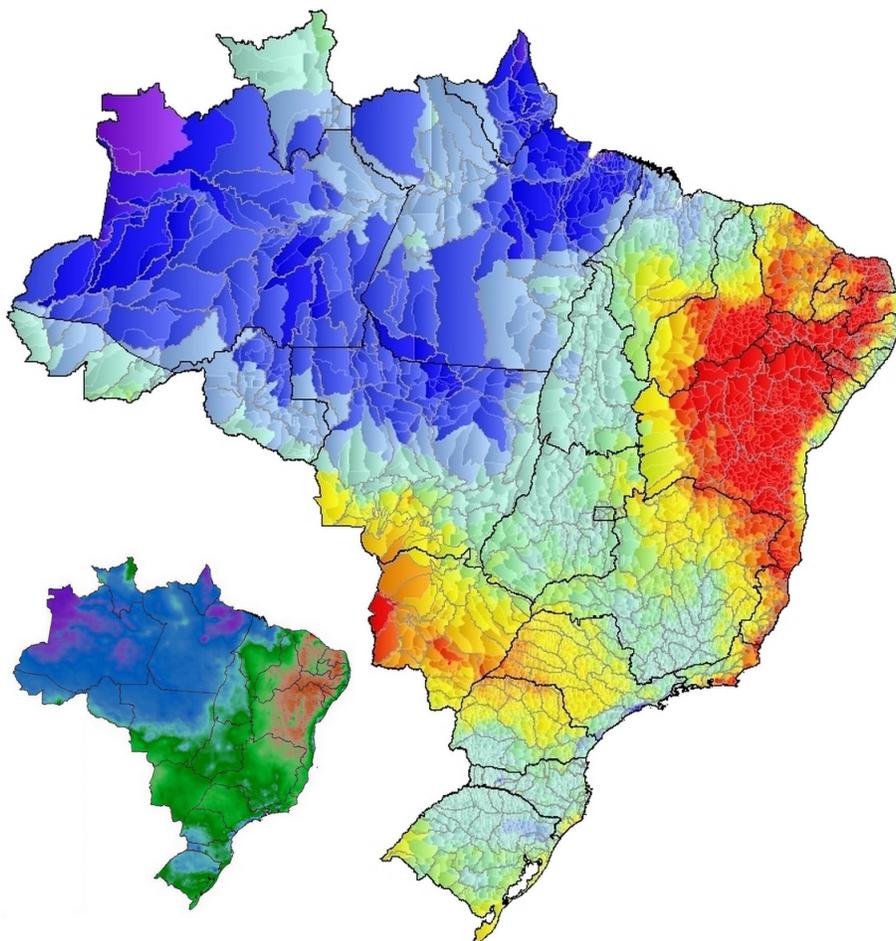




## **Variação Espaço-Temporal dos Excedentes Hídricos no Território Brasileiro**



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Milho e Sorgo  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
247**

**Variação Espaço-Temporal dos Excedentes  
Hídricos no Território Brasileiro**

*Daniel Pereira Guimarães  
Elena Charlotte Landau  
Gabriel Ribeiro Brandão*

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Sete Lagoas, MG  
2022

**Esta publicação está disponível no endereço:**  
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Rod. MG 424 Km 45  
Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG  
Fone: (31) 3027-1100  
Fax: (31) 3027-1188  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Maria Marta Pastina*

Secretário-Executivo  
*Elena Charlotte Landau*

Membros  
*Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria Cristina Dias Paes.*

Revisão de texto  
*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica  
*Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)*

Tratamento das ilustrações  
*Márcio Augusto Pereira do Nascimento*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Márcio Augusto Pereira do Nascimento*

Foto da capa  
*Elena Charlotte Landau*

**1ª edição**  
Publicação digital (2022): PDF

#### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Milho e Sorgo

---

Guimarães, Daniel Pereira.

Variação espaço-temporal dos excedentes hídricos no território brasileiro / Daniel Pereira Guimarães, Elena Charlotte Landau, Gabriel Ribeiro Brandão. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2022.

PDF (27 p.) : il. color. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 247).

1. Recurso hídrico. 2. Água. 3. Evapotranspiração. 4. Precipitação pluvial. I. Landau, Elena Charlotte. II. Brandão, Gabriel Ribeiro. III. Título. IV. Série.

CDD (21.ed.) 333.91

## Sumário

---

Resumo .....	5
Abstract .....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	9
Resultados e Discussão .....	14
Conclusões.....	22
Referências.....	22

# Variação Espaço-Temporal dos Excedentes Hídricos no Território Brasileiro

---

Daniel Pereira Guimarães<sup>1</sup>

Elena Charlotte Landau<sup>2</sup>

Gabriel Ribeiro Brandão<sup>3</sup>

**Resumo** -A determinação do balanço hídrico climatológico decenal na resolução espacial de 5 km e quantificação dos excedentes hídricos foi efetuada para todo o território brasileiro com o emprego de álgebra de imagens. Os resultados obtidos foram comparados com os valores disponibilizados pelo INMET no Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (Sisdagro) e apresentaram Coeficiente de Determinação (R<sup>2</sup>) acima de 70%. A tendência de subestimar os valores disponibilizados pelo INMET pode estar relacionada com a identificação de uma maior frequência de locais com excedentes hídricos nulos e o uso da capacidade de água disponível variável em função do tipo de solo. A região conhecida como Cabeça de Cachorro foi a única que apresentou excedentes hídricos durante todo o ano. Os excedentes hídricos obtidos foram menores que os calculados pelo INMET em diferentes regiões do País, como o sul da Bahia, o norte do Espírito Santo, regiões litorâneas do Espírito Santo e Rio de Janeiro, Pontal do Paranapanema (em São Paulo), norte do Paraná, sudoeste do Mato Grosso do Sul e Pantanal Sul-Matogrossense. A região Sul apresenta excedentes hídricos durante o período de inverno. Os resultados dos excedentes hídricos foram incorporados como atributos da união da camada vetorial nível três das bacias hidrográficas brasileiras em interseção com a malha dos municípios brasileiros do IBGE.

**Termos para indexação:** balanço hídrico, evapotranspiração, capacidade de água disponível

---

1 Engenheiro Florestal, doutor em Ciência Florestal, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

2 Bióloga, doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

3 Estudante de Engenharia-agronômica, estagiário da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

## Space-Time Variation of Water Surpluses in the Brazilian Territory

---

**Abstract** -The determination of the ten-day climatological water balance at a spatial resolution of 5 km and the quantification of water surpluses was carried out for the entire Brazilian territory using image algebra. The results obtained were compared with the values provided by INMET in the Agricultural Decision Support System (Sisdagro) and showed a Coefficient of Determination ( $R^2$ ) above 70%. The tendency to underestimate the values provided by INMET may be related to the identification of a higher frequency of sites with zero water surplus and the use of available water capacity variation depending on the type of soil. The region known as Cabeça de Cachorro was the only one that presented water surpluses during all the year. The water surpluses obtained were smaller than those calculated by INMET in different regions of Brazil, such as the south of the State of Bahia, the north of the State of Espírito Santo, coastal regions of the States of Espírito Santo and Rio de Janeiro, Pontal do Paranapanema (at the State of São Paulo), north of the State of Paraná, southwest of the State of Mato Grosso do Sul and Pantanal Sul-Matogrossense. The South region of the country has water surpluses during the winter period. The results of the water surpluses were incorporated as additional attributes of the vector layer resulting from its overlay with the vector layer of the Brazilian hydrographic basins (level three) intersected by the mesh of the Brazilian municipalities of the IBGE.

**Index terms:** water balance, evapotranspiration, available water capacity

## Introdução

---

A constante movimentação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, denominada de ciclo hidrológico, tem importância fundamental na existência da vida em nosso planeta. O conhecimento das variações espaço-temporais do ciclo hidrológico contribui para a melhoria do uso eficiente dos recursos hídricos nas diferentes atividades envolvidas no uso desse recurso natural. Embora se trate de um recurso renovável, a alta demanda para suprir as necessidades humanas tem transformado a água em um recurso com tendências de aumento de escassez. Enquanto o crescimento da população mundial foi da ordem de 4,4 vezes ao longo do último século, a retirada de água nos mananciais cresceu cerca de 7,3 vezes (FAO, 2016). Nesse contexto, Tundisi (2003) refere-se ao ciclo hidrossocial como reflexo das atuações antrópicas sobre o ciclo hidrológico. A contabilização dos volumes de água em suas diferentes fases do ciclo hidrológico é efetuada através do balanço hídrico, em que as entradas de água na superfície terrestre e saídas para a atmosfera estão associadas ao princípio de conservação de massa (Silva, 2015). De acordo com Sentelhas et al. (1999), as entradas de água na superfície terrestre estão relacionadas com precipitação, água de irrigação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral e ascensão capilar, enquanto as saídas, ou perdas, estão associadas a evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda. O balanço hídrico climatológico, desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), é a principal ferramenta utilizada para computar as variações no ciclo hidrológico da água em escalas diárias, decendiais ou mensais ao longo do ano tendo como base as normais climatológicas locais. A maioria dos trabalhos nessa área utiliza a rede de estações meteorológicas do INMET e a planilha em ambiente Excel desenvolvida por Rolim et al. (1998) para gerar o balanço hídrico local. Os avanços nesse processo de modelagem incluem:

Melhoria dos cálculos da evapotranspiração (passagem da água do estado líquido para o gasoso pela evaporação da água do solo e transpiração das plantas). A estimativa da evapotranspiração proposta por Thornthwaite (1948) tem sido substituída pelo método proposto por Penman-Monteith (Allen et al., 1998), conforme demonstrado por Sentelhas et al. (2008), ou pelo uso de métodos que requerem um menor número de variáveis meteorológicas para os cálculos, como os propostos por Priestley-Taylor, Hargreaves-

Samani, Camargo-71, Blaney-Criddle e outros (Borges Júnior et al., 2012).

Melhoria das bases climatológicas, com destaques para a instalação das estações meteorológicas do INMET, a partir do ano 2000, para a rede de estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas, as redes estaduais de monitoramento climatológico e as bases de dados obtidas por sensores orbitais.

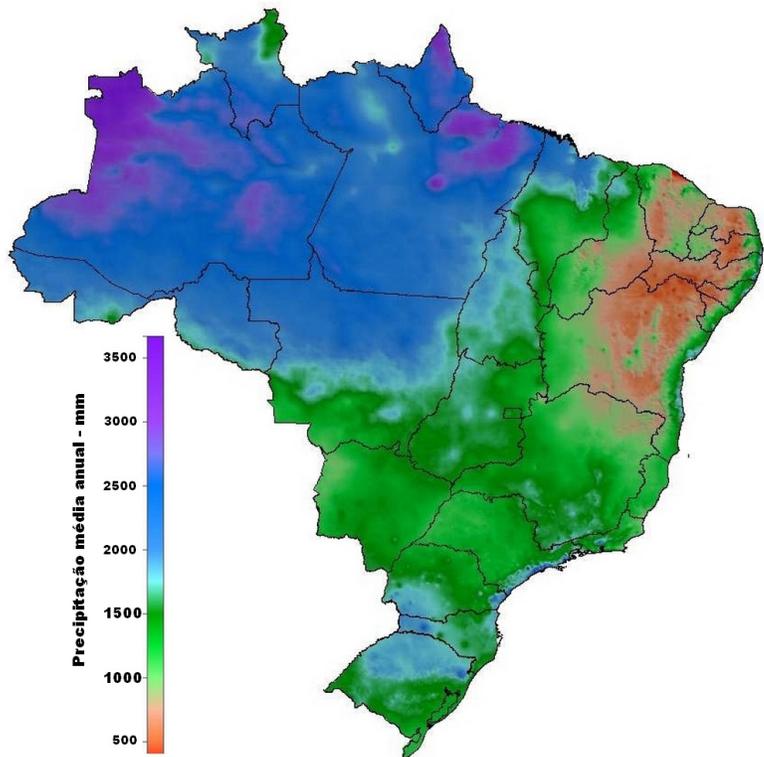
Melhoria das informações sobre a classificação dos solos e capacidade de água disponível (CAD). O mapeamento dos solos do Brasil realizado na escala de 1:5.000.000, efetuado em 2011 pela Embrapa (Santos et al., 2011), foi atualizado em 2021 na escala de 1:250.000 pela Agência Nacional de Águas e Universidade Federal do Paraná (Agência Nacional de Águas, 2021) e, nessa mesma escala, foi criada a plataforma tecnológica do Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos no Brasil (PronaSolos).

A principal utilização do balanço hídrico tem sido feita no sentido de avaliar a disponibilidade de água nos solos para fins agrícolas. O balanço hídrico dos cultivos é essencial para o estabelecimento dos zoneamentos agrícolas de risco climático.

O foco deste trabalho é a análise da variação espaço-temporal do excedente hídrico, ou seja, o volume de água superior à capacidade de armazenamento dos solos que se perde por percolação (drenagem profunda) ou escoamento superficial. Excesso de água causa vários impactos no setor agrícola, como na mecanização dos solos, plantio, colheita, desenvolvimento radicular, ocorrência de pragas e doenças. Os excedentes hídricos também definem os regimes hidrológicos e a disponibilidade hídrica, além da associação com desastres naturais (inundações, enchentes e desabamentos). A análise espacial dos excedentes hídricos permite a avaliação no âmbito da bacia hidrográfica, o que não ocorre em avaliações pontuais. As principais inovações estão relacionadas com o uso de análises espaciais ao invés da geração de informações pontuais e a adoção de CAD variável (capacidade de água disponível) em função das capacidades de retenção dos solos. Assim, o presente trabalho contribui para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável ODS 6 (“Água Potável e Saneamento”), mais especificamente apresentando subsídios para com o cumprimento da meta “6.5 - Gestão integrada dos recursos hídricos”.

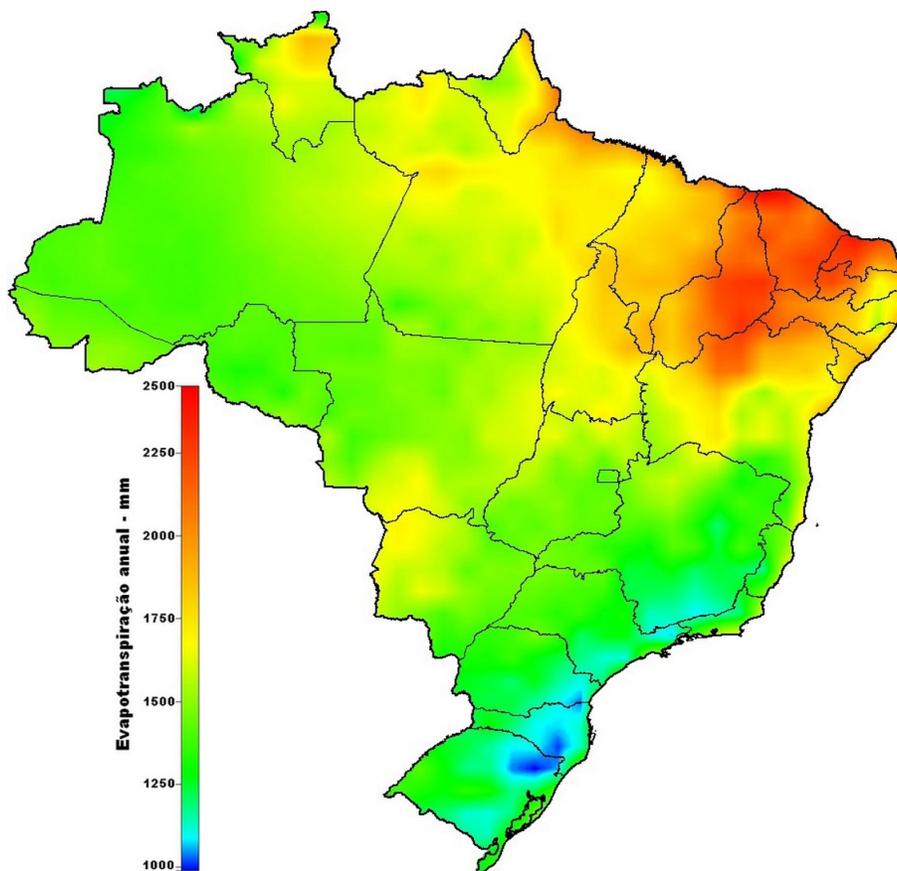
## Material e Métodos

A base de dados selecionada para a espacialização da precipitação pluviométrica no Brasil foi a CHIRPS, *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Stations*, desenvolvida em parceria do United States Geological Survey (USGS) e o Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara (UCSB) (Funk et al., 2015). Os principais motivos para a escolha da base CHIRPS, além da qualidade dos dados, foram: cobertura quase global (50 graus N/S), combinação de informações de satélite e estações terrestres, resolução espacial de 5 km e série histórica diária atualizada desde 1981. Essa base de dados é aplicada para a melhoria da resolução espacial dos modelos globais de previsão do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) (Harrison et al., 2022). A viabilidade de uso dessa base de dados pluviométricos no Brasil foi confirmada por Gomes et al. (2022) e em análises regionais realizadas por Silva et al. (2020), em Castanhal-PA, por Cavalcante et al. (2020), na região amazônica, e Mariano et al. (2018), na região Nordeste. A **Figura 1** mostra a precipitação média anual no Brasil de acordo com a série histórica de dados da base CHIRPS entre os anos de 1991 e 2021 - 30 anos. Para fins de análise dos excedentes hídricos, procedeu-se ao agrupamento em bases decendiais de precipitação pluviométrica.



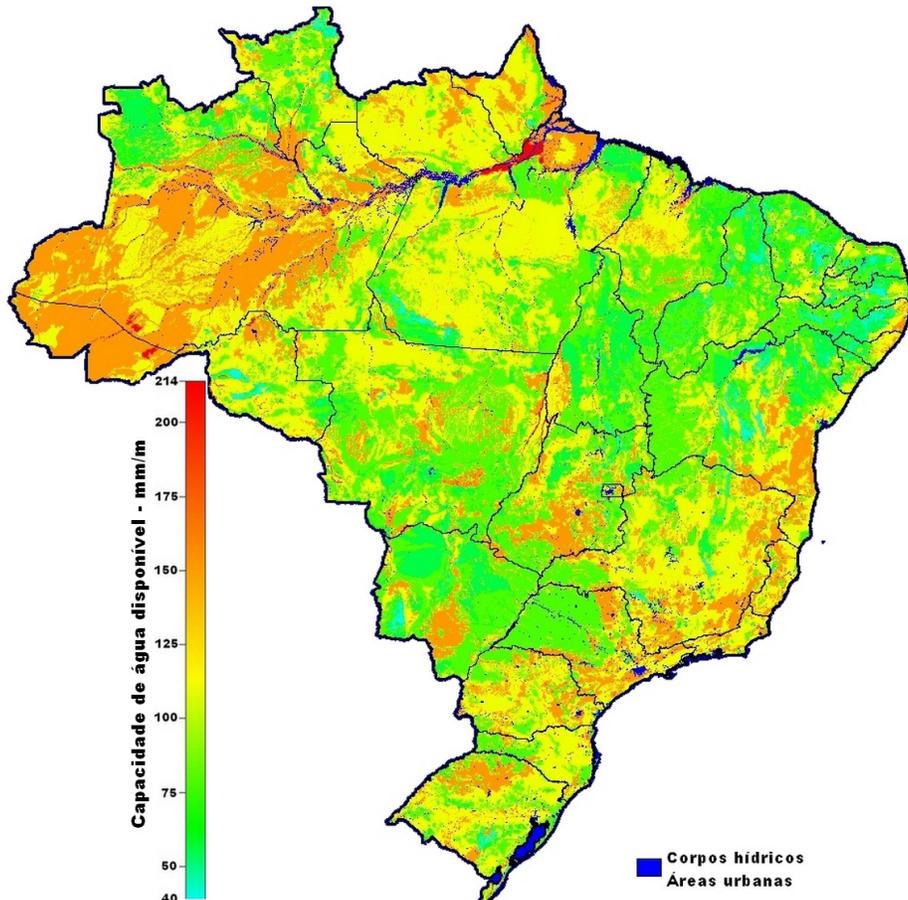
**Figura 1.** Precipitação média anual no Brasil em resolução espacial de 5 km a partir das bases CHIRPS entre 1991 e 2021.

A determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pelo método Penman-Monteith-FAO, em escala e resolução espacial similar às precipitações pluviométricas das bases CHIRPS, foi efetuada por Hobbins (2016), do Laboratório de Ciências Físicas do NOAA, no refinamento (*downscaling*) das bases climatológicas do Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2, conhecido como MERRA-2 (Gelaro et al., 2017). Esse procedimento permitiu a obtenção das bases coincidentes na abrangência, resolução espacial e duração das séries históricas das chuvas (CHIRPS) e da evapotranspiração de referência. A **Figura 2** apresenta a evapotranspiração anual de referência no Brasil a partir da série histórica dos últimos 30 anos. De maneira análoga, as séries históricas diárias foram convertidas em bases decenais.



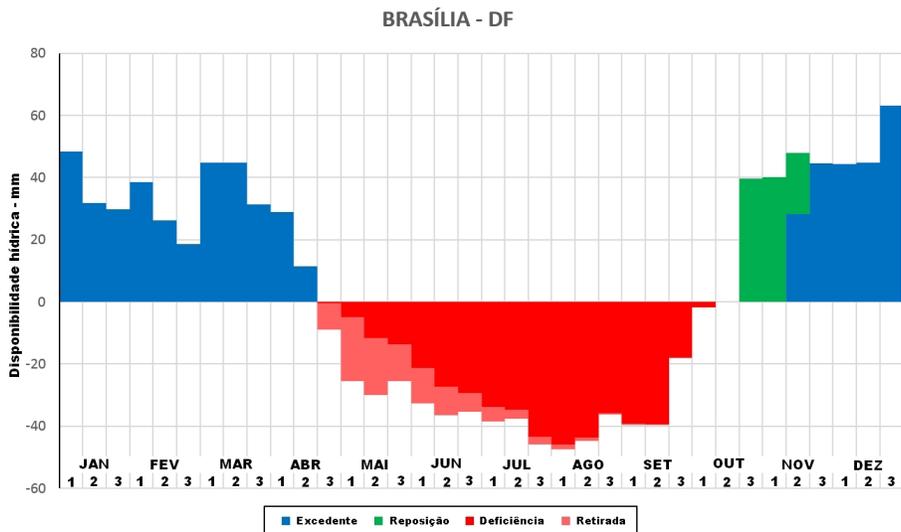
**Figura 2.** Evapotranspiração de referência anual no Brasil em resolução espacial de 5 km, obtida considerando série histórica de dados climáticos de 30 anos (1991-2021).  
 Fonte: NOAA Physical Sciences Laboratory (2022).

O mapeamento da capacidade de água disponível (CAD) nos solos brasileiros foi efetuado pela aplicação da função de pedotransferência determinada por Teixeira et al. (2021), para fins de zoneamento agrícola, e por Araújo Filho et al. (2022), sobre as bases de classificação dos solos brasileiros definidos pelo PronaSolos, cujos resultados são apresentados na **Figura 3**.



**Figura 3.** Capacidade de água disponível (CAD) nos solos brasileiros. Adaptado de Teixeira et al. (2021).

A **Figura 4** ilustra o balanço hídrico climatológico decendial de Brasília-DF com base nos dados da estação meteorológica convencional do INMET e série histórica de 30 anos, indicando um volume de chuva anual de 1.674 mm, déficit hídrico de 444 mm no período de estiagem e um volume excedente de 580 mm durante a estação chuvosa. O volume excedente (percolação e escoamento superficial) somente ocorre nas condições em que a precipitação é superior à evapotranspiração potencial e o solo teve recarga de água até atingir sua capacidade de água disponível (CAD) definida com um valor fixo de 100 mm/m.



**Figura 4.** Balanço hídrico climatológico decendial de Brasília-DF baseado em série histórica de dados climáticos 30 anos registrados na estação meteorológica convencional do INMET, referente ao período 1990-2020. Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia (2022).

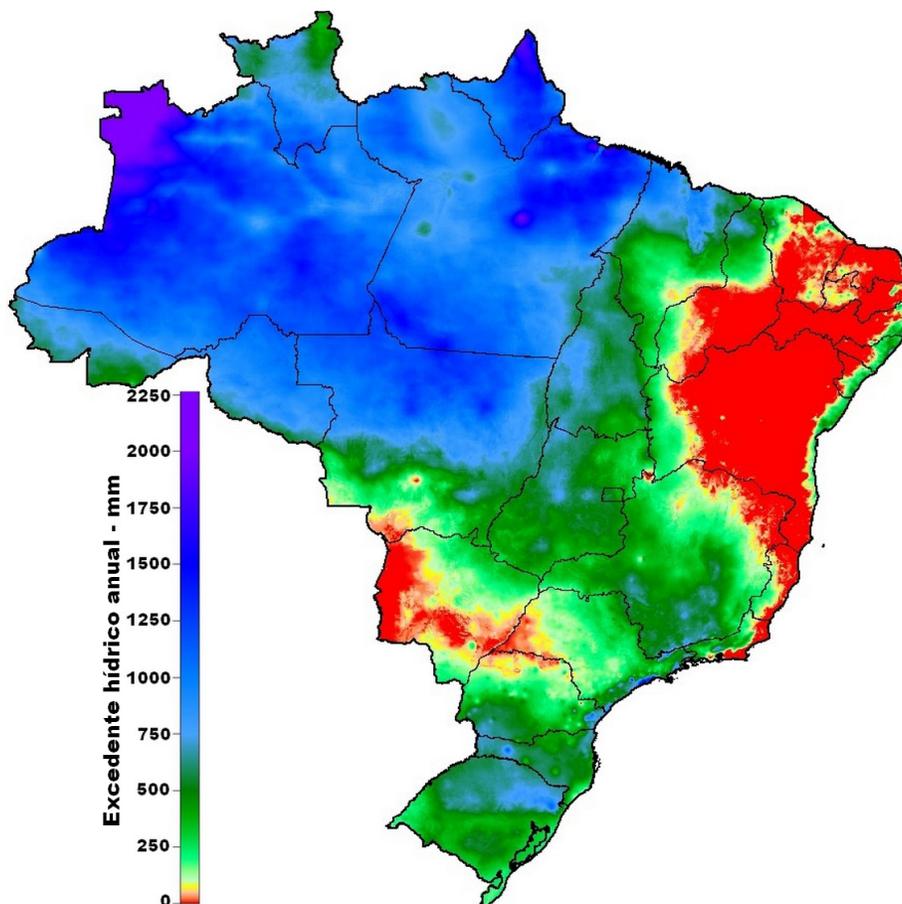
A metodologia de cálculo do balanço hídrico climatológico é apresentada em detalhes por Alves et al. (2021). O cálculo do balanço hídrico por área foi efetuado pela aplicação de um algoritmo para operação de álgebra de imagens georreferenciadas utilizando o Terminal Python do software QGIS versão 3.4. O mesmo software foi empregado para mesclar as bases vetoriais correspondentes ao georreferenciamento das bacias hidrográficas nível 3 da Agência Nacional de Águas e a malha dos municípios brasileiros em 2020 do IBGE. A incorporação do excedente hídrico decendial e anual na base vetorial resultante foi efetuada pela aplicação do plugin Zonal Statistics.

A validação desses procedimentos foi feita em comparação com os cálculos dos volumes excedentes de 602 estações meteorológicas convencionais e automáticas disponibilizadas pelo INMET no Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (Instituto Nacional De Meteorologia, 2022).

## Resultados e Discussão

---

O excedente hídrico anual no território brasileiro, com base em séries históricas de 30 anos de chuvas estimadas pelo *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), séries históricas de 30 anos da evapotranspiração potencial de Penman-Monteith geradas a partir das bases MERRA-2 com aumento da resolução espacial disponibilizadas pelo NOAA e ajustado para os níveis de capacidade de água disponível dos solos brasileiros, é apresentado na **Figura 5**.



**Figura 5.** Espacialização do excedente hídrico anual no Brasil, com base em dados de 30 anos (1991-2021).

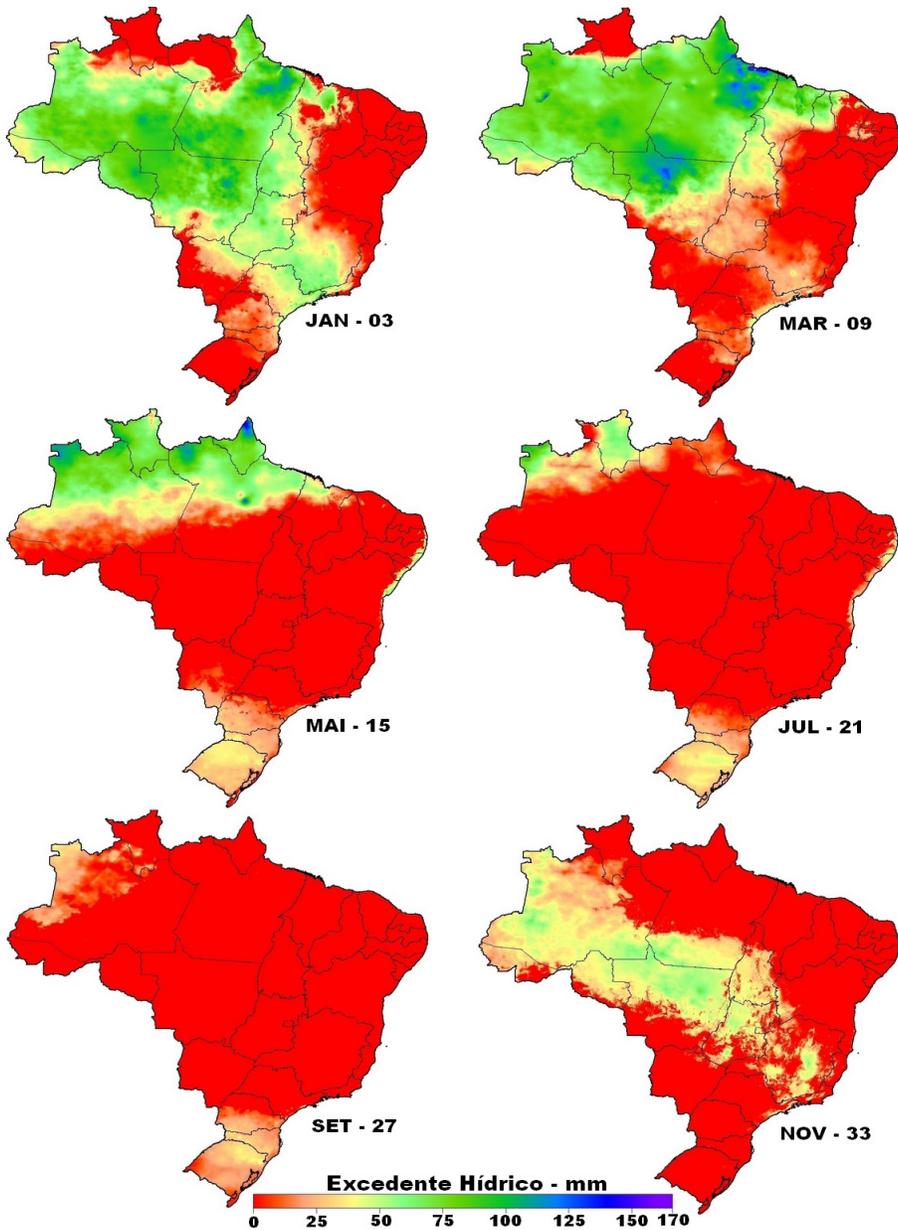
Além da região do semiárido brasileiro, caracterizada pelos baixos índices pluviométricos e pelas altas temperaturas e evapotranspiração, outras regiões apresentaram excedentes hídricos anuais nulos ou muito baixos. As áreas correspondentes ao sul da Bahia, norte do Espírito Santo e áreas costeiras do Espírito Santo e Rio de Janeiro, apesar dos bons índices pluviométricos, são impactadas pelos altos índices de evapotranspiração em função das altas temperaturas e velocidade dos ventos. A região do Pontal do Paranapanema e áreas vizinhas do Paraná e Mato Grosso do Sul apresentaram valores muito baixos de excedentes hídricos. As cartas climáticas do estado de São Paulo (Camargo et al., 2009) confirmam esses resultados

para essa região, onde os excedentes hídricos são inferiores a 100 mm/ano e tendem para valores próximos de zero nas áreas de menor altimetria. O Atlas Climático do estado do Paraná (Nitsche, 2019) indica índices de evapotranspiração entre 1.000 e 1.200 mm/ano na região noroeste paranaense. O balanço hídrico para o município de Dourados-MS disponibilizado no Sisdagro/INMET indica o valor de 58 mm/ano de excedente hídrico, considerado muito baixo. Os maiores valores de excedentes hídricos anuais estão localizados nos estados da região Norte brasileira, no norte do Mato Grosso e em partes das mesorregiões norte e oeste maranhenses. A região conhecida como Cabeça de Cachorro, no extremo noroeste do País, estado do Amazonas, é a região com maior excedente hídrico do Brasil superando volumes de 2.000 mm/ano. A região nordeste rio-grandense-do-sul, em função da ocorrência de chuvas no inverno e baixas temperaturas e índices de evapotranspiração, apresenta altos índices de excedentes hídricos, valores que podem exceder 1.000 mm/ano em áreas dos municípios de Caxias e São Francisco de Paula.

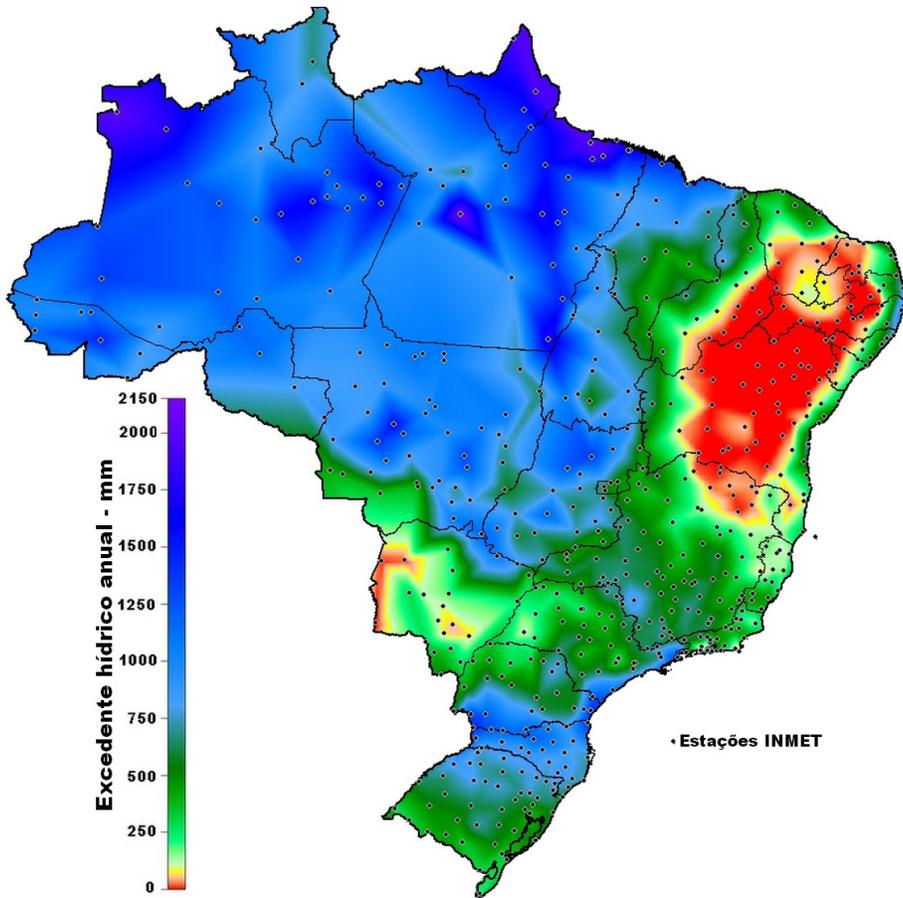
Tendências das variações espaço-temporal dos excedentes hídricos são apresentadas na **Figura 6**. Os resultados indicam que o mês de setembro apresenta os menores volumes de água percolados para as camadas mais profundas do solo ou perdidas por escoamento superficial. Nesse período, as chuvas são menores na maior parte da região amazônica, a estiagem nas regiões Sudeste e Centro-Oeste atingem seu ápice e a evapotranspiração na região Sul tende a superar o volume de chuvas incidentes. O estado de Roraima, em especial as áreas situadas no Hemisfério Norte, apresenta variação espaço-temporal diferenciada dos demais estados da região amazônica. O mesmo não ocorre no estado do Amapá, onde as áreas situadas no Hemisfério Norte apresentam variações nos volumes de excedentes hídricos similares aos demais estados nortistas. A região da Cabeça de Cachorro é a única que apresenta excedentes hídricos durante todo o ano. Os excedentes hídricos na região Sul ocorrem durante o inverno, época de baixos valores de evapotranspiração.

A **Figura 7** mostra a espacialização dos excedentes hídricos anuais registrados pelas estações meteorológicas (convencionais e automáticas) do INMET e disponibilizadas pelo Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (Sisdagro). A regionalização dos valores pontuais foi efetuada com a interpolação usando o método do inverso quadrado da distância. Os valores referentes aos excedentes hídricos da estação de Tomé-Açu foram

descartados por apresentarem valores muito acima do esperado para o local (chuva anual: 4.660 mm e excedente hídrico de 3.177 mm). Os resultados apresentam similaridades entre os métodos de espacialização dos excedentes hídricos. Apesar do pequeno número de estações meteorológicas, os resultados para a região Norte foram muito parecidos com os obtidos pela álgebra de imagens. São facilmente identificáveis os efeitos locais na espacialização dos excedentes hídricos determinados a partir das bases de dados da rede de estações meteorológicas do INMET e estão associados à duração da série histórica e localização das estações. Enquanto a espacialização dos excedentes hídricos das bases do INMET usa cerca de 600 estações, no caso das imagens com resolução espacial de 5 km esses valores são gerados por cerca de 284 mil dados. Muitas estações meteorológicas estão situadas em áreas urbanas com tendências de superestimativas ou em posições elevadas no terreno que podem não representar os valores da evapotranspiração para a região. As estações convencionais apresentam deficiências nos dados relativos à velocidade dos ventos e radiação solar. As estações automáticas possuem séries históricas incompletas e elevado número de falhas nas medições.



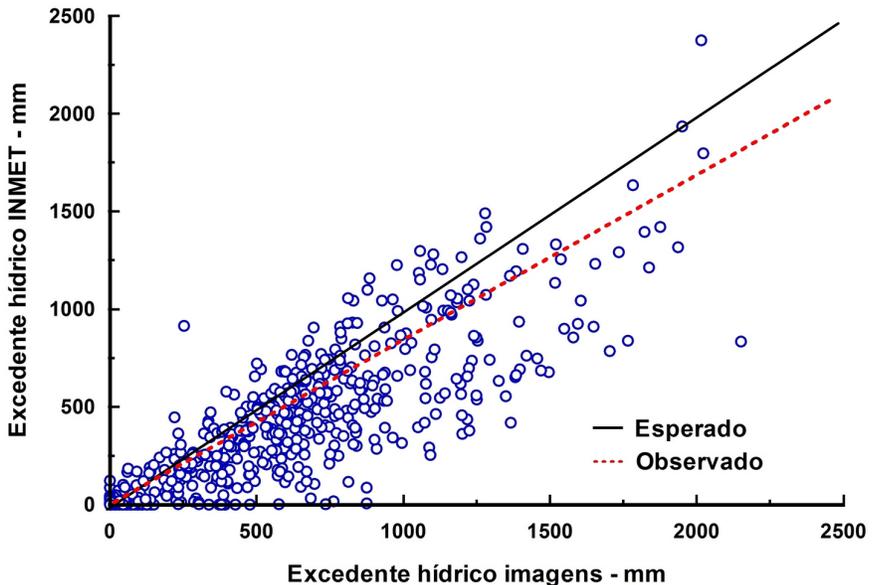
**Figura 6.** Variação espaço-temporal do excedente hídrico decenal no território brasileiro com base em dados de 30 anos (1991-2021).



**Figura 7.** Espacialização do excedente hídrico no Brasil a partir do balanço hídrico climatológico das estações meteorológicas do INMET, com base em dados de 30 anos (1990-2020).

A comparação entre os valores calculados para o excedente hídrico anual pelos dois métodos, usando regressão linear simples, é apresentada na **Figura 8**. O cálculo do excedente hídrico usando imagens apresenta tendências de subestimar os valores calculados para as estações meteorológicas. Esses resultados refletem a maior área com valores próximos de zero quando o balanço hídrico é realizado computando imagens ao invés de pontos. Tem-se ainda o efeito dos solos com capacidade de retenção de água

(CAD) acima de 100 mm e conseqüente redução nos valores dos excedentes hídricos.



**Figura 8.** Relação funcional entre os excedentes hídricos calculados para estações meteorológicas (pontuais) e pela álgebra de imagens.

A **Figura 9** mostra a vetorização dos excedentes hídricos como atributos anuais das bacias hidrográficas de nível 3 da Agência Nacional de Águas. As shapefiles resultantes incluem ainda os excedentes hídricos decendiais e a interseção com a malha municipal do IBGE do ano 2020 (IBGE, 2021). Estas permitem avaliar os excedentes hídricos nas regiões correspondentes à proximidade das nascentes (alto), região intermediária (médio) e proximidade da foz (baixo) de cada bacia hidrográfica.

As camadas vetoriais no formato shapefile podem ser acessadas por bacia hidrográfica através da plataforma GeoInfo, nos seguintes endereços:

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abamazonica>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abatlanticoleste>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abatlanticonordesteocidental>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abatlanticonordesteoriental>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhatlanticosudeste>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhatlanticosul>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhparaguai>

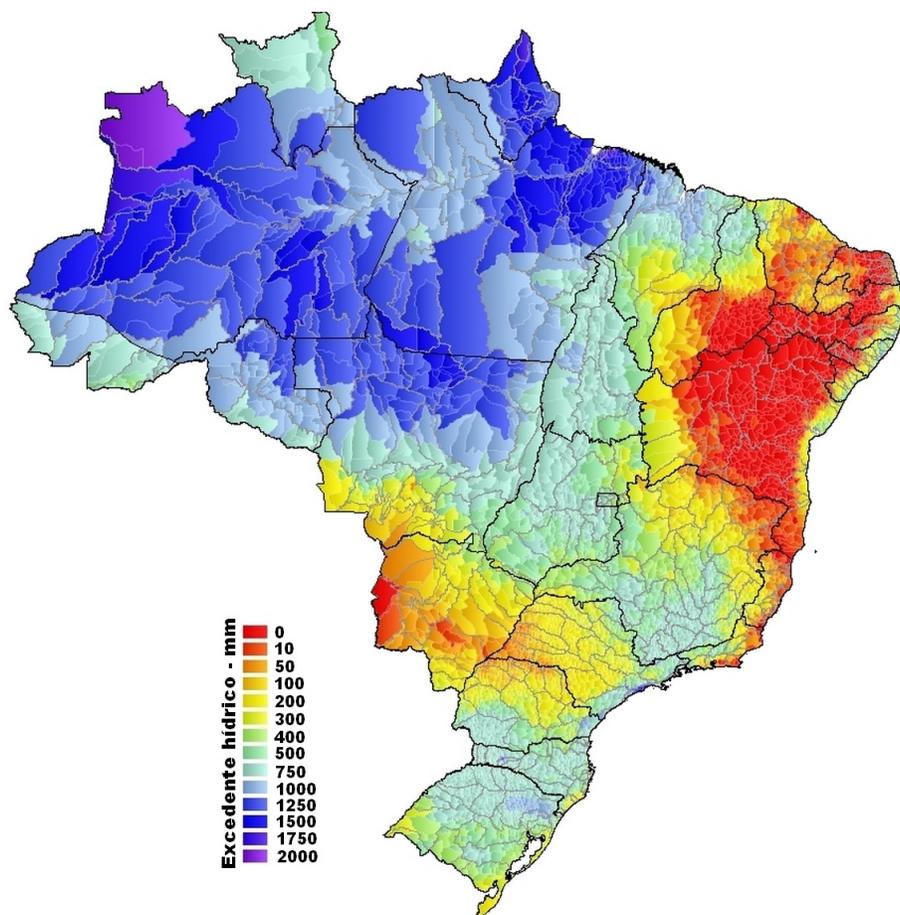
<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhparana>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhparnaiba>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhsaofrancisco>

<http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhtocantinsaraguaia>

[http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhuruguai”](http://geoinfo.cnpms.embrapa.br/layers/geonode%3Abhuruguai)



**Figura 9.** Vetorização dos excedentes hídricos como atributos das bacias hidrográficas nível 3 da Agência Nacional de Águas. Elaboração: original. Fontes cartográficas: Agência Nacional de Águas (2022), IBGE (2021), Inmet (2022).

## Conclusões

---

O uso de álgebra de imagens permitiu efetuar o balanço hídrico climatológico decendial para o território brasileiro e diagnosticar os volumes de excedente hídrico em suas variações espaço-temporais.

A incorporação da capacidade de água disponível da plataforma PronaSolos permite a obtenção de valores mais próximos da realidade e oferece subsídios para diferentes abordagens.

Agricultura: excesso de água no solo, riscos de erosão, contaminação de corpos hídricos, pragas e doenças.

Hidrologia: vazões, outorga, identificação de cursos intermitentes.

A qualidade dos resultados depende da qualidade dos dados de *input* no processo de modelagem, ou seja, bases de dados climatológicos (chuva e evapotranspiração) e capacidade de água disponível (CAD) dos solos.

## Referências

---

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Cropevapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVES, A. M. de M. R.; MARTINS, F. B.; REBOITA, M. S. Balanço hídrico climatológico para Itajubá-MG: cenário atual e projeções climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 712-736, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.70387>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Capacidade de água disponível (CAD/ AWC) para solos brasileiros**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/28fe4baa-66f3-4f6b-b0d2-890abf5910c4/attachments/CAD\\_AWC\\_ResumoSNIRH\\_ANAeUFPR.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/28fe4baa-66f3-4f6b-b0d2-890abf5910c4/attachments/CAD_AWC_ResumoSNIRH_ANAeUFPR.pdf). Acesso em: 7 ago. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Catálogo de metadados da ANA**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: 8 ago. 2022.

ARAÚJO FILHO, J. C. A. **Avaliação, predição e mapeamento de água disponível em solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2022. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 282).

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 380-390, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400008>

CAMARGO, A. P. de; PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. R. **Clima SP**. São Paulo: Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas, 2009. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/clima/Conceitua%E7%E3o/Conceitua%E7%E3o.htm>. Acesso em: 7 ago. 2022.

CAVALCANTE, R. B.; FERREIRA, D. B.; PONTES, P. R.; TEDESCHI, R. G.; COSTA, C.; SOUZA, E. B. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, 104879, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104879>

CASTRO, F.; PEZZOPANE, J.; CECILIO, R.; PEZZOPANE, J.; XAVIER, A. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 871-880, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000800012>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture**. Rome: FAO, 2016. Disponível em: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_use/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm). Acesso em: 10 out. 2022.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations: a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, n. 1, article 150066, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

GELARO, R.; MCCARTY, W.; SUÁREZ, M. J.; TODLING, R.; MOLOD, A.; TAKACS, L.; RANDLES, C.; DARMENOV, A.; BOSILOVICH, M. G.; REICHLE, R.; WARGAN, K.; COY, L.; CULLATHER, R.; DRAPER, C.; AKELLA, S.; BUCHARD, V.; CONATY, A.; SILVA, A. da; GU, W.; KIM, G.-K.; KOSTER, R.; LUCCHESI, R.; MERKOVA, D.; NIELSEN, J. E.; PARTYKA, G.; PAWSON, S.; PUTMAN, W.; RIENECKER, M.; SCHUBERT, S. D.; SIENKIEWICZ, M.; ZHAO, B. The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). **Journal of Climate**, v. 30, n. 13, p. 5419-5454, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1175%2FJCLI-D-16-0758.1>

GOMES, D. C.; BELTRÃO, N. E. S.; PEREIRA, F. M.; REIS, A. C. M.; PINHEIRO, A. M. P.; SILVA, D. F. da. Estimativa de precipitação dos dados CHIRPS e GPCC em anos de extremos climáticos, Bacia Hidrográfica do rio Guamá-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 1583-1598, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/253017>. Acesso em: 10 out. 2022.

HARRISON, L.; LANDSFELD, M.; HUSAK, G.; DAVENPORT, F.; SHUKLA, S.; TURNER, W.; PETERSON, P.; FUNK, C. Advancing early warning capabilities with CHIRPS-compatible NCEP GEFS precipitation forecasts. **Scientific Data**, v. 9, n. 1, article 375, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35773449/>. Acesso em: 10 out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01468-2>

HOBBINS, M. T. The variability of ASCE Standardized Reference Evapotranspiration: a rigorous, CONUS-wide decomposition and attribution. **Transactions of the ASABE**, v. 59, n. 2, p. 561-576, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/trans.59.10975>

IBGE. **Malha municipal digital 2020**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-erritoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>, BR\_Municipios\_2020.zip. Acesso em: 12 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária - SISDAGRO**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/index>. Acesso em: 8 ago. 2022.

MCCARTY, W.; SUÁREZ, M. J.; TODLING, R.; MOLOD, A.; TAKACS, L.; RANDLES, C.; DARMENOV, A.; BOSILOVICH, M. G.; REICHLE,

R.; WARGAN, K.; COY, L.; CULLATHER, R.; DRAPER, C.; AKELLA, S.; BUCHARD, V.; CONATY, A.; SILVA, A. da; GU, W.; KIM, G.-K.; KOSTER, R.; LUCCHESI, R.; MERKOVA, D.; NIELSEN, J. E.; PARTYKA, G.; PAWSON, S.; PUTMAN, W.; RIENECKER, M.; SCHUBERT, S. D.; SIENKIEWICZ, M.; ZHAO, B.; HARRISON, L.; LANDSFELD, M.; HUSAK, G.; DAVENPORT, F.; SHUKLA, S.; TURNER, W.; PETERSON, P.; FUNK, C. Advancing early warning capabilities with CHIRPS-compatible NCEP GEFS precipitation forecasts. **Scientific Data**, v. 9, article 375, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01468-2>

MARIANO, D. A.; SANTOS, C. A. C. D.; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.; SCHILTMAYER, A. V.; TADESSE, T.; SVOBODA, M. D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 213, p. 129-143, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.048>

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019.

NOAA PHYSICAL SCIENCES LABORATORY. **Index of /Projects/RefET/global/Gen-0/fine\_resolution**. Disponível em: [https://downloads.psl.noaa.gov/Projects/RefET/global/Gen-0/fine\\_resolution/](https://downloads.psl.noaa.gov/Projects/RefET/global/Gen-0/fine_resolution/). Acesso em:

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel para cálculos de balanços hídricos: normal; sequencial de cultura e produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SANTOS, H. G. dos; CARVALHO JÚNIOR, W. de; DART, R. de O.; AGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S. de; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130.). 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/920267>. Acesso em: 7 ago. 2022.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: ESALQ, 1999. 172 p.

SENTELHAS, P. C.; SANTOS, D. L. dos; MACHADO, R. E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential

evapotranspiration. **Revista Ambiente & Água - an Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 3, p. 28-42, 2008.

SILVA, L. P. **Hidrologia**: engenharia e meio ambiente. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 330 p.

SILVA, E. R. M.; BARBOSA, I. C. C.; SILVA, H. J. F.; COSTA, L. G. S.; ROCHA, E. J. P. Análise do desempenho da estimativa de precipitação do produto CHIRPS para sub-bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1094-1105, 2020.

TEIXEIRA, W. G.; VICTORIA, D. de C.; BARROS, A. H. C.; LUMBRERAS, J. F.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SILVA, F. A. M. da; LIMA, E. de P.; BUENO FILHO, J. S. de S.; MONTEIRO, J. E. B. de A. **Predição da água disponível no solo em função da granulometria para uso nas análises de risco no Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. 97 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 272).

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948. DOI: <https://doi.org/10.2307/210739>

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. 8).

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

**Embrapa**  

---

**Milho e Sorgo**



Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

