



ANÁLISE DA SÉRIE HISTÓRICA DA TEMPERATURA MÁXIMA NA AMAZÔNIA: O CASO DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA (1961– 2024)

Cristiele Souza da Silva¹
Rodrigo Otávio Peréa Serrano²

RESUMO

Este estudo analisa a variabilidade e as tendências da temperatura máxima diária no município de São Gabriel da Cachoeira (AM) entre 1961 a 2024, com o objetivo de identificar possíveis alterações térmicas associadas a variabilidade climática e as mudanças globais. A pesquisa fundamenta-se em uma abordagem teórico-metodológica quali-quantitativa, com base na climatologia geográfica e na teoria geral dos sistemas, utilizando dados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP/INMET). Foram aplicadas técnicas estatísticas para analisar anomalias e normais climatológicas e de decomposição de séries temporais no ambiente RStudio. Os resultados revelam um padrão contínuo de aquecimento ao longo das últimas seis décadas, com aumento médio de até 2 °C nas temperaturas máximas anuais em relação a normal de 1961-1900. Mesmo em uma área de baixa antropização, observou-se a persistência de anomalias positivas após a década de 1990, o que está associado a influência dos sistemas atmosféricos de larga escala, como o El Niño e o aquecimento do Atlântico tropical. Os dados reforçam que o aquecimento amazônico decorre de processos globais interconectados, impactando também em regiões consideradas de baixa vulnerabilidade local.

Palavras-chave: Variabilidade climática, Amazônia, Mudanças climáticas.

RESUMEN

Este estudio analiza la variabilidad y las tendencias de las temperaturas máximas diarias en el municipio de São Gabriel da Cachoeira, Amazonas, de 1961 a 2024, con el objetivo de identificar posibles cambios térmicos asociados a la variabilidad climática y al cambio global. La investigación se basa en un enfoque teórico-metodológico cualitativo y cuantitativo, basado en la climatología geográfica y la teoría general de sistemas, utilizando datos de la Base de Datos Meteorológicos para la Enseñanza y la Investigación (BDMEP/INMET). Se aplicaron técnicas estadísticas para analizar las anomalías y normales climatológicas, así como la descomposición de series de tiempo en el entorno RStudio. Los resultados revelan un patrón continuo de calentamiento en las últimas seis décadas, con un aumento promedio de hasta 2 °C en las temperaturas máximas anuales en comparación con la normal de 1961-1900. Incluso en un área de baja antropización, se observaron anomalías positivas persistentes después de la década de 1990, asociadas a la influencia de sistemas atmosféricos de gran escala como El Niño y el calentamiento del Atlántico tropical. Los datos refuerzan que el calentamiento de la Amazonía se debe a procesos globales interconectados, que también afectan a regiones consideradas de baja vulnerabilidad local.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia da Universidade Federal do Acre - UFAC, cristiele.silva@sou.ufac.br;

² Professor orientador: Doutor em Mecânica, Mestre em Ecologia e Manejo de Recursos naturais, com graduação em Agronomia e Geografia. Professor dos cursos de Bacharelado, Licenciatura e do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia (PPGEO), bem como do Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia (PPG-CITA) - UFAC, rodrigo.serrano@ufac.br.



Palabras clave: Variabilidad climática, Amazonía, Cambio climático.

INTRODUÇÃO

A compreensão da variabilidade climática em escala regional é essencial para avaliar os impactos das mudanças ambientais sobre ecossistemas sensíveis, sobretudo na região amazônica, caracterizada por clima equatorial e elevada biodiversidade. De acordo com Nímer (1989), alterações nos padrões de temperatura e precipitação são indicadores cruciais para a análise das pressões antrópicas sobre os ambientes naturais mais vulneráveis do planeta.

Para Marengo et al., (2006) as alterações climáticas evidenciadas nas últimas décadas estão se tornando cada vez mais recorrentes, ocasionadas por ciclos naturais de variabilidade do clima em diferentes escalas de tempo e espaço, como pela ação antrópica, ligadas às alterações no uso dos solos, urbanização e à emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, sobretudo na Amazônia.

Projeções recentes indicam que a região Norte do Brasil poderá enfrentar aumentos expressivos nas temperaturas mínimas e máximas, especialmente em cenários de aquecimento global superiores a 1,5 °C. Segundo simulações de Santos et al. (2020, apud Mello et al., 2023), os impactos incluem o aumento de até 75% no número de dias extremamente quentes, com consequências significativas para os ecossistemas e a saúde humana.

Apesar da relevância do tema, ainda são escassos os estudos climatológicos em áreas de baixa densidade urbana, como o município de São Gabriel da Cachoeira (AM), situado no noroeste do estado do Amazonas. Esse território representa um contexto estratégico para investigação científica por reunir três atributos essenciais: reduzido grau de urbanização, alta integridade ecológica e uma série histórica extensa e contínua de dados meteorológicos.

Analisar a trajetória térmica desse município ao longo de mais de seis décadas permite questionar se mesmo áreas consideradas menos antropizadas estão sendo impactadas por tendências de aquecimento. Assim, este estudo tem como objetivo principal avaliar a variabilidade e as tendências da temperatura máxima diária em São Gabriel da Cachoeira, no período de 1961 a 2024, contribuindo para o aprofundamento do conhecimento sobre os efeitos das mudanças climáticas em territórios da Amazônia com baixa intervenção antrópica.

REFERENCIAL TEÓRICO



Mudanças Climáticas e Variabilidade do Sistema Climático

As mudanças climáticas constituem uma das principais ameaças contemporâneas enfrentadas pela humanidade, tanto pela amplitude de seus efeitos quanto pela complexidade de seus fatores determinantes. Embora o clima da Terra tenha passado por variações naturais ao longo das eras geológicas, as transformações ocorridas nas últimas décadas são impulsionadas devido as atividades humanas.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), mudança climática é “uma mudança no estado do clima que pode ser identificada [...] por mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades, e que persiste por um período prolongada, normalmente décadas ou mais”. Compreende-se, portanto, que as mudanças climáticas derivam de causas naturais ou androgênicas, alterando o comportamento climático em escalas globais, regionais e locais ao longo do tempo.

Mendonça et al., (2007) destacam que qualquer modificação no clima, independentemente da escala e da direção, afeta todos os componentes do sistema-terra, dada sua complexidade e interconexão. O aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) é o principal fator antrópico associado às mudanças climáticas. Embora o efeito estufa seja um processo natural responsável por manter o equilíbrio térmico do planeta, sua intensificação, decorrente da emissão excessiva de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x), tem elevado significativamente a temperatura média global (IPCC, 2021; UNEP, 2023).

A variabilidade climática, por sua vez, refere-se as flutuações naturais do clima em decorrência da normal climatológica, com diferentes amplitudes e periodicidade (Ramos et al., 2008; Barry, 2013). Esse conceito é fundamental para distinguir as alterações temporárias do sistema climático das mudanças estruturais. Entre as causas naturais de variabilidade destacam-se o fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENSO), a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e as variações da radiação solar.

Fenômenos Naturais e Variabilidade Climática

Embora as atividades humanas sejam o principal motor das mudanças climáticas contemporâneas, o sistema climático terrestre também é modulável por fenômenos naturais que



operam em diferentes escalas temporais. Entre os mais relevantes estão a Oscilação Sul (ENSO) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), que influenciam diretamente os padrões de temperatura e precipitação (Marengo, 2007).

O ENSO consiste em uma interação oceano-atmosfera no Pacífico Tropical, com ciclos de 2 a 7 anos (Cunha, 1999). Suas duas fases, o El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria) que provocam impactos contrastantes. Durante o El Niño, o enfraquecimento dos ventos alísios e o aquecimento anômalo das águas superficiais no Pacífico Equatorial tendem a gerar secas na Amazônia e excesso de chuvas no Sul do Brasil. Já a La Niña intensifica os ventos alísios, promove o resfriamento das águas e reforça a Circulação de Walker, favorecendo o aumento das precipitações na Amazônia (Marengo et al., 2016).

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), por sua vez, representa uma variabilidade de longo prazo da temperatura da superfície do mar, com ciclos de 20 a 30 anos. Na fase fria, observam-se anomalias negativas nas regiões tropicais e positivas nas extratropicais do Pacífico; na fase quente, o padrão se inverte. Essa oscilação influencia o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), afetando a distribuição das chuvas e a temperatura do ar. No contexto amazônico, a ODP pode potencializar ou atenuar os efeitos do ENSO, modulando o regime pluviométrico regional (Marengo et al., 2016).

Além dessas variabilidades internas, há também forçantes externas naturais, como as erupções vulcânicas e a atividade solar. Erupções de grande magnitude, como a do Monte Pinatubo em 1991, podem reduzir temporariamente a temperatura global ao injetar aerossóis na estratosfera (Robock, 2000). Já as variações na irradiância solar influenciam o balanço energético terrestre em escalas multidecenais (Lean e Rind, 2008), embora seus efeitos sejam menos expressivos que os de origem antrópica (Marengo, 2006).

Compreender a interação entre os fenômenos naturais e as forçantes humanas é fundamental para distinguir a variabilidade interna do sistema climático das mudanças globais provocadas pela ação antrópica. Tal diferenciação constitui a base para a análise científica das tendências climáticas regionais e dos processos de adaptação e mitigação frente à crise climática atual.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

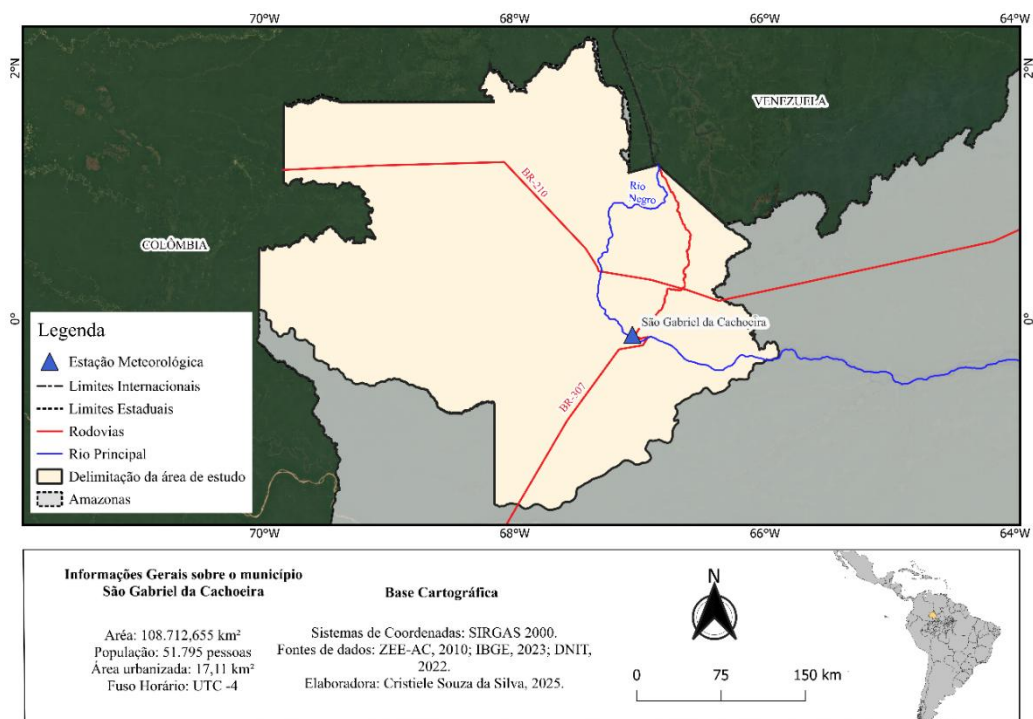
Caracterização da Área de Estudo



O município de São Gabriel da Cachoeira (figura 1) localiza-se no extremo noroeste do Estado do Amazonas, fazendo fronteira com a Colômbia e a Venezuela. Suas coordenadas geográficas são 00°08'37,87"S e 67°03'20,00"W, situando-se a aproximadamente 850 km de Manaus, capital do estado. Integra a microrregião do Rio Negro e a mesorregião Norte Amazonense (IBGE, 2023). Por sua posição fronteiriça, é considerado área de segurança nacional, conforme a Lei Federal nº 5.449, de 04 de junho de 1968.

O município possui área territorial de 108.712,655 km², ocupando a 2ª posição entre os 62 municípios amazonenses e a 3ª posição entre os 5.570 municípios brasileiros em extensão (IBGE, 2023). Em 2022, sua população era 51.795 habitantes, apresentando densidade demográfica inferior a 0,5 hab/km² (IBGE, 2023). São Gabriel da Cachoeira, está entre os dez municípios com maior número de povos indígenas em sua população (Banco Mundial, 2025).

Figura 1: Mapa de localização do Município de São Gabriel da Cachoeira



Fonte:

ZEE-AC, 2010; IBGE, 2023; DNIT, 2025; ANA, 2012.

O relevo de São Gabriel da Cachoeira é fortemente influenciado pelo Escudo das Guianas, apresentando altitudes variando entre 60 a 900 metros, com expressivas elevações nas Serras do Imeri, Cupira, Curicuriari e Tapirapecó. Nessa região situam-se o Pico da Neblina e



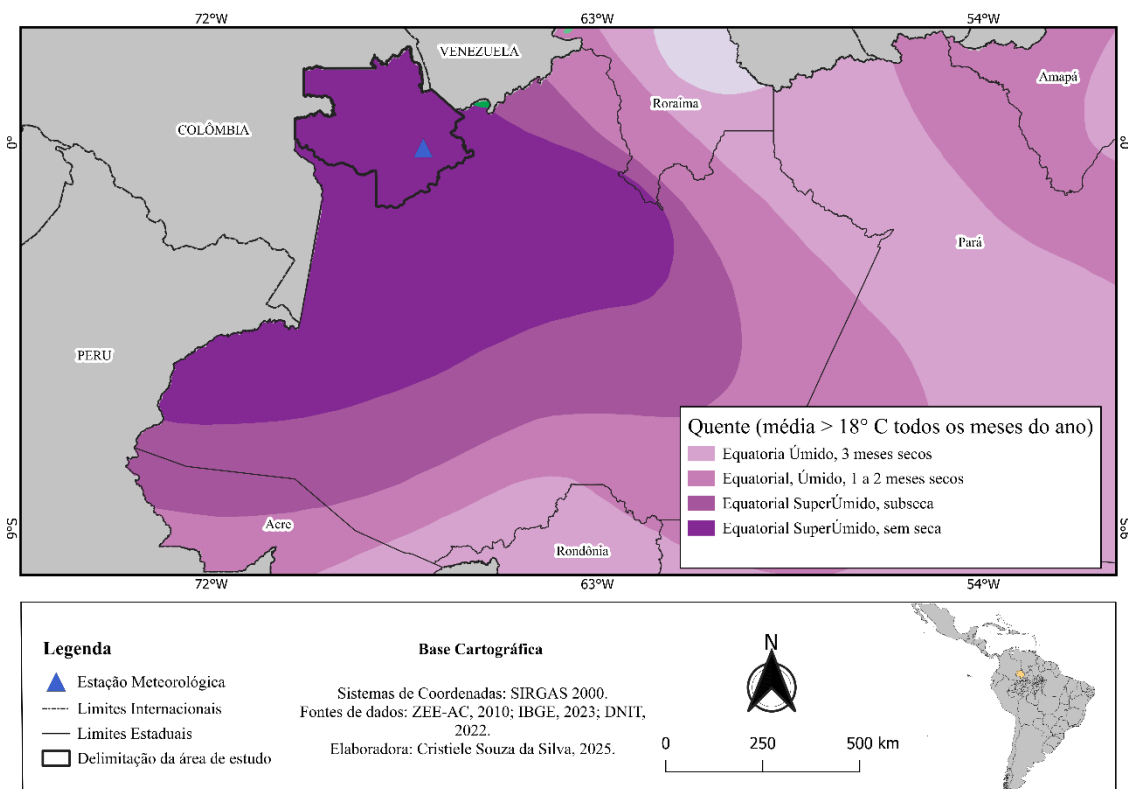
o Pico 31 de Março, os pontos culminantes do relevo brasileiro, com altitudes de 3.014 m e 2.992 m, respectivamente.

A região norte do Brasil, onde está insere a Floresta Amazônica, apresenta clima equatorial úmido, conforme a Classificação Climática do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), baseada em Nimer (1989). Tal regime climático caracteriza-se por altas temperaturas, elevada umidade relativa e ausência de estação seca definida. São Gabriel da Cachoeira enquadra-se, na classificação de Nimer (1989), como equatorial superúmido (figura 2), com os índices pluviométricos anuais superam os 3.000 mm.

As temperaturas médias anuais variam entre 26° C a 27° C, com pequenas oscilações sazonais (Martins. 2019). A sazonalidade climática é marcada apenas por reduções de chuvas entre dezembro e fevereiro, período conhecido como verão amazônico, que não configura uma estação seca.

No município, observa-se a ausência quase completa de estação seca, com totais mensais de precipitação entre 241 e 342 mm/mês, o que caracteriza uma distribuição regular das chuvas ao longo do ano (Santos et al., 2023). Esse núcleo de precipitação está associado a condensação do ar úmido transportado pelos ventos alísios de leste, proveniente da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A atividade da ZCIT é intensificada pelas chuvas orográficas dos Andes, favorecendo processos intensos convectivos durante os meses de abril a junho, período de maior pluviosidade na região.

Figura 2: Classificação climática de São Gabriel da Cachoeira



Fonte: IBGE, 2023; INMET, 2025.

Fonte de Dados e Período de Estudo

O presente estudo utilizou dados provenientes do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), mantido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), correspondentes a série histórica diária de temperatura máxima observadas pela estação meteorológica convencional de São Gabriel da Cachoeira (UAPES – AM) no intervalo de 1961–2024. A escolha dessa estação fundamenta-se na continuidade observacional e representatividade regional, características que garantem maior consistência dos dados necessária para análise de tendências climáticas de longo prazo.

O período de estudo foi definido com base nas diretrizes da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2017), que recomendam o uso de séries contínuas com, no mínimo, 30 anos para caracterização climática de uma localidade. Foram adotadas três normais climatológicas de referência, 1961–1995, 1980–2010 e 1995–2024, permitindo comparar padrões térmicos em diferentes períodos e identificar possíveis alterações associadas à variabilidade e as mudanças climáticas recentes, conforme os procedimentos técnicos estabelecidos pelo INMET (2022).



Tratamento e Qualidade dos Dados

O processamento e a análise estatística foram empregados no ambiente RStudio, utilizando a linguagem R como base para as operações analíticas e de visualização. O RStudio constitui um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) amplamente utilizado em estudos meteorológicos e climatológicos, oferecendo uma interface estruturada que possibilita o desenvolvimento de rotinas reprodutíveis e análises automatizadas (Pereira et al., 2021).

A limpeza e o tratamento dos dados envolveram: importação dos arquivos, padronização das colunas e variável, transformação de dados em formato numérico e temporal, e sumarização estatística. Para essas operações, empregaram-se os pacotes, *tidyverse*, *lubridate*, *janitor*, *nanian*, *ggplot*, *forecast*, que possibilitaram a manipulação, diagnóstico de lacunas, integração visual e a construção de gráficos.

Foram considerados válidos apenas os meses com no mínimo 20 dias de observações e os anos com 240 dias válidos, assegurando pelo menos 80% de completude da série, conforme recomendações da INMET (2022). A ausência de dados, equivalente a 4,7% da série, foi mantida sem interpolação, uma vez que o preenchimento poderia introduzir distorções nos padrões climáticos reais e comprometer a representatividade temporal dos registros.

Cálculo das Normais Climatológicas Mensais

As normais climatológicas são médias estatísticas obtidas para períodos padronizados de, no mínimo, 30 anos consecutivos, expressando as condições médias do clima em determinado local (INMET, 2022). Os cálculos seguiram as orientações da OMM e do INMET (2022), de acordo com as Diretrizes ° 1203, que preveem a utilização das séries homogêneas e contínuas para o cálculo de médias e totais mensais.

Para cada mês válido, calculou-se a média diária da temperatura máxima, e a normal mensal foi obtida pela média aritmética dessas médias anuais, conforme a expressão:

$$X_{ij} = \frac{\sum_k X_{ijk}}{N}$$

Onde:

- X_{ij} = Normal mensal de temperatura do mês i no ano j ;
- X_{ijk} = Temperatura máxima do dia k do mês i no ano j ;



- N = Número de dias válidos no mês.

Decomposição de Séries Temporais

A decomposição de séries temporais foi empregada para identificar os componentes estruturais de tendência (T), sazonalidade (S) e resíduo ou ruído (R), permitindo compreender a variabilidade interna dos dados ao longo do tempo (Liu et al., 2012; França, 2023; Kolambe et al., 2024). A decomposição clássica aditiva segue a expressão:

$$Y_t = T_t + S_t + R_t$$

Em que:

- T_t = Indica a tendência, direção predominante ao longo do tempo (crescente, decrescente ou estável).
- S_t = É a sazonalidade, onde mostra as variações cíclicas e previsíveis, ligadas a fatores sazonais ou regimes pluviométricos regionais.
- R_t = O resíduo corresponde ao componente aleatório associado às variações não explicadas pelos componentes anteriores.

A decomposição foi implementada no RStudio, por meio da função *decompose()* do pacote *forecast*, convertendo as séries em objetos do tipo *ts* com frequência mensal ($f=12$). Os resultados foram apresentados em 3 painéis: tendência, sazonalidade e ruído, permitindo uma análise detalhada da dinâmica térmica local.

Cálculo das Anomalias de Temperatura

As anomalias anuais foram calculadas com o objetivo de identificar os desvios em relação ao comportamento térmico médio de longo prazo, de acordo com a expressão:

$$A_t = T_t + \bar{T}_{ref}$$

Em que, A_t , representa a anomalia no tempo t , T_t é a temperatura máxima observada, e $\bar{T}_{ref}$ corresponde à média climatológica de referência (1961-1990).

Para a representação gráfica, elaboraram-se duas visualizações complementares. A primeira baseou-se na metodologia de Hawkins (2018), mediante o gráfico de faixas térmicas (*warming stripes*), que ilustra visualmente a magnitude e a direção das anomalias anuais entre 1961 a 2024. Cada faixa vertical corresponde a um ano, com tonalidades variando do azul



(anomalias negativas) ao vermelho (anomalias positivas), tendo como ponto neutro em 0° C. Essa visualização foi construída com a função *geom_tile()* e da escala cromática *scale_fill_gradient2()*,

A segunda representação constituiu em um histograma de anomalias anuais, elaborado com a função *geom_col()*, mantendo a coerência cromática do gráfico anterior. Cada barra representa o desvio médio anual em relação à média de referência, permitindo observar oscilações interanuais e a persistência de valores positivos nas últimas décadas. O eixo das abscissas indica os anos da série e o das ordenadas expressa o desvio térmico em graus Celsius (°C).

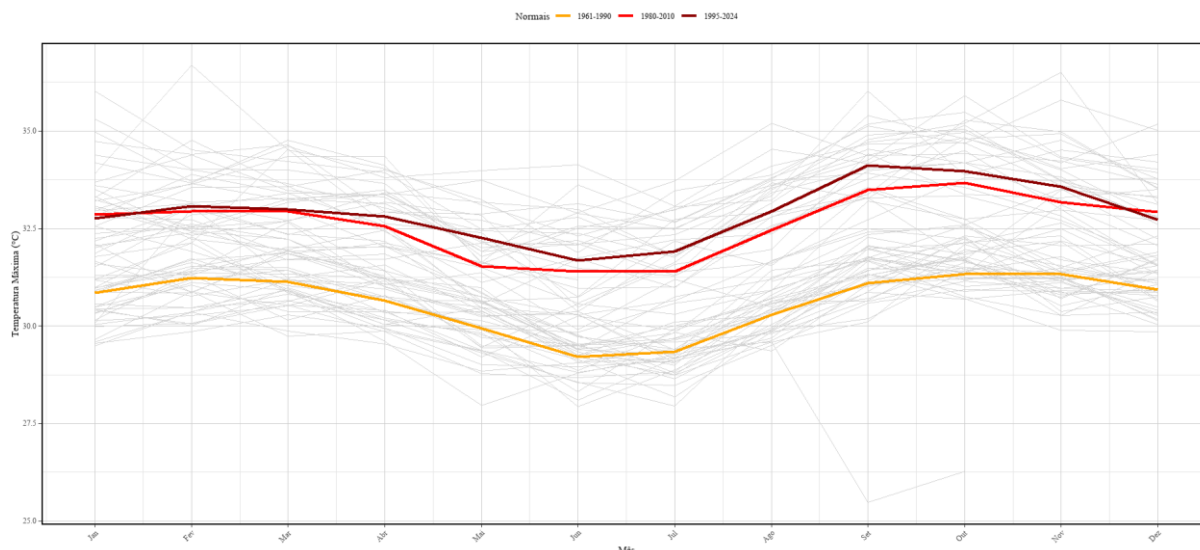
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise das Normais Climatológicas

A análise das normais climatológicas da temperatura máxima (figura 3) revela uma tendência de aquecimento ao longo de seis décadas, alinhada as mudanças observadas em diferentes regiões da Amazônia e do Brasil. Observa-se que a série referente ao período de 1961-1990 caracteriza-se por uma média anual variando entre 30 °C e 31,5 °C, quanto os períodos subsequentes, 1980-2010 e 1995-2024, mostram um aquecimento gradual e contínuo.

Contudo, observa-se um incremento das temperaturas máximas nos períodos subsequentes, A normal de 1980-2010, apresenta elevação média de 1,0 °C a 1,5 °C, sobretudo nos meses de transição entre o final da estação chuvosa e o início da estação seca. Já no intervalo mais recente, 1995-2024, verifica-se um aumento ainda mais acentuado, com anomalias positivas de até 2,0 °C, em relação a normal de 1961-1990, especialmente entre setembro e novembro, quando predominam condições de alta radiação solar e menor cobertura de nuvens.

Figura 3: Gráficos das Normais Climatológicas de Temperatura Máxima



Elaborado pela autora, 2025.

Os resultados de Marengo et al., (2011) e Nobre et al., (2016), demonstram o aquecimento atmosférico amazônico, segundo os quais o aumento da temperatura média regional decorre da combinação entre mudanças no uso e cobertura da terra e maior recorrência de eventos climáticos extremos. Fenômenos como El Niño e o aquecimento anômalo do Atlântico tropical também exercem influência direta sobre o regime térmico e pluviométrico da região, principalmente a partir dos anos 1990.

Santos et al., (2023), observaram aumento das temperaturas médias e máximas anuais em Manaus, com tendência de aquecimento mais acentuada nas últimas três décadas. Essa coerência regional reforça a hipótese de aquecimento sistêmico da Amazonia Ocidental, ainda que o município de São Gabriel da Cachoeira apresente baixa antropização e elevada integridade florestal, indicando que os aumentos térmicos decorrem de processos atmosféricos de larga escala mais do que de fatores locais.

Ao comparar-se com outras regiões do Brasil, os resultados mostram particularidades isoladas. No Nordeste, segundo Salviano et al., (2016), a tendência média situa-se entre 0,8 °C a 1,2 °C, mas com grande irregularidade sazonal em função da variabilidade da precipitação. Já no Centro-Oeste e Sudeste, o aquecimento médio varia entre 1,0 °C e 1,8 °C, fortemente associado à urbanização e à continentalidade, conforme apontam os relatórios do INMET (2022).

Em contrapartida, na Amazônia, os incrementos ultrapassam a 2,0 °C em algumas localidades, indicando uma maior sensibilidade térmica da floresta tropical úmida, fortemente



relacionada às alterações no balanço de energia superficial e a degradação florestal, porém, a anomalias positivas em São Gabriel da Cachoeira não pode ser relacionada a fatores locais, como o desmatamento ou a urbanização, uma vez que o município apresenta baixos níveis de antropização e elevada integridade florestal.

A análise mensal das normais climatológicas confirma o padrão sazonal característico da Amazonia, com temperaturas mais baixas entre maio e julho, associadas a maior nebulosidade e a estação chuvosa, e valores máximos entre setembro e novembro, quando a redução da umidade e o predomínio da radiação solar favorecem o aquecimento diurno. Esse comportamento é discutido por Marengo e Espinoza (2016), que relacionam as variações térmicas sazonais a migração da ZCIT e ao deslocamento das células convectivas amazônicas.

As normais mais recentes, no entanto, sugerem alterações na intensidade e duração das estações, com persistência de temperaturas elevadas ao longo de praticamente todo o ano. Essa condição indica redução da resiliência térmica regional e aumento da frequência de eventos extremos, como ondas de calor e secas severas, fenômenos já registrados em 2005, 2010 e 2015-2016 (Marengo e Espinoza, 2016; Marengo et al., 2018).

Anomalias térmicas e variabilidade interanual

As anomalias anuais da temperatura máxima diária demonstram tendências de aquecimento ao longo das últimas seis décadas, marcada por padrões de variabilidade interanual e decadal. Entre 1961 a 1980, predominam anomalias negativas, indicando anos com temperaturas inferiores à média de longo prazo, indicando estabilidade térmica e de menor variabilidade climática. As oscilações registradas nesse intervalo mantiveram-se próximas da média climatológica, com desvios inferiores a $\pm 0,5$ °C, o que indica um regime térmico equilibrado e de acordo com o comportamento atmosférico amazônico pré-aquecido mundialmente (Marengo et al., 2016).

A partir de 1990, no entanto, verifica-se uma mudança na série histórica, com predomínio crescente de anomalias positivas e o aumento consistente das temperaturas máximas anuais. Mesmo após o ano de 2010, a série manteve valores predominantemente positivos, com pequenas oscilações interanuais, mas sem retorno aos níveis médios do período pré-industrial. Essa persistência indica a consolidação de uma nova normalidade climática mais quente, conforme observado também por Marengo et al., (2018), que descrevem o fenômeno

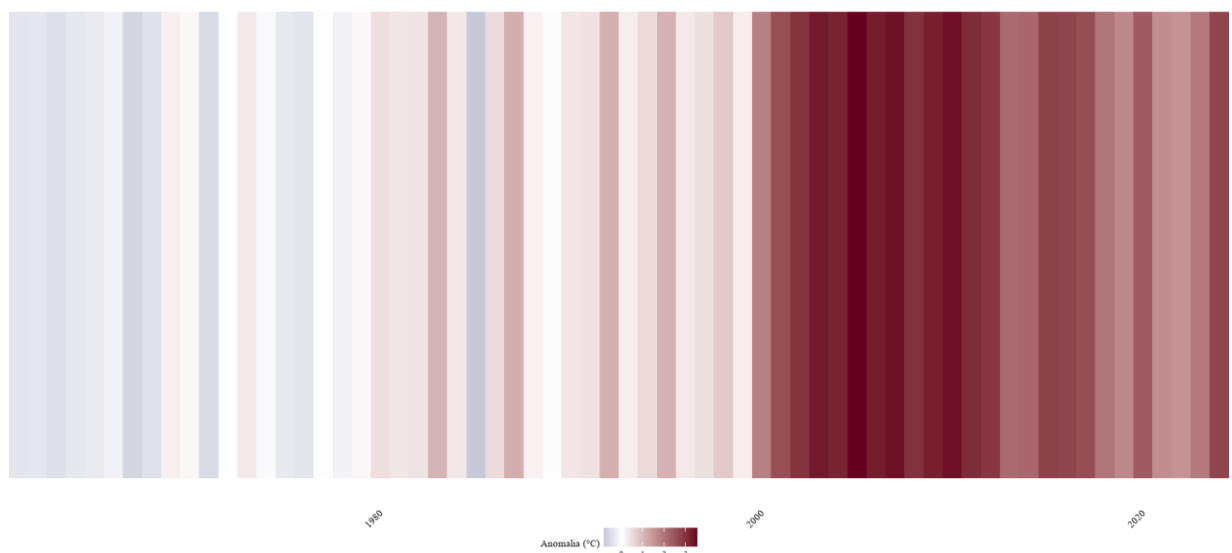


como uma transição de regime térmico, quando as médias anuais permanecem acima da normal climatológica.

Os resultados obtidos para a estação possuem relação com os estudos de Silva e Santos et al., (2023), que identificaram comportamento similar em outras regiões do Amazonas, sobretudo nas cidades de Manaus e Lábrea. Em todos os municípios, há evidências de deslocamento das médias térmicas para aumento elevado a partir da década de 1990, coincidindo com o aumento da temperatura média global.

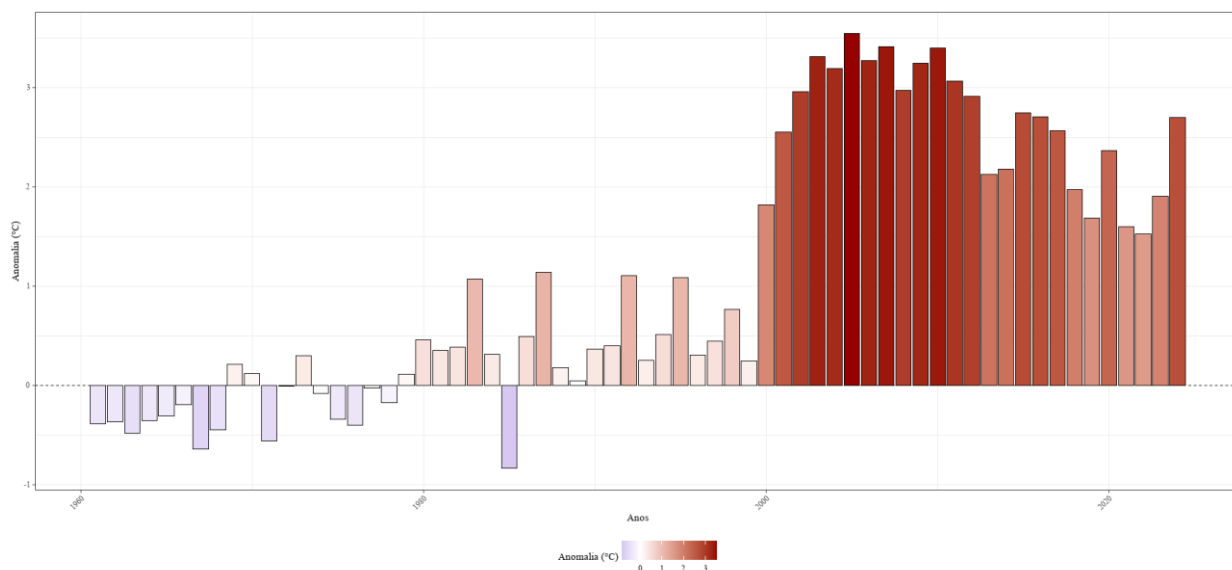
A predominância das anomalias positivas em São Gabriel da Cachoeira, contudo, não pode ser atribuída a fatores locais, como desmatamento ou urbanização, uma vez que o município apresenta baixos níveis de antropização e mantém sua integridade florestal. De acordo com dados do INPE (2025) e IBGE (2023), o território possui 108.712,655 km² de extensão, dos quais apenas 63,20 km² foram desmatados entre 2008 a 2024, correspondendo a aproximadamente 0,05% de sua área total. Tal índice é considerado irrelevante estatisticamente para provocar alterações térmicas em escala local, indicando que o aumento das temperaturas decorre, predominantemente de forçantes climáticas regionais e globais, como a intensificação dos eventos El Niño e as oscilações multidecadais do Atlântico e do Pacífico (Marengo et al., 2011; Marengo et al., 2016).

Figura 4: listras de aquecimento da temperatura global



Elaborado pela autora, 2025.

Figura 5: listras de aquecimento da temperatura global



Elaborado pela autora, 2025.

Esses modos de variabilidade modulam a circulação atmosférica sobre a Amazônia, afetando a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a convecção tropical. Quando ambos os sistemas estão em fase quente, há tendência de aumento da subsidência atmosférica e da radiação solar direta na superfície, reduzindo a nebulosidade e a umidade relativa, e consequentemente elevando as temperaturas máximas (Marengo et al., 2016; IPCC, 2021).

A homogeneização do aquecimento em diferentes contextos de uso e cobertura do solo é uma das evidências mais consistentes de que o sistema climático amazônico responde de forma integrada ao aumento de concentração de gases de efeito estufa (GEE) (Nobre et al., 2016). Mesmo em áreas de pouca antropização, o aquecimento atmosférico eleva a demanda evaporativa e altera o balanço de energia superficial, impactando no ciclo hidrológico. A redução da umidade do solo, associada a intensificação de bloqueios atmosféricos, sistemas de alta pressão que inibem a formação de nuvens, tem colaborado para o aumento da radiação solar direta incidente e, consequentemente, das temperaturas médias e extremas (Marengo et al., 2018; Santos et al., 2023).

Análise da decomposição temporal

A decomposição da série temporal permite identificar e analisar os componentes estruturais que compõem a variabilidade climática local, distinguindo as influências de longo,



médio e curto prazo. A figura X, apresenta a decomposição da série histórica de temperatura máxima diária, evidenciando três componentes principais, tendência sazonalidade e ruído (ou irregularidade).

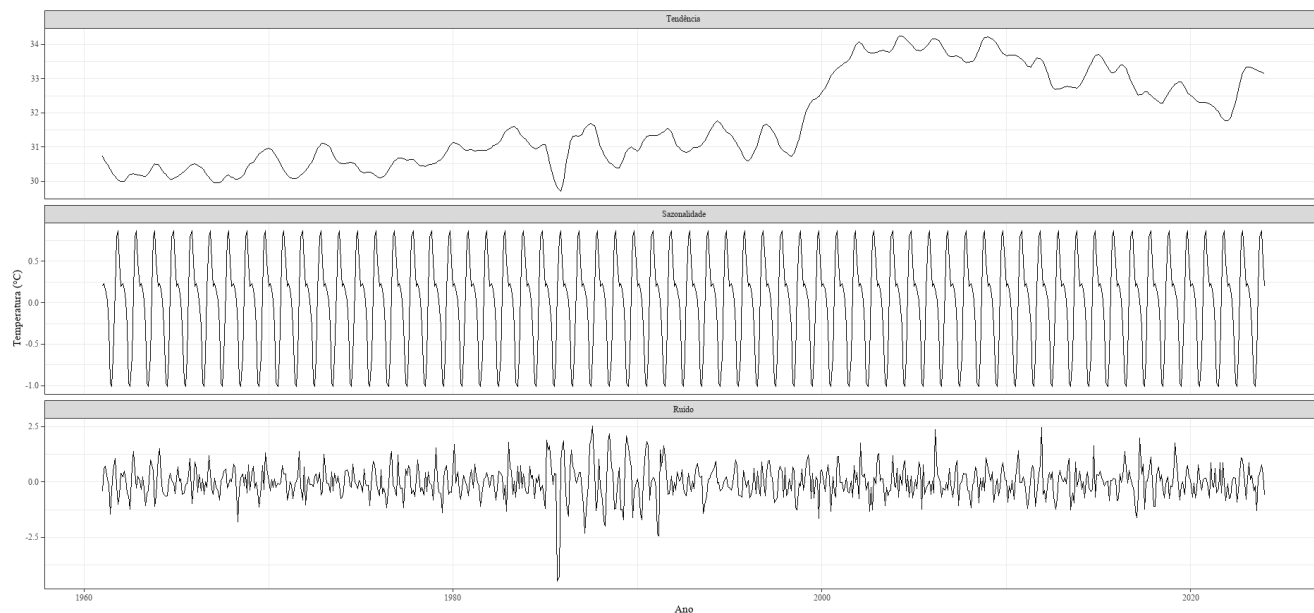
O componente de tendência mostra o aquecimento ao longo das últimas seis décadas. Observa-se que, entre as décadas de 1960 a 1980, as temperaturas mantem relativa estabilidade, oscilando em torno de 30 °C, o que indica um regime térmico ainda controlado por condições naturais e padrões climáticos internos do sistema amazônico.

Entretando, a partir da década de 1990, a elevação nas temperaturas, resulta em valores superiores a 34 °C após 2010. Essa tendência destaca o aquecimento climático regional, de acordo com os estudos de Marengo et al., (2018) e Nobre et al., (2016), que apontam a intensificação do aquecimento na Amazonia em decorrência das mudanças globais.

O componente sazonal demonstra regularidade anual da variabilidade térmica, evidenciando o ciclo climático característico da região equatorial. As oscilações regulares indicam forte controle da sazonalidade sobre a temperatura, com padrões associados a alternância entre os períodos chuvosos e seco. Esse comportamento cíclico é compatível com a dinâmica da ZCIT e com variações sazonais de nebulosidade e precipitação (Marengo et al., 2016).

Por fim, o componente de ruído expressa as flutuações irregulares de curta duração, associadas a anomalias interanuais e eventos extremos. Observa-se uma intensificação da variabilidade a partir da década de 1980, coincidindo com maior frequência de eventos El Niño – Oscilação Sul (ENOS), que tendem a elevar as temperaturas na região (Marengo et al., 2018). Esses picos pontuais indicam a sensibilidade da série as forçantes externas e a variabilidade natural de alta frequência.

Figura 6: Decomposição temporal da série do município de São Gabriel da Cachoeira



Elaborado pela autora, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da temperatura máxima diária em São Gabriel da Cachoeira (AM), entre 1961 e 2024, evidenciou um processo contínuo de aquecimento climático, mesmo em um território caracterizado por baixa densidade urbana e significativa cobertura florestal. Embora tal elevação possa parecer contraditória à percepção de que os efeitos das mudanças climáticas seriam mais pronunciados em áreas urbanizadas ou fortemente desmatadas, os resultados demonstram a complexidade e a abrangência das alterações climáticas, cujos impactos transcendem fronteiras políticas, ecológicas e demográficas.

Mais do que apontar o aumento das temperaturas ao longo das últimas décadas, este estudo levanta reflexões importantes sobre a resiliência climática de áreas naturais e o papel fundamental dos ecossistemas amazônicos na regulação do clima regional e global. A identificação de tendências de aquecimento mesmo em regiões consideradas "refúgios térmicos", como o noroeste amazônico, reforça a necessidade de repensar a noção de vulnerabilidade climática, ampliando o foco também para áreas tradicionalmente vistas como menos expostas.

As mudanças observadas podem comprometer a estabilidade ecológica, os modos de vida de populações tradicionais e a segurança ambiental da região, exigindo atenção redobrada



em políticas de conservação, monitoramento climático e mitigação dos efeitos do aquecimento global, inclusive nos territórios de maior integridade ambiental.

REFERÊNCIAS

BANCO MUNDIAL. Povos Indígenas e a Amazônia Brasileira: desafios e perspectivas para um futuro sustentável e inclusivo. **Série América Latina Indígena**, nº 1. Washington, DC: World Bank, 2025. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099809104042537249/pdf/IDU-44655045-843a-45a9-b115-23bc0ae9f8cf.pdf>. Acesso em: 09/09/2025.

FRANÇA, Luan Matheus Sá. **Análise da série temporal do índice pluviométrico da cidade de Belém-PA entre 1950 até 2019: padrões, tendências e previsões**. 2023. Portfólio Acadêmico (Licenciatura em Matemática). Faculdade de Matemática, Campus de Castanhal, Universidade Federal do Pará, Castanhal, PA, 2023. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/1d768ce9-a447-4c0a-bce6-be8127700d5e/content>. Acesso em: 26/07/2025.

HAWKINS, Ed. Warming stripes. **Climate Lab Book**, v. 22, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área Territorial: Área territorial brasileira 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/sao-gabriel-da-cachoeira.html>. Acesso em 17/04/2025.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (Brasil). **Relatório de gestão: 2020–2022**. Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Relat%C3%B3rio-Gest%C3%A3o-Final_um.pdf. Acesso em: 21/06/2025.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2025). **TerraBrasilis: plataforma de dados geográficos**. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/increments. Acesso em: 15/07/2025.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2024). **Monitoramento do fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS)**. CPTEC/INPE. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 17/07/2025.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SummaryVolume.pdf. Acesso em: 15/03/2025.



KOLAMBE, Milind; ARORA, Sandhya. Forecasting the future: A comprehensive review of time series prediction techniques. **Journal of Electrical Systems**, v. 20, n. 2s, p. 575-586, 2024. Disponível em: <https://journal.esrgroups.org/jes/article/view/1478>. Acesso em: 25/07/2025.

Liu, Z., Zhu, Z., Gao, J., & Xu, C. **Forecast Methods for Time Series Data: A Survey**. in IEEE Access, vol. 9, pp. 91896-91912, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3091162. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9461796>. Acesso em: 25/07/2025.

Marengo, J. A., Nobre, C. A., Sampaio, G., Salazar, L. F., & Borma, L. S. (2011). Climate change in the Amazon Basin: Tipping points, changes in extremes, and impacts on natural and human systems. In **Tropical rainforest responses to climatic change** (pp. 259-283). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-05383-2_9. Acesso em: 15/05/2025.

Marengo, J. A., Souza Jr, C. M., Thonicke, K., Burton, C., Halladay, K., Betts, R. A., ... & Soares, W. R. (2018). Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, 6, 228. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2018.00228/full>. Acesso em: 17/02/2025.

MARENGO, José A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Ministerio Do Meio Ambiente Secretaria de Biodiversidade EF, 2006. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Livro2_completo.pdf. Acesso em: 25/04/2025.

MARENGO, Jose A.; VALVERDE, Maria C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, n. 1, p. 5-28, 2007. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/marengo_valverde_carcterizacao_2007.pdf. Acesso em: 26/04/2025.

MARENGO, José Antônio. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-19, 2006. Disponível em: https://clivar.org/sites/default/files/documents/vamos/LBA002-2006_JAMarengo.pdf. Acesso em 16/05/2025.

MARENGO, José Antonio; ESPINOZA, Jhan Carlo. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.4420>. Acesso em: 26/04/2025.

MARTINS, Paulo André da Silva. **Normais climatológicas, balanço hídrico e classificação climática para a Mesorregião Sul do Amazonas**. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7333>. Acesso em: 09/07/2025.



MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

NÍMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE –Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. Ed, 1989, 421p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=281099&view=detalhes>. Acesso em: 12/03/2025.

NOBRE, C. A., Sampaio, G., Borma, L. S., Castilla-Rubio, J. C., Silva, J. S., & Cardoso, M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1605516113>. Acesso em: 01/09/2025.

OMM, Organização Meteorológica Mundial. **Guide to climatological practices**. Geneva: **WMO**, 2017. (WMO-No. 1203). Disponível em: https://library.wmo.int/records/item/55797-wmo-guidelines-on-the-calculation-of-climate-normals?language_id=13&offset=45. Acesso em: 25/07/2025.

PEREIRA, Andre da Silva; MARCA, Luan; SILVA FILHO, Edson Jesus de Paiva. **Introdução ao R-Studio**. Universidade de Passo Fundo (UPF), Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGAdm), 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/355684507>. Acesso em: 04/07/2025.

Ramos, M. A. B., Viana, S., do Espírito Santo, E. B., & do Brasil, C. S. G. (2008). **Mudanças climáticas. Geodiversidade do Brasil**, 163. Disponível em: http://www.geoturismobrasil.com/artigos/geodiversidade_b. Acesso em: 29/04/2025.

ROBOCK, Alan. Volcanic eruptions and climate. **Reviews of geophysics**, v. 38, n. 2, p. 191-219, 2000. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/1998rg000054>. Acesso em: 27/04/2025.

SALVIANO, Marcos Figueiredo; GROPPPO, Juliano Daniel; PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/QDKzpZxkPwWVxbnr5NZDRSB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01/09/2025.

SANTOS, Thiago Oliveira dos; ANDRADE FILHO, Valdir Soares de; SANTOS FRANÇA, Rebeca dos. Variabilidade e tendência climática nos municípios de Manaus (AM) e São Gabriel da Cachoeira (AM): uma avaliação a partir dos dados de precipitação e temperatura. **Revista Geonorte**, v. 14, n. 43, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/10886>. Acesso em 17/04/2025.

UNEP. United Nations Environment Programme (2023). **Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again)**. Nairobi. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43922>. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023> Acesso em: 20/03/2025.