CAD).

- Se $P \geq ETP$: o solo **recarrega**; ARM_{m+1} tende a **subir** até **CAD**.
- Se $P < ETP$: o solo **cede água**; ARM_{m+1} **diminui** (consumo do armazenamento).

O ΔARM é a variação mensal:

$$\Delta ARM = ARM_m - ARM_{m-1}.$$

4. Evapotranspiração Real (ETR)

$$ETR = \begin{cases} ETP, & \text{se } P \geq ETP \text{ (demanda atendida)} \\ P + (ARM_{início} - ARM_{fim}), & \text{se } P < ETP \text{ (demanda limitada)} \end{cases}$$

5. Déficit hídrico (DEF)

$$DEF = ETP - ETR \quad DEF = ETP - ETR$$

Expressa o **estresse hídrico** (parcela da demanda não atendida).

6. Excedente hídrico (EXC)

Quando o solo **já está cheio** ($ARM = CAD$) e ainda **sobra** água:

$$EXC = \begin{cases} (P - ETP) - \Delta ARM, & \text{se } ARM = CAD \\ 0, & \text{se } ARM < CAD \end{cases}$$

2.1.3. Como a planilha “anda” (resumo operacional para a equipe)

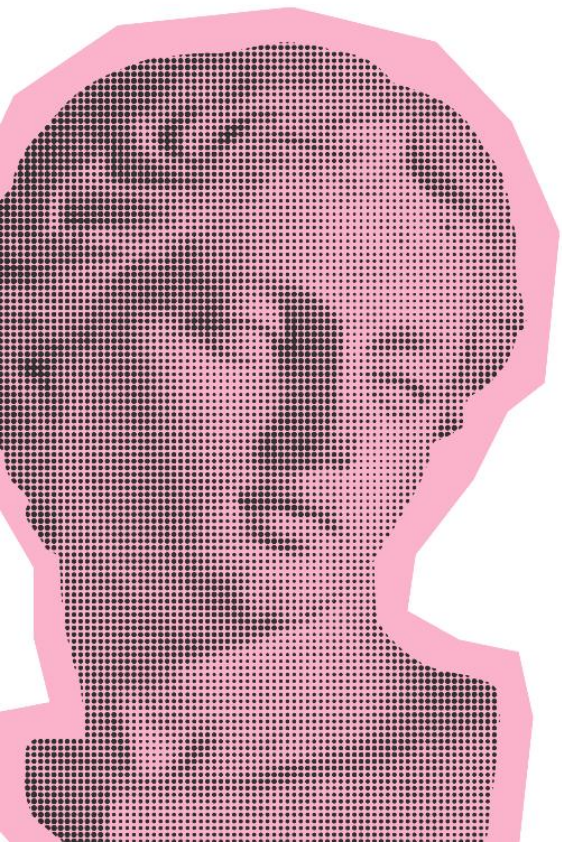
Para cada linha (mês) e cada ponto/município:

1. Ler: ano, mês, **lat**, lon, **P_mm**, **Tmed_C**, CAD (padrão **100 mm**, mas configurável).
2. Calcular ETP (Thornthwaite) com **k(lat, mês)**.
3. Calcular $P - ETP$ e $ETPP - ETP$.
4. Atualizar ARM com base no saldo e **truncar** para (0,CAD).
5. Calcular ΔARM , ETR, DEF, EXC conforme fórmulas acima.
6. Registrar resultados nas colunas de saída: ETP_mm, ARM_mm, dARM_mm, ETR_mm, DEF_mm, EXC_mm.

CAPÍTULO *III*



METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA (TCA) DE TORNTHTWAITE (1955)



1. COLETA DE DADOS ANUAIS

O primeiro passo é ter acesso aos dados anuais de:

-P (Precipitação): Total anual de precipitação em milímetros (mm);

-ETP (Evapotranspiração Potencial): Total anual de evapotranspiração potencial em milímetros (mm). Este valor é a quantidade de água que evaporaria e transpiraria se houvesse suprimento ilimitado de água;

-ETR (Evapotranspiração Real): Total anual de evapotranspiração real em milímetros (mm). É a quantidade de água que realmente evapora e transpira, considerando a disponibilidade de água no solo;

-DEF (Déficit Hídrico): Total anual de déficit hídrico em milímetros (mm). Representa a diferença entre a ETP e a ETR quando a ETP é maior que a ETR;

-EXC (Excedente Hídrico): Total anual de excedente hídrico em milímetros (mm). Representa a diferença entre a ETR e a ETP quando a ETR é maior que a ETP.

Obs.: os dados são obtidos através do Instituto de Meteorologia (INMET) e Agência Nacional das Águas (ANA)

2. CÁLCULO DOS ÍNDICES DE THORNTHWAITE

Com os dados anuais, se pode calcular os três principais índices de Thornthwaite:

a. Índice de Aridez (Ia)

O Índice de Aridez (Ia) quantifica a deficiência de água em relação à demanda atmosférica. É calculado pela seguinte fórmula:

$$Ia = 100 \times DEF \div ETP$$

Onde:

DEF: Déficit hídrico anual (mm)

ETP: Evapotranspiração Potencial anual (mm)

b. Índice Hídrico (Ih)

O Índice Hídrico (Ih) quantifica o excedente de água em relação à demanda atmosférica. É calculado pela seguinte fórmula:

$$Ih = 100 \div times \div frac (EXC) (ETP)$$

Onde:

EXC: Excedente hídrico anual (mm)

ETP: Evapotranspiração Potencial anual (mm)

c. Índice de Umidade (Iu)

O Índice de Umidade (Iu) é o principal indicador para a classificação do tipo de clima, combinando os índices de aridez e hídrico. É calculado pela seguinte fórmula:

$$Iu = Ih - 0.6 \div \text{times } Ia$$

Onde:

Ih: Índice Hídrico

Ia: Índice de Aridez

3. Classificação do Tipo de Clima (Baseado no Índice de Umidade - Iu)

O Índice de Umidade (Iu) é o principal critério para determinar o tipo de clima. A Tabela I abaixo mostra as categorias de classificação com base nos valores de Iu:

Tabela I – Tipos climáticos

TIPO DE CLIMA	I _u
A → superúmido	I _u ≥ 100
B ₄ → úmido	80 ≤ I _u < 100
B ₃ → úmido	60 ≤ I _u < 80
B ₂ → úmido	40 ≤ I _u < 60
B ₁ → úmido	20 ≤ I _u < 40
C ₂ → subúmido	0 ≤ I _u < 20
C ₁ → subúmido seco	-20 ≤ I _u < 0
D → semiárido	-40 ≤ I _u < -20
E → árido	-60 ≤ I _u < -40

No aplicativo, pode implementar uma série de condicionais (if/elif/else) para classificar o tipo de clima com base no valor calculado de Iu. Por exemplo:

```
python
if iu >= 100:
    tipo_clima = 'A - Superúmido'
elif 80 <= iu < 100:
    tipo_clima = 'B4 - Úmido'
... e assim por diante para as outras categorias
else:
    tipo_clima = 'E - Árido'
```

4. Classificação do Subtipo Climático (Baseado nos Índices de Aridez - Ia e Hídrico - Ih)

O subtipo climático refina a classificação principal e depende se o clima é úmido (A, B, C2) ou seco (C1, D, E). As Tabelas II e III detalham essa classificação:

Tabela II - Subtipos para Climas Úmidos (A, B, C2)

CLIMAS ÚMIDOS (A, B, C ₂)	ÍNDICE DE ARIDEZ (I _a)
r → sem ou com pequena deficiência hídrica	$0 \leq I_a < 16,7$
s → deficiência hídrica moderada no verão	$16,7 \leq I_a < 33,3$
w → deficiência hídrica moderada no inverno	$16,7 \leq I_a < 33,3$
s ₂ → grande deficiência hídrica no verão	$I_a \geq 33,3$
w ₂ → grande deficiência hídrica no inverno	$I_a \geq 33,3$

Tabela III - Subtipos para Climas Secos (C1, D, E)

CLIMAS SECOS (C ₁ , D, E)	ÍNDICE HÍDRICO (I _h)
d → excedente hídrico pequeno ou nulo	$0 \leq I_h < 10$
s → excedente hídrico moderado no verão	$10 \leq I_h < 20$
w → excedente hídrico moderado no inverno	$10 \leq I_h < 20$
s ₂ → grande excedente hídrico no verão	$I_h \geq 33,3$
w ₂ → grande excedente hídrico no inverno	$I_h \geq 33,3$

No aplicativo, precisará, primeiro, identificar se o clima é úmido ou seco com base no **tipo de clima** já determinado. Em seguida, aplique as condições da tabela correspondente para definir o subtipo_clima.

if tipo_clima in ("C1 - Subúmido seco", "D - Semiárido", "E - Árido"):

 Lógica para climas secos usando I_h

 if 0 <= ih < 10:

 subtipo_clima = "d - excedente hídrico pequeno ou nulo"

 ... e assim por diante

else: Climas Úmidos (A, B, C2)

 Lógica para climas úmidos usando I_a

 if 0 <= ia < 16.7:

 subtipo_clima = "r - sem ou com pequena deficiência hídrica"

 ... e assim por diante

5. Classificação do Fator Térmico (Baseado na ETP Anual)

O fator térmico classifica o clima com base na Evapotranspiração Potencial (ETP) anual, que reflete a demanda de energia para a evapotranspiração. A Tabela IV detalha essa classificação:

Tabela IV - Tipos Térmicos e subtipos

TIPOS	ETP ANUAL (mm)	SUBTIPOS	(ETP NO VERÃO / ETP ANUAL) * 100
A' → megatérmico	ETP ≥ 1140	a'	menor que 48%
B' ₄ → mesotérmico	1140 > ETP ≥ 997	b' ₄	entre 48 e menos que 51,9%
B' ₃ → mesotérmico	997 > ETP ≥ 885	b' ₃	entre 51,9 e menos que 56,3%
B' ₂ → mesotérmico	885 > ETP ≥ 712	b' ₂	entre 56,3 e menos que 61,6%
B' ₁ → mesotérmico	712 > ETP ≥ 570	b' ₁	entre 61,6 e menos que 68%
C' ₂ → microtérmico	570 > ETP ≥ 247	c' ₂	entre 68 e menos que 76,3%
C' ₁ → microtérmico	427 > ETP ≥ 285	c' ₁	entre 76,3 e menos que 88%
D' → tundra	285 > ETP ≥ 142		
E' → gelo perpétuo	ETP < 142	d	igual ou maior que 88%

No aplicativo, pode usar condicionais para determinar o fator térmico com base no ETP anual:

```
if etp_anual >= 1140:
    fator_termico = "A\' - Megatérmico"
elif 997 <= etp_anual < 1140:
    fator_termico = "B\'4 - Mesotérmico"
... e assim por diante para as outras categorias
else:
    fator_termico = "E\' - Gelo Perpétuo"
```

6. Resumo do Processo para o Desenvolvimento do Aplicativo

Para desenvolver O aplicativo de classificação climática de Thornthwaite, é necessário seguir este fluxo de trabalho:

1. Entrada de Dados**: O aplicativo deve permitir que o usuário insira os valores anuais de P, ETP, ETR, DEF e EXC para a localidade desejada. Alternativamente, se o aplicativo for mais avançado, ele pode integrar-se a bancos de dados climáticos para obter esses dados automaticamente;

2. Cálculo dos Índices**: Implemente as fórmulas para calcular o Índice de Aridez (Ia), o Índice Hídrico (Ih) e o Índice de Umidade (Iu) com base nos dados de entrada;
3. Classificação do Tipo de Clima**: Utilize o valor de Iu e a Tabela I para determinar o tipo de clima (A, B, C2, C1, D ou E).
4. Classificação do Subtipo Climático**: Com base no tipo de clima (úmido ou seco) e nos valores de Ia e Ih, aplique as regras das Tabelas II e III para definir o subtipo climático;
5. Classificação do Fator Térmico**: Use o valor de ETP anual e a Tabela IV para classificar o fator térmico (A', B'4, B'3, etc.);
6. Exibição dos Resultados**: Apresente ao usuário a classificação climática completa, incluindo o tipo de clima, o subtipo climático e o fator térmico. Você pode, inclusive, gerar gráficos de pizza, como os que fizemos, para uma visualização mais intuitiva.

Obs.: A precisão dos resultados dependerá diretamente da qualidade e exatidão dos dados de entrada. Deve ser considerado, também, a implementação de validações para os dados inseridos pelo usuário.

CAPÍTULO

IV

RESUMO DOS PROCESSOS QUE O
APLICATIVO PRESCISARÁ *rodar*



REUSMO

CAP. 1

6. Explicando a Coleta e Preparação de Dados

Antes de calcular qualquer coisa do balanço hídrico, nosso aplicativo precisa obter e "limpar" os dados climáticos brutos. Esta é a etapa de ETL (Extract, Transform, Load) do nosso projeto.

Objetivo: Transformar Dados Brutos em Dados Mensais Confiáveis. Nossa meta é pegar uma série temporal de dados diários, que pode ter falhas e erros, e transformá-la em uma tabela limpa de valores mensais, pronta para os cálculos do balanço hídrico.

Fonte dos Dados (De onde extrairemos?):

- Base de Dados Principal: O documento cita a BR-DWGD, que é uma coleção de dados climáticos já organizados em uma grade sobre o Brasil. Pense nisso como um grande "mapa" onde cada "pixel" (célula da grade) tem um histórico climático diário de 1961 a 2020.
- Fontes Originais: Esses dados vêm de instituições como o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e a ANA (Agência Nacional de Águas).

Tradução para o Programador:

Nosso sistema não vai se conectar diretamente a uma estação meteorológica. Ele vai consultar uma base de dados pré-processada (BR-DWGD) que já contém os dados diários para milhares de pontos no Brasil.

6.1. O Passo a Passo da Preparação dos Dados

Passo 1: Localizar o Ponto de Coleta

O usuário vai informar um local (seja por coordenadas, nome do município ou desenhando um polígono no mapa). Nosso sistema precisa encontrar os dados correspondentes na nossa base de dados (a grade BR-DWGD).

Lógica:

- Para um ponto específico (ex: uma fazenda): O sistema deve encontrar a célula da grade mais próxima da coordenada fornecida e usar os dados dessa célula. (Busca por vizinho mais próximo).
- Para uma área (ex: um município): O sistema deve identificar todas as células da grade que caem dentro ou tocam os limites do município. O dado final para o município será uma média dos dados de todas essas células (o documento sugere uma média ponderada pela área de intersecção).

Tradução para o Programador:

Precisamos de uma função que, dada uma lat/lon ou um polígono, retorne os identificadores das células correspondentes na nossa base de dados. Se for um polígono, precisamos calcular uma média ponderada dos dados dessas células.

6.2. Passo 2: Ingestão dos Dados Diários

Uma vez que temos as células, extraímos a série histórica de dados diários. O documento especifica o formato esperado da tabela bruta.

Formato da Tabela (Colunas): (Ano, Mês, Dia, Radiação Solar, T.max. (C), T.min (C), Umidade Relativa (%), Velocidade do Vento (metros por segundo), Precipitação (mm), Evapo Transpiração.

Observação: Para o nosso cálculo principal (método de Thornthwaite), só precisamos de Temperatura e Precipitação. As outras colunas (umidade, vento, radiação) são "extras" que devem ser mantidas para cálculos futuros mais complexos (como Penman-Monteith).

Tradução para o Programador

A query ao banco de dados deve retornar uma tabela com essas colunas. Se os dados de umidade, vento ou radiação não existirem para um dia, eles devem ser marcados como NA ou null, mas a linha não deve ser descartada se tiver temperatura e precipitação.

6.3. Passo 3: Tratamento de Qualidade dos Dados

Dados brutos são sujos. Precisamos limpá-los antes de usar.

Lógica de Limpeza:

1. Remover Duplicidades: Verificar se não há duas linhas idênticas para o mesmo dia e local.
2. Marcar Valores Ausentes: Garantir que dias sem dados sejam explicitamente marcados como NA (Not a Number) ou null.
3. Verificar Limites Físicos: Aplicar regras de bom senso para remover erros grosseiros. O exemplo dado é excelente: if Tmax > 50°C or Tmax < -10°C then Tmax = NA. Uma temperatura máxima de 80°C no Brasil é claramente um erro de medição.

Tradução para o Programador:

Após extrair os dados, precisamos rodar uma função de 'sanitização' que aplica essas três regras de limpeza na tabela de dados diários.

6.4. Passo 4: Agregação Mensal (O "PIVOT")

O balanço hídrico roda com dados mensais, não diários. Portanto, precisamos agregar nossa tabela diária limpa.

Lógica de Agregação (para cada mês de cada ano):

- Precipitação Mensal (P_m): É a SOMA de toda a precipitação diária do mês. $P_m = \text{sum}(P_{\text{diaria}})$.
- Temperatura Média Mensal (T_{med_m}): É a MÉDIA das temperaturas médias diárias.
- Primeiro, para cada dia: $T_{\text{med_diaria}} = (T_{\text{max_diaria}} + T_{\text{min_diaria}}) / 2$.
- Depois, para o mês: $T_{\text{med}_m} = \text{mean}(T_{\text{med_diaria}})$.
- Outras Variáveis (opcionais): Calcular a média mensal para umidade (UR_m), vento (VV_m), etc.
- Controle de Qualidade: É útil também calcular a cobertura de dados ($\%_{\text{cobertura}}$). Ex: Se um mês tem 31 dias, mas só temos dados para 25, a cobertura é $(25/31) * 100 = 80\%$. Isso nos diz o quão confiável é o dado agregado para aquele mês.

Tradução para o Programador:

O passo final da preparação é transformar a longa tabela de dados diários em uma tabela mais curta, com uma linha para cada mês. A coluna de precipitação será a soma, e as colunas de temperatura serão as médias. Precisamos de uma função de agregação (como um GROUP BY Ano, Mês em SQL) para fazer isso.

CAP. 2

7. Explicando o *Climate Index*

Objetivo: Compreender volume de água em um determinado local.

- **Chuva (P):** É o quanto de água que entra.
- **Evapotranspiração Potencial (ETP):** É a quantidade de água que e pode sair todo mês, ou seja, o quanto a natureza *gostaria* de consumir de água se houvesse água infinita disponível.
- **Capacidade de Água Disponível (CAD):** É o limite máximo estabelecido como um referencial que o solo pode absolver de água. No projeto, o padrão é 100 mm.
- **Armazenamento (ARM):** É o saldo atual do solo, o quanto tem de água nesse solo. Ele varia de 0 a 100 (o CAD).

Obs.: o trabalho do nosso aplicativo é, mês a mês, calcular o "extrato" dessa conta corrente da água.

O Passo a Passo da Lógica (Com Exemplo Concreto)

Simulação do cálculo para um mês específico em uma cidade fictícia:

Dados de Entrada do Usuário (ou da nossa base de dados):

- Localidade: PB;
- Cidade: Campina Grande;
- Latitude: -7,0000 (UTM - em graus);
- Temperatura Média Janeiro: T.max.: 25 °C e T.min. 21 °.Fevereiro: T.max.: 28 °C e T.min. 23. ° (os dados devem ser gerados de janeiro até dezembro, levando em consideração a média total de 30 anos. Isso quer dizer que, precisa ser gerado os dados de temperatura máxima e média de janeiro de 1990 até 2019. A soma total vai gerar uma média para os 29 anos. Esse processo deve ser feito nos outros 11 meses);
- Precipitação (P): Janeiro: 90 mm, fevereiro 100 mm (os dados devem ser gerados de janeiro até dezembro, levando em consideração a média total de 30 anos. Isso quer dizer que, precisa ser gerado os dados da precipitação e média de janeiro de 1990 até 2019. A soma total vai gerar uma média para os 29 anos. Esse processo deve ser feito nos outros 11 meses);
- CAD (fixo): 100 mm;
- Armazenamento do Mês Anterior (ARM dez): 60 mm (O app precisa saber como o mês anterior terminou).

7.1. Passo 1: Calcular a Demanda de Água (ETP)

O que a fórmula precisa?

1. A temperatura média de todos os 12 meses do ano para calcular o Índice de Calor Anual (I).
2. A temperatura do mês atual ($T_m = 25\text{ °C}$).
3. A latitude da cidade e o mês atual para buscar o fator de correção (k) em uma tabela.

Exemplo de Cálculo (Simplificado):

1. O sistema calcula o I (ex: $I = 120$).
2. O sistema calcula o expoente a com base no I.
3. O sistema busca o k para Janeiro na latitude -7.0 (ex: $k = 1.05$).
4. Ele joga tudo na fórmula: $ETP = 16 * (10 * 25 / 120)^a * 1.05$
5. Resultado (Exemplo): $ETP = 150\text{ mm}$.

Tradução para o Programador:

A demanda de água para Janeiro é de 150 mm.

7.2. Passo 2: Balanço Preliminar (Choveu o suficiente?)

Agora comparamos o que entrou (chuva) com o que a natureza queria (demanda).

Fórmula: $\text{Saldo} = P - ETP$

Exemplo: $\text{Saldo} = 90\text{ mm} - 150\text{ mm} = -60\text{ mm}$.

Tradução para o Programador:

Faltaram 60 mm de chuva para atender à demanda. O sistema está no negativo. Isso é um DÉFICIT POTENCIAL.

7.3. Passo 3: Usar a Água da Caixa (Atualizar o Armazenamento - ARM)

Como a chuva não foi suficiente, a vegetação vai tentar "sacar" a água que estava guardada no solo.

Lógica: Se o Saldo do Passo 2 for negativo, o ARM diminui.

Cálculo: $\text{ARM novo} = \text{ARM anterior} - |\text{Saldo}|$

Exemplo: $\text{ARM novo} = 60\text{ mm} - 60\text{ mm} = 0\text{ mm}$.

Tradução para o Programador:

Tínhamos 60 mm de água no solo. A vegetação precisava de 60 mm. Ela consumiu tudo. O novo saldo da caixa d'água é 0 mm.

Obs.: O ARM não pode ficar negativo. Se a conta fosse $60 - 70$, o resultado seria 0, não -10. O solo não pode "dever" água.

7.4. Passo 4: Calcular o Consumo Real de Água (ETR)

A ETR é o que a vegetação realmente conseguiu consumir.

- Lógica:
 - Se choveu mais que a demanda ($P \geq ETP$), a planta consumiu tudo o que queria. $ETR = ETP$.
 - Se choveu menos ($P < ETP$), a planta consumiu toda a chuva e mais o que conseguiu tirar do solo. $ETR = P + (\text{quanto foi retirado do ARM})$.

Exemplo:

A planta consumiu os 90 mm da chuva.
Ela retirou 60 mm do solo (o ARM foi de 60 para 0).
 $ETR = 90 \text{ mm} + 60 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$.

Tradução para o Programador:

A demanda era 150 mm. A planta conseguiu os 150 mm (90 da chuva + 60 do solo). O consumo real (ETR) foi de 150 mm."

7.5. Passo 5: Calcular o Déficit Real (DEF)

O déficit é o "sofrimento" da planta. É o quanto ela queria consumir, mas não conseguiu.

Fórmula: $DEF = ETP - ETR$

Exemplo: $DEF = 150 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 0 \text{ mm}$.

Tradução para o Programador:

A planta queria 150 mm e conseguiu 150 mm. Portanto, o déficit hídrico real foi **0 mm**. Ela não passou sede neste mês." (Se o ARM inicial fosse apenas 20 mm, a ETR seria $90+20=110 \text{ mm}$, e o Déficit seria $150-110=40 \text{ mm}$. Nesse caso, ela teria passado sede).

7.6. Passo 6: Calcular o Excedente (EXC)

Excedente é a água que transborda da caixa d'água.

Lógica: O excedente só acontece se:

Choveu mais que a demanda ($P > ETP$).

E a caixa d'água já encheu até o limite (100 mm).

Exemplo: No nosso caso, choveu menos que a demanda, então $EXC = 0 \text{ mm}$.

Tradução para o Programador:

O solo não encheu d'água, muito menos transbordou. O excedente foi 0 mm."

Variável	Descrição	Valor (Exemplo)
P	Chuva (Entrada)	90 mm
ETP	Demanda (Conta que chegou)	150 mm
ARM_ant	Saldo anterior da caixa	60 mm
ARM_novo	Novo saldo da caixa	0 mm
ETR	Consumo Real	150 mm
DEF	"Sede" da planta	0 mm
EXC	Água que transbordou	0 mm

O próximo mês (Fevereiro) começará com o ARM valendo **0 mm**. O ciclo se repete.

CAP. 3

8. Explicando o Capítulo 3 (Classificação Climática)

Agora que já calculamos o "extrato" da água para os 12 meses do ano, vamos usar os totais anuais para dar um "diagnóstico" completo do clima da localidade. É como pegar o extrato do ano inteiro para decidir se o local é "poupador" ou "gastador."

Objetivo: Responder a três perguntas para criar uma etiqueta climática completa, como: "B1 r A' - Úmido, com pequena deficiência hídrica, Megatérmico":

1. O clima é úmido ou seco? (Índice de Umidade - Iu) -> Resulta na letra principal (A, B1, C2, etc.).
2. Se é seco, chove no verão ou inverno? Se é úmido, falta água no verão ou inverno? (Índices de Aridez/Hídrico - Ia/Ih) -> Resulta na letra minúscula (r, s, w, d).
3. O clima é quente ou frio em termos de energia? (ETP Anual) -> Resulta na letra com apóstrofo (A', B'4, etc.).

O Passo a Passo da Lógica (Com Exemplo Concreto)

Vamos usar os resultados anuais da nossa simulação anterior.

Dados de Entrada (Resultados Anuais do Balanço Hídrico):

- Precipitação Anual (P anual): 1.500 mm
- ETP Anual (ETP anual): 1.800 mm
- Déficit Anual (DEF anual): 300 mm (Soma de toda a "sede" da planta durante o ano)
- Excedente Anual (EXC anual): 0 mm (A caixa d'água nunca transbordou)

8.1 Passo 1: Calcular os Índices-Chave (Ia, Ih, Iu)

Esses são os três números mágicos que definem quase tudo.

a) Índice de Aridez (Ia): Mede o "sofrimento" anual

- Conceito: Qual o tamanho do déficit (sofrimento) em relação à demanda total (apetite)?
- Fórmula: $Ia = (DEF_anual / ETP_anual) * 100$
- Exemplo: $Ia = (300 / 1800) * 100 = 16.67$
-

b) Índice Hídrico (Ih): Mede a "sobra" anual

- Conceito: Qual o tamanho do excedente (sobra) em relação à demanda total (apetite)?
- Fórmula: $Ih = (EXC_anual / ETP_anual) * 100$
- Exemplo: $Ih = (0 / 1800) * 100 = 0$

c) Índice de Umidade (Iu): O balanço final entre sobra e sofrimento

- Conceito: É o índice hídrico (sobra) menos o índice de aridez (sofrimento). O sofrimento tem um "peso" de 0.6.
- Fórmula: $Iu = Ih - (0.6 * Ia)$
- Exemplo: $Iu = 0 - (0.6 * 16.67) = -10.0$

Tradução para o Programador:

Calculamos os três indicadores principais: **Ia = 16.67**, **Ih = 0**, e **Iu = -10.0**. Agora vamos usar esses números para classificar."

8.2. Passo 2: Classificar o TIPO de Clima (A Letra Principal)

Aqui, usamos apenas o **Índice de Umidade (Iu)** e aplicamos uma série de if/elif/else.

Lógica: Pegamos o valor de Iu e vemos em qual faixa da Tabela (abaixo) se ele se encaixa.

Tabela I – Tipos climáticos

TIPO DE CLIMA	I _u
A → superúmido	$I_u \geq 100$
B ₄ → úmido	$80 \leq I_u < 100$
B ₃ → úmido	$60 \leq I_u < 80$
B ₂ → úmido	$40 \leq I_u < 60$
B ₁ → úmido	$20 \leq I_u < 40$
C ₂ → subúmido	$0 \leq I_u < 20$
C ₁ → subúmido seco	$-20 \leq I_u < 0$
D → semiárido	$-40 \leq I_u < -20$
E → árido	$-60 \leq I_u < -40$

Exemplo:

Nosso Iu é **-10.0**.

Olhando a tabela, o resultado: tipo do clima = "C1 - Subúmido seco"

Tradução para o Programador:

Com Iu = -10.0, o sistema entra na condição elif $-20 \leq iu < 0$:. A primeira parte da nossa etiqueta climática é **C1**."

8.3. Passo 3: Classificar o SUBTIPO Climático (A Letra Minúscula)

Aqui a lógica se divide em duas: uma para climas úmidos, outra para climas secos.

Lógica:

1. Primeiro, verificamos se o tipo de clima (C1) pertence ao grupo dos **secos (C1, D, E)** ou dos **úmidos (A, B, C2)**.
2. No nosso caso, **C1 é seco**. Portanto, vamos usar a Tabela (abaixo) e o Índice Hídrico (Ih).

Tabela II e III – Subtipos climáticos

CLIMAS ÚMIDOS (A, B, C ₂)	ÍNDICE DE ARIDEZ (I _a)	CLIMAS SECOS (C ₁ , D, E)	ÍNDICE HÍDRICO (I _h)
r → sem ou com pequena deficiência hídrica	$0 \leq I_a < 16,7$	d → excedente hídrico pequeno ou nulo	$0 \leq I_h < 10$
s → deficiência hídrica moderada no verão	$16,7 \leq I_a < 33,3$	s → excedente hídrico moderado no verão	$10 \leq I_h < 20$
w → deficiência hídrica moderada no inverno	$16,7 \leq I_a < 33,3$	w → excedente hídrico moderado no inverno	$10 \leq I_h < 20$
s ₂ → grande deficiência hídrica no verão	$I_a \geq 33,3$	s ₂ → grande excedente hídrico no verão	$I_h \geq 33,3$
w ₂ → grande deficiência hídrica no inverno	$I_a \geq 33,3$	w ₂ → grande excedente hídrico no inverno	$I_h \geq 33,3$

Exemplo:

Nosso I_h é **0**.

Olhando a Tabela (acima) para climas secos:

$0 \leq I_h < 10$: Excedente hídrico pequeno ou nulo (d) -> É AQUI!

$10 \leq I_h < 20$ e chove no verão: Excedente moderado no verão (s)

Resultado: subtipo climático = "d - Excedente hídrico pequeno ou nulo"

Tradução para o Programador:

O clima é do tipo seco (C1), então olhamos para o I_h. Como I_h = 0, ele se encaixa na primeira regra para climas secos. A segunda parte da nossa etiqueta é **d**.

8.4. Passo 4: Classificar o FATOR TÉRMICO (A Letra com Apóstrofo)

Esta é a parte mais fácil. Mede se o clima é quente ou frio, com base na energia disponível.

Lógica: Usamos apenas a **ETP Anual** e aplicamos a Tabela (abaixo).

Tabela IV e V - Tipos e subtipos climáticos

TIPOS	ETP ANUAL (mm)	SUBTIPOS	(ETP NO VERÃO / ETP ANUAL) * 100
A' → megatérmico	ETP ≥ 1140	a'	menor que 48%
B' ₄ → mesotérmico	1140 > ETP ≥ 997	b' ₄	entre 48 e menos que 51,9%
B' ₃ → mesotérmico	997 > ETP ≥ 885	b' ₃	entre 51,9 e menos que 56,3%
B' ₂ → mesotérmico	885 > ETP ≥ 712	b' ₂	entre 56,3 e menos que 61,6%
B' ₁ → mesotérmico	712 > ETP ≥ 570	b' ₁	entre 61,6 e menos que 68%
C' ₂ → microtérmico	570 > ETP ≥ 247	c' ₂	entre 68 e menos que 76,3%
C' ₁ → microtérmico	427 > ETP ≥ 285	c' ₁	entre 76,3 e menos que 88%
D' → tundra	285 > ETP ≥ 142	d	igual ou maior que 88%
E' → gelo perpétuo	ETP < 142		

Exemplo:

Nossa ETP anual é 1.800 mm.

Olhando a Tabela IV:

$ETP \geq 1140$: Megatérmico (A') -> É AQUI!

$997 \leq ETP < 1140$: Mesotérmico (B'4)

Resultado: fator termico = "A' - Megatérmico"

Tradução para o Programador:

A demanda anual de energia (ETP_anual) foi de 1.800 mm. Isso é muito alto, então o clima é classificado como Megatérmico. A terceira parte da nossa etiqueta é A'.

Resultado Final: A Etiqueta Completa

Juntando todas as peças que encontramos:

1. Tipo: **C1** (Subúmido seco)
2. Subtipo: **d** (Excedente pequeno ou nulo)
3. Fator Térmico: **A'** (Megatérmico)

A classificação climática final para nossa cidade fictícia é: C1 d A'

O aplicativo deve exibir isso ao usuário, talvez com a descrição por extenso: "Clima Subúmido Seco (C1), com excedente hídrico pequeno ou nulo (d), Megatérmico (A)'".

9. SECÇÃO ADICIONAL.

Esta secção, não aparece como capítulo, porém será a etapa final. Depois que obtivermos todos dados climáticos, fizemos o balanço hídrico e a classificação climática, será feito o cálculo da pressão de vapor e do ponto de orvalho para explicar se o que abastece a água da região é um nevoeiro/massa de ar que se forma naquele local.

Explicando Pressão de Vapor e Ponto de Orvalho

Para evoluirmos nosso aplicativo no futuro (usando métodos como Penman-Monteith), precisaremos de duas informações cruciais sobre a umidade do ar: a Pressão de Vapor e o Ponto de Orvalho.

Pense neles como formas mais "científicas" de medir a umidade, em vez de usar apenas a Umidade Relativa (%).

Obs.: umidade do ar nada mais é do que a presença de água na atmosfera em forma de vapor.

Objetivo: Quantificar a Umidade do Ar de Duas Formas:

Pressão de Vapor (e): Mede a "força" que o vapor d'água no ar está exercendo. Quanto mais vapor, maior a pressão. É como medir a quantidade de gás em um refrigerante.

Ponto de Orvalho (Td): Mede a "temperatura do sereno". É a temperatura na qual o ar ficaria tão saturado que a água começaria a condensar (formar orvalho, neblina, ou "suor" em uma lata gelada).

Se tivermos Temperatura do Ar (T) e Umidade Relativa (UR), podemos calcular ambos.

O Passo a Passo da Lógica (Com Exemplo Concreto)

Vamos calcular esses valores para um momento específico (um dia ou uma hora).

Dados de Entrada:

Temperatura do Ar (T): 25 °C

Umidade Relativa (UR): 80%

9.1. Passo 1: Calcular a Pressão de Vapor de Saturação (es)

O que é? É a pressão de vapor máxima que o ar consegue aguentar em uma dada temperatura. É o "limite da xícara". Ar quente consegue "segurar" mais vapor d'água que ar frio.

Como calcular? Usamos uma fórmula empírica bem estabelecida (como a equação de Tetens ou a de Magnus). A de Magnus é muito comum.

Fórmula de Magnus (Exemplo):

$$es = 0.61094 * \exp((17.625 * T) / (243.04 + T))$$

T é a temperatura em Graus Celsius.

exp() é a função exponencial (e^x).

O resultado es é em quilopascals (kPa).

Exemplo:

$$T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$es = 0.61094 * \exp((17.625 * 25) / (243.04 + 25))$$

$$es = 0.61094 * \exp(440.625 / 268.04)$$

$$es = 0.61094 * \exp(1.6438...)$$

$$es = 0.61094 * 5.175...$$

$$\text{Resultado: } es = 3.169 \text{ kPa}$$

Tradução para o Programador:

A 25°C, o ar consegue segurar, no máximo, 3.169 kPa de pressão de vapor. Este é o nosso valor de referência, o 100%.

9.2. Passo 2: Calcular a Pressão de Vapor Atual (ea):

O que é? É a pressão de vapor que realmente existe no ar agora. É o "quanto a xícara está cheia".

Como calcular? É simplesmente a Umidade Relativa (%) aplicada à pressão de saturação (es).

Fórmula: $ea = es * (UR / 100)$

Exemplo:

$es = 3.169 \text{ kPa}$

$UR = 80\%$

$ea = 3.169 * (80 / 100)$

$ea = 3.169 * 0.8$

Resultado: $ea = 2.535 \text{ kPa}$

Tradução para o Programador:

A pressão de vapor atual no ar é de 2.535 kPa. Isso corresponde a 80% da capacidade máxima para esta temperatura.

9.3. Passo 3: Calcular o Ponto de Orvalho (Td):

O que é? Agora vamos fazer o caminho inverso. Já sabemos a pressão de vapor atual ($ea = 2.535 \text{ kPa}$). A pergunta é: "A que temperatura essa pressão atual seria o ponto de saturação (100%)?".

Como calcular? Reorganizamos a fórmula de Magnus do Passo 1 para isolar a Temperatura (T).

Fórmula Inversa de Magnus (Exemplo):

$\text{numerador} = 243.04 * \log(ea / 0.61094)$

$\text{denominador} = 17.625 - \log(ea / 0.61094)$

$Td = \text{numerador} / \text{denominador}$

$\log()$ é o logaritmo natural (ln).

e_a é a pressão de vapor atual que calculamos no Passo 2.

Exemplo:

$$e_a = 2.535 \text{ kPa}$$

$$\log(2.535 / 0.61094) = \log(4.149...) = 1.422...$$

$$\text{numerador} = 243.04 * 1.422 = 345.6...$$

$$\text{denominador} = 17.625 - 1.422 = 16.203...$$

$$T_d = 345.6 / 16.203$$

Resultado: $T_d = 21.33 \text{ }^\circ\text{C}$

Tradução para o Programador:

Se pegarmos o ar atual (com 25°C e 80% de umidade) e começarmos a resfriá-lo, quando a temperatura atingir $21.33 \text{ }^\circ\text{C}$, a umidade relativa chegará a 100% e o vapor começará a condensar, formando orvalho. Este é o Ponto de Orvalho.

Obs.: usar o O Manual FAO-56 para criar a base para o cálculo da pressão de vapor e ponto de orvalho. No livro Climatologia Aplicada à Geografia explica o processo do cálculo da pressão de vapor e ponto de orvalho, localizados no capítulo dedicado à "Umidade Atmosférica" ou "O Papel da Água na Atmosfera".

10. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. de. Climatologia Aplicada à Geografia. 1. ed. Ilhéus: Editus, 2011.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.

Cálculo para vapor de pressão e ponto de orvalho. Site: <https://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>

Francisco; Medeiros; Santos (2018) – Balanço Hídrico Climatológico para a Capacidade de Campo de 100 mm – Estado da Paraíba (EDUFCG). Disponível em UFCG/RIU e EduCAPES. dspace.sti.ufcg.edu.br/eduCapes

Thornthwaite & Mather (1957) – *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance* (tabelas de fotoperíodo e rotina de balanço). wrc.udel.edu

Materiais de apoio (conceitos e fórmulas de ETP de Thornthwaite): University of Colorado (Dingman – PET) e revisão recente (ESSD, 2022).



ClimateIndex