

Artigo

Padrões de Chuva e de Evapotranspiração em Goiânia, GO

Derblai Casaroli¹ , Tallyta Ramalho Rodrigues², Angélica Pires Batista Martins²,
Adão Wagner Pêgo Evangelista¹, José Alves Júnior¹

¹Setor de Engenharia de Biosistemas, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás,
Goiânia, GO, Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Agronomia, Escola de Agronomia,
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.

Recebido em 17 de Outubro de 2017 – Aceito em 12 de Abril de 2018.

Resumo

A chuva (P) e a evapotranspiração potencial (ETP) são variáveis climáticas relevantes para diferentes áreas do conhecimento, tais como: agricultura, manejo de bacias, previsões de tempo e drenagem urbana. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os padrões de chuva e de ETP para o município de Goiânia, GO. Foram utilizados dados de 36 anos para chuva e de 21 anos para ETP . A precipitação foi de 1.494,66 mm, com tendência de redução a uma taxa de 3,7 mm ano⁻¹. Observou-se que 99% das precipitações diárias são $p \leq 50$ mm dia⁻¹. Registraram-se 292 dias sem chuva e 72 dias chuvosos, com tendência de redução dos dias chuvosos e aumento de dias secos. A ETP foi de 1.380,57 mm, sendo a maior e a menor média registrada no 3° (139,02 mm) e 35° (55,36 mm) quinquídios. Há tendência de aumento na ETP (6,37 mm ano⁻¹). Registrou-se excedente hídrico de 607 mm ano⁻¹ e déficit 471 mm ano⁻¹. $ETR/ETP < 0,8$ entre os meses de abril e outubro. Frequências predominantes de P e ETP foram de 38% ($P > \bar{X}$) e 31% ($ETP > \bar{X}$), com periodicidades 4,0 (P) e 3,2 (ETP) anos. Observou-se $r = 0,68$ entre a temperatura média do ar e as taxas de desmatamento.

Palavras-chave: balanço hídrico, temperatura, Cerrado.

Rainfall and Evapotranspiration Patterns in Goiânia, GO

Abstract

Rainfall (P) and potential evapotranspiration (ETP) are climatic variables relevant to different areas of knowledge, such as: agriculture, watershed management, weather forecasts and urban drainage. The aim of this work was to characterize the rainfall and ETP patterns for the Goiânia, GO city. Data of 36 years for rainfall and 21 years for ETP were used. The precipitation was 1,494.66 mm, with a trend of reduction at a rate of 3.7 mm year⁻¹. It was observed that 99% of the daily precipitations are $p \leq 50$ mm day⁻¹. We recorded 292 days without rain and 72 rainy days, with a tendency to reduce rainy days and increase dry days. The ETP was 1,380.57 mm, with the highest and the lowest mean recorded in the 3rd (139.02 mm) and 35th (55.36 mm) quinquides. There is a tendency to increase in ETP (6.37 mm year⁻¹). A water surplus of 607 mm year⁻¹ and a deficit of 471 mm year⁻¹ were recorded. $ETR/ETP < 0.8$ between the months of April and October. Predominant frequencies of P and ETP were 38% ($P > \bar{X}$) and 31% ($ETP > \bar{X}$), with periodicities 4.0 (P) and 3.2 (ETP) years. Correlation of 0.68 between the mean air temperature and Goiás deforestation rates was observed.

Keywords: water balance, temperature, Brazilian savanna.

1. Introdução

O clima predominante no Estado de Goiás é o Tropical sazonal, de inverno seco, sendo a média de precipitação pluviométrica de 1529 mm ano⁻¹ (± 400 mm) (Costa *et al.*, 2012) e a temperatura do ar média anual fica em torno de

22 °C e 23 °C. Em regiões agrícolas que têm por característica períodos de déficit hídrico, como o Estado de Goiás, estudos relacionados à oferta e demanda por recursos hídricos possuem elevada importância (Vivan *et al.*, 2013). Níveis de déficit hídrico durante estádios críticos de desen-

volvimento das culturas agrícolas (germinação, emergência, floração e enchimento de grãos) podem acarretar em quebras de produtividade (Sans *et al.*, 2001; Farias *et al.*, 2008; Kron *et al.*, 2008; Patanè *et al.*, 2011).

A água é dos principais fatores de produção agrícola, sendo essencial para o desenvolvimento sustentável da atividade agrícola. O ciclo hidrológico de uma região é contabilizado pelo balanço hídrico, inferindo-se informações da cultura, como a profundidade das raízes, do solo, capacidade de armazenamento de água, e do clima, sobretudo quanto à precipitação pluvial (entrada de água) e evapotranspiração (saída de água). Assim, a soma algébrica dos processos de entrada e saída de água num volume conhecido de solo durante um tempo pré-estabelecido é conhecida como balanço hídrico (Miranda e Pires, 2001).

A precipitação pluvial é a principal forma de entrada de água em um dado sistema. O conhecimento do seu histórico auxilia no planejamento e monitoramento dos impactos causados pelo excedente ou pelo déficit hídrico em determinada região, contribuindo para tomada de decisão em vários setores da economia, inclusive nas atividades agropecuárias (Vela *et al.*, 2007; Pizzato *et al.*, 2012). Por outro lado, as saídas de água são regidas, principalmente, pela evapotranspiração, pelo escoamento superficial e pela drenagem profunda. A evapotranspiração é uma variável de grande importância para a agricultura sendo utilizada na modelagem dos processos climatológicos e hidrológicos, projetos de irrigação, previsão de safras e na caracterização climática de determinada região (Blain *et al.*, 2009).

O estudo das distribuições de variáveis climáticas no tempo, determinando seus padrões de ocorrência, sua periodicidade, amplitude e sazonalidade, permitem uma maior aproximação dos valores reais pelos sistemas de previsão, tornando-se uma ferramenta de grande valor para o planejamento e gestão de inúmeras atividades agropecuárias e humanas.

Tanto a chuva como a *ETP* tem como característica sua periodicidade (não linear), que trata da tendência a um período (ciclo) em relação ao tempo, ao espaço, ou a ambos. O elemento básico das séries temporais é o ciclo, contendo frequências de todos os seus ciclos dominantes. Ou seja, uma maneira de especificar um sistema pode ser a constatação de possíveis frequências de um processo organizado de acordo com a sua relativa importância ou magnitude, caracterizando suas periodicidades e sazonalidades (Beecham e Chowdhury, 2008; Caloiero *et al.*, 2011; Rashid *et al.*, 2013).

Desta forma, este estudo teve como objetivo caracterizar os padrões de chuvas e de evapotranspiração potencial para o município de Goiânia, GO.

2. Material e Métodos

Foi analisada uma série histórica de dados diários de precipitação pluvial e evapotranspiração potencial, para o período de 1979 a 2015 para precipitação (36 anos) e 1994 a

2015 para evapotranspiração (21 anos). Os dados foram obtidos na estação meteorológica da Universidade Federal de Goiás, localizada no município de Goiânia, GO (16°35'52,72648" S; 49°16'39,84946" W; altitude 729,846 m). Segundo Köppen, o clima é do tipo Aw, com temperatura média anual de 22,5 °C, e regime pluviométrico bem definido, com estação chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro), sendo a média anual de 1.460 mm. A evaporação média anual, medida pelo Tanque Classe-A, é igual a 1.938 mm (Kliemann *et al.*, 2006).

A evapotranspiração potencial (*ETP*, mm dia⁻¹) foi calculada a partir da evaporação do Tanque Classe-A (*ECA*, mm dia⁻¹):

$$ETP = Kp \cdot ECA \quad (1)$$

em que *Kp* é o coeficiente do Tanque Classe-A (adimensional), o qual foi utilizado um valor fixo de 0,7 (Cunha *et al.*, 2013).

Os dados diários de precipitação e evapotranspiração foram agrupados em períodos de quinquídios (cinco dias). Determinaram-se as médias e desvio-padrão para a estação seca e chuvosa, e para os quinquídios. Também foram identificados os dias secos e chuvosos, seguindo a metodologia proposta por Sans *et al.* (2001) que considera dias chuvosos com precipitação $P > 5,0$ mm, e dias secos $P \leq 5,0$ mm.

Para a detecção dos períodos de excedente e de déficit hídrico utilizou-se o Balanço Hídrico Climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955) considerando-se o valor inicial da capacidade de água disponível no solo (*CAD*) igual a 100 mm.

Ainda, para a detecção de frequências de ocorrências, magnitudes dos eventos, periodicidades e sazonalidades das chuvas e das evapotranspirações aplicou-se a transformada rápida de Fourier (FFT - Fast Fourier Transform), que representa a integral de funções sinusoidal, que neste trabalho foi em função do tempo (anos). Primeiramente foram determinadas as frequências (*f*) e períodos (*T*), sendo $f_i = f_{i-1} + \frac{1}{N\Delta t}$, em que $f_0 = 0$, *N* é o número total de amostragens, Δt a variação do tempo entre duas amostragens. Para a determinação do período utilizou-se $T = \frac{1}{f}$. Vale lembrar que a FFT requer um número de amostras iguais a uma potência de dois (*i.e.* 2, 4, 8, 16, 32...), assim, foram utilizados 32 anos para a variável chuva e 16 anos para *ETP*.

Para a determinação da FFT, primeiramente encontrou-se uma função $f(x_i) \approx y_i$ satisfazendo uma reta: $\hat{y} = \hat{a}x + \hat{b}$, estimando seus coeficientes \hat{a} e \hat{b} pelo método dos mínimos quadrados. Após isto se obteve a diferença entre os valores estimados (\hat{E}) e observados (\hat{O}), gerando uma série livre de tendências, na qual se aplicou o algoritmo FFT. A FFT gerou a magnitude dos dados em números complexos na forma $y = ax + bi$, havendo a necessidade de se aplicar o módulo nestes números complexos ($\|y\| = \sqrt{a^2 + b^2}$), mostrando a magnitude dos coeficientes.

3. Resultados e Discussão

No período avaliado (1978-2015) observou-se uma média de precipitação pluvial anual $\bar{P} = 1.494,7$ mm, com desvio-padrão médio de 187,6 mm, que representa uma variabilidade de 12,55% da média, sendo os valores de mínimo e máximo iguais a 1.044,20 mm (2007) e 2.067,20 (1982), respectivamente (Fig. 1a). Esta variabilidade tanto nas médias de precipitações temporais quanto espaciais já foi identificada em outros estudos tanto para a região centro-oeste (Assad e Castro, 1991; Cardoso *et al.*, 2014) quanto para a região metropolitana de Goiânia, GO, determinando valores entre 1400-1600 mm ano⁻¹, sendo as maiores precipitações observadas no município de Piracanjuba, GO e as menores em Inhumas, GO e Palmeiras de Goiás, GO (Cardoso *et al.*, 2011).

Foi possível observar uma variação cíclica nas médias anuais de precipitação, onde ocorreram valores 24,6% menores que a média ($\bar{P} > 1.126,5$ mm), em intervalos de aproximadamente cinco anos (1984, 1990, 1993, 1999, 2007 e 2015) (Fig. 1a). Na mesma figura, observaram-se

precipitação 26,5% maiores que a média ($\bar{P} < 1890,9$ mm ano⁻¹), para os anos 1982, 1983 e 1989, ficando os demais valores dentro da faixa de variabilidade, dada pelo desvio-padrão médio (Fig. 1a). Vale destacar que há uma tendência geral de redução da precipitação média anual de 3,71 mm ano⁻¹ ($R^2 = 53,2\%$) (Fig. 1a). Este decréscimo já foi verificado em outros estudos para esta região, com precipitação pluviométrica anual média reduzindo em torno de 6,0 mm ano⁻¹, sendo janeiro o mês mais afetado, podendo reduzir até 3,0 mm ano⁻¹ (Marcuzzo, 2012).

Ainda no Centro-oeste, Cardoso *et al.* (2014) registraram uma precipitação média anual entre 1.000 e 1.200 mm, no entanto, essa média refere-se apenas a 10 anos de observação (1989-1998). Precipitações médias anuais entre 741 e 1.335 mm foram registradas para regiões com classificação climática semelhante à deste estudo (Murta *et al.*, 2005; Chaves e Piau, 2008; Neves *et al.*, 2011; Pizzato *et al.*, 2012).

Os anos com precipitações acima (1982, 1983 e 1989) ou abaixo (1984, 1990, 1993, 1999, 2007 e 2015) da média (Fig. 1a) foram marcados pelos fenômenos oceano-atmos-

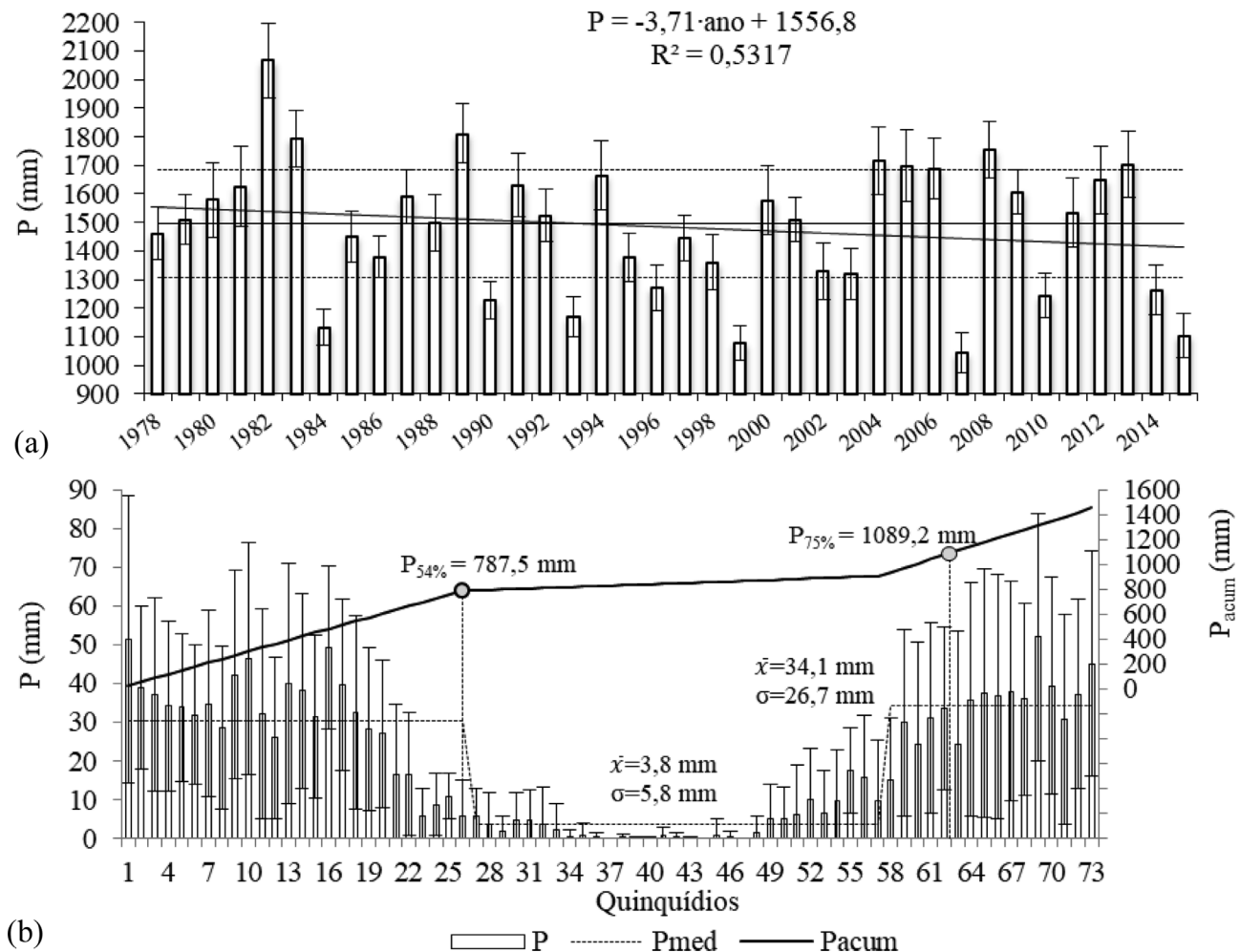


Figura 1 - Distribuição da precipitação pluvial (P) anual (a) e por quinquênios (b), para o município de Goiânia, GO, no período de 1978 a 2015. As linhas pontilhadas (a) e barras (b) representam o desvio-padrão médio.

féricos ENOS-Oscilação Sul, também conhecidos como El Niño (EN) e La Niña (LN), fases quente e fria do fenômeno, respectivamente. Assim, o El Niño ocorreu nos anos 1982/83 (Forte), 1991/92 (Forte), 1997/98 e 2015/16 (Forte), não evidenciando um padrão significativo de redução ou aumento nas precipitações. O mesmo foi observado para os eventos de La Niña, que ocorreram em 1984/85 (Frac), 1988/89 (Forte), 1998/1999 (Moderada) e 2007/08 (Moderada) (NOAA, 2017) (Fig. 2). Vale ressaltar que mesmo apresentando um $R^2 < 0,03$ e correlação $r < 0,2$, observa-se uma tendência de variação abaixo e acima da média de precipitação de $\pm 50 \text{ mm ano}^{-1}$, para eventos moderados de El Niño e La Niña, respectivamente (Fig. 2b). Ainda na Fig. 2, observa-se que os eventos mais frequentes foram Neutros ($\approx 42\%$), seguidos pelos eventos de La Niña ($\approx 24\%$) e El Niño ($\approx 34\%$), evidenciando periodicidades iguais a 2,4, 4,2 e 2,9 anos, respectivamente. Estes fenômenos demonstram que podem alterar as médias de chuvas, ou potencializar outros eventos meteorológicos possuem maior influencia nos regimes pluviométricos sobre os Estados do centro-oeste, como por exemplo, a Alta da Bolívia e frentes frias (Melo, 2000), além da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), que atua de forma significativa sobre o Estado de Goiás, ficando evidente a relação direta entre a redução nos totais anuais de precipitação e na frequência de dias com precipitação durante a fase fria da ODP, assim como aumento na precipitação anual e frequência de dias com chuva durante a sua fase quente (Souza *et al.*, 2010).

A Fig. 1b apresenta as precipitações médias por quinquídios. Nesta figura foram separadas as estações seca (maio-setembro) e chuvosa (outubro-abril), correspondente aos quinquídios de 26 a 53 (seca), e do 1° ao 25° , e 54° ao 73° (chuvosa). Em um estudo sobre a espacialização e

sazonalidade da precipitação pluviométrica em Goiás e no Distrito Federal, os autores determinaram que na região há cinco meses secos (maio a setembro) e sete meses úmidos (outubro a abril) (Costa *et al.*, 2012). Observa-se também que 54% da precipitação total anual ocorre nos primeiros quinquídios do ano, de janeiro a abril (787,5 mm) e o restante, nos demais quinquídios da estação chuvosa (Fig. 1b). A estação chuvosa determinou uma média igual a 34,1 mm por quinquídio, e a estação seca 3,8 mm, onde foram observadas as maiores variabilidades (Fig. 1b). Isso caracteriza bem o subtipo climático (w) da classificação de Köppen (Pizzato *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2014).

As maiores médias de precipitação ($\geq 200 \text{ mm}$) ocorreram entre os quinquídios 1-17 (janeiro a março) e 63-73 (novembro a dezembro) (Fig. 1b), corroborando com a literatura (Alves, 2011).

A média de dias secos e chuvosos foi de 292 e 73 dias, respectivamente, demonstrando que apenas 20% do ano ocorrem precipitações pluviométricas (Fig. 3). A análise de tendência mostrou que a cada 25,9 anos, aumenta um dia seco, e a cada 23,8 anos, diminui um dia chuvoso (Fig. 3).

Ressalta-se que, aproximadamente, 66% dos valores de precipitação diária correspondentes a 0,0 mm, 22% ente 0,0 e 10,0 mm e 6,5% de 10,0 a 20,0 mm (Fig. 4a). Os anos de 1990 e 2007 foram os anos que apresentaram maiores frequências de dias secos, 308 dias secos cada. Já o ano de 1982 foi o mais chuvoso com 98 dias considerados chuvosos (Fig. 3). Para municípios de mesma classificação climática Aw (Mato Grosso) foram encontrados valores médios de 305 (secos) e 60 (chuvosos) dias (Pizzato *et al.*, 2012), e 280 (secos) e 85 (chuvosos) dias (Moreira *et al.*, 2010).

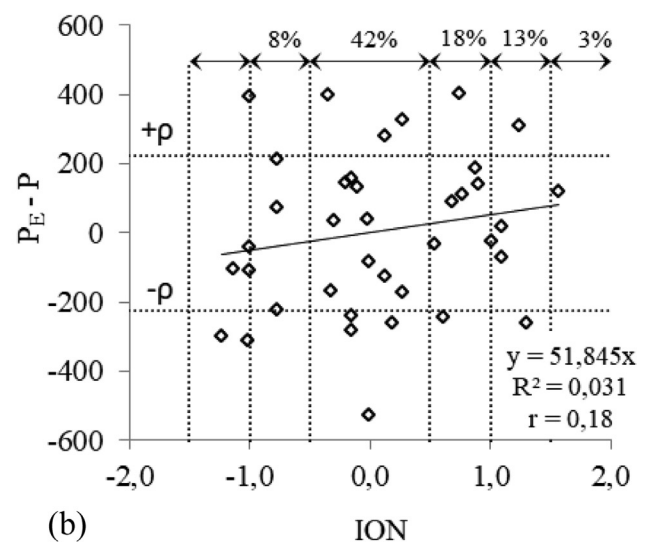
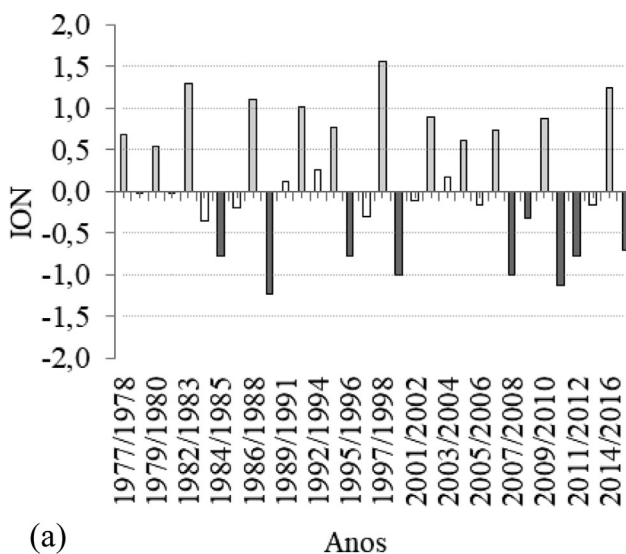


Figura 2 - Anos de ocorrência de El Niño ($\text{ION} > +0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) e La Niña ($\text{ION} < -0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) e suas respectivas classificações quanto à intensidade: fraco ($0,5 \leq \text{ION} \leq 0,9$), moderado ($1,0 \leq \text{ION} \leq 1,4$) e forte ($\text{ION} \geq 1,5$) (a). Relação entre a diferença $P_E - P$ (estimada-observada) e o índice ION, ajuste de uma regressão linear, e suas frequências de ocorrência (%) (b).

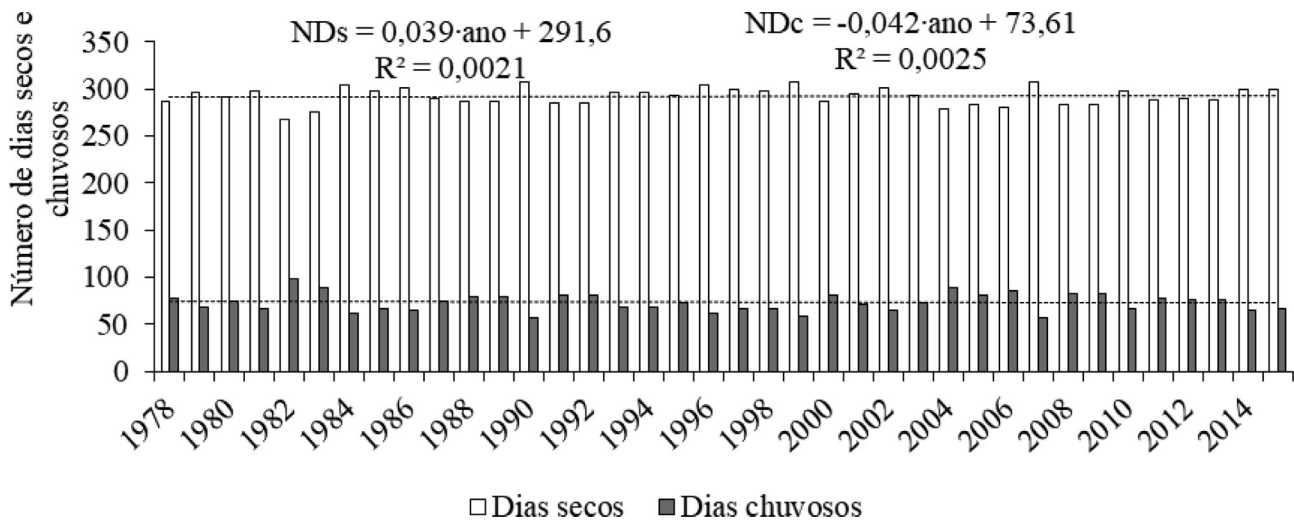


Figura 3 - Ocorrência anual de número de dias secos (NDs) e chuvosos (NDC) no município de Goiânia, GO, para o período de 1978 a 2015. As linhas pontilhadas representam o ajuste de regressão linear.

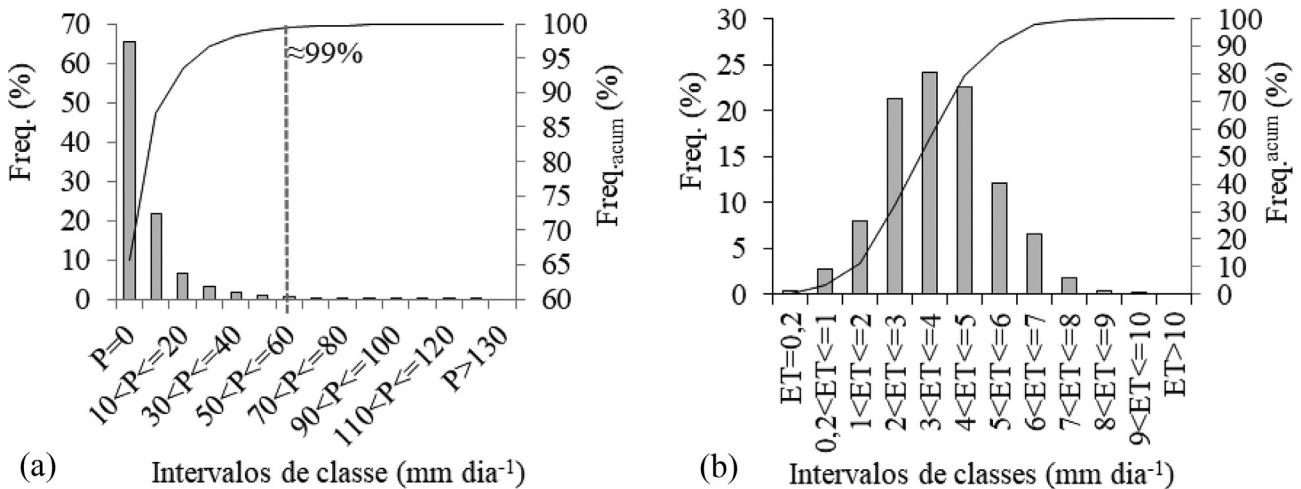


Figura 4 - Distribuição de frequência da precipitação pluvial diária (a) e da evapotranspiração potencial diária (b), para o município de Goiânia, GO, no período de 1978 a 2015.

A análise de tendência mostrou que a cada 25,9 anos, aumenta um dia seco, e a cada 23,8 anos, diminui um dia chuvoso (Fig. 3).

A evapotranspiração total média foi de 1.384,67 mm ano⁻¹ (Fig. 5a), valor um pouco menor ao encontrado no município de Cáceres-MT (1.650,55 mm ano⁻¹), que pode ser devido a menor temperatura média do município de Goiânia, GO, igual a 22,1 °C (Lobato, 2006), em relação a Cáceres-MT de 26,24 °C (Neves *et al.*, 2011). A maior evapotranspiração foi observada no ano de 2015 (1.484,42 mm) e a menor no ano de 1996 (1.283,03 mm) (Fig. 5).

Esse comportamento pode ser explicado pela temperatura e umidade relativa do ar que tem efeito diretamente proporcional e inversamente proporcional, respectivamente (Fig. 6). O ano de 2015 apresentou a maior temperatura

média do ar (24,76 °C) e uma das menores umidades relativa médias (65,85%), já o ano de 1996 obteve uma das menores temperaturas médias do ar (22,29 °C) e uma das maiores umidades relativas do ar média (87,45%) (Fig. 6).

Aproximadamente 38% dos valores de *ETP* encontram-se fora do intervalo de confiança, sendo 24% acima da média (2007, 2010, 2012, 2014 e 2015) e 14% abaixo (1996, 1997 e 2001). Novamente, não foi observado um padrão entre aumento ou diminuição da *ETP* em função das ocorrências de El Niño ou La Niña, mas pode-se inferir que para estes anos, em que houveram variações significativas na *ETP*, ou tiveram eventos de El Niño ou La Niña (NOAA, 2017).

A média da *ETP* em quinquídios foi de 18,9 mm, apresentando tendências de redução entre os quinquídios 1° ao 36° (0,14 mm/quinquídio), aumento de 0,74 mm/quin-

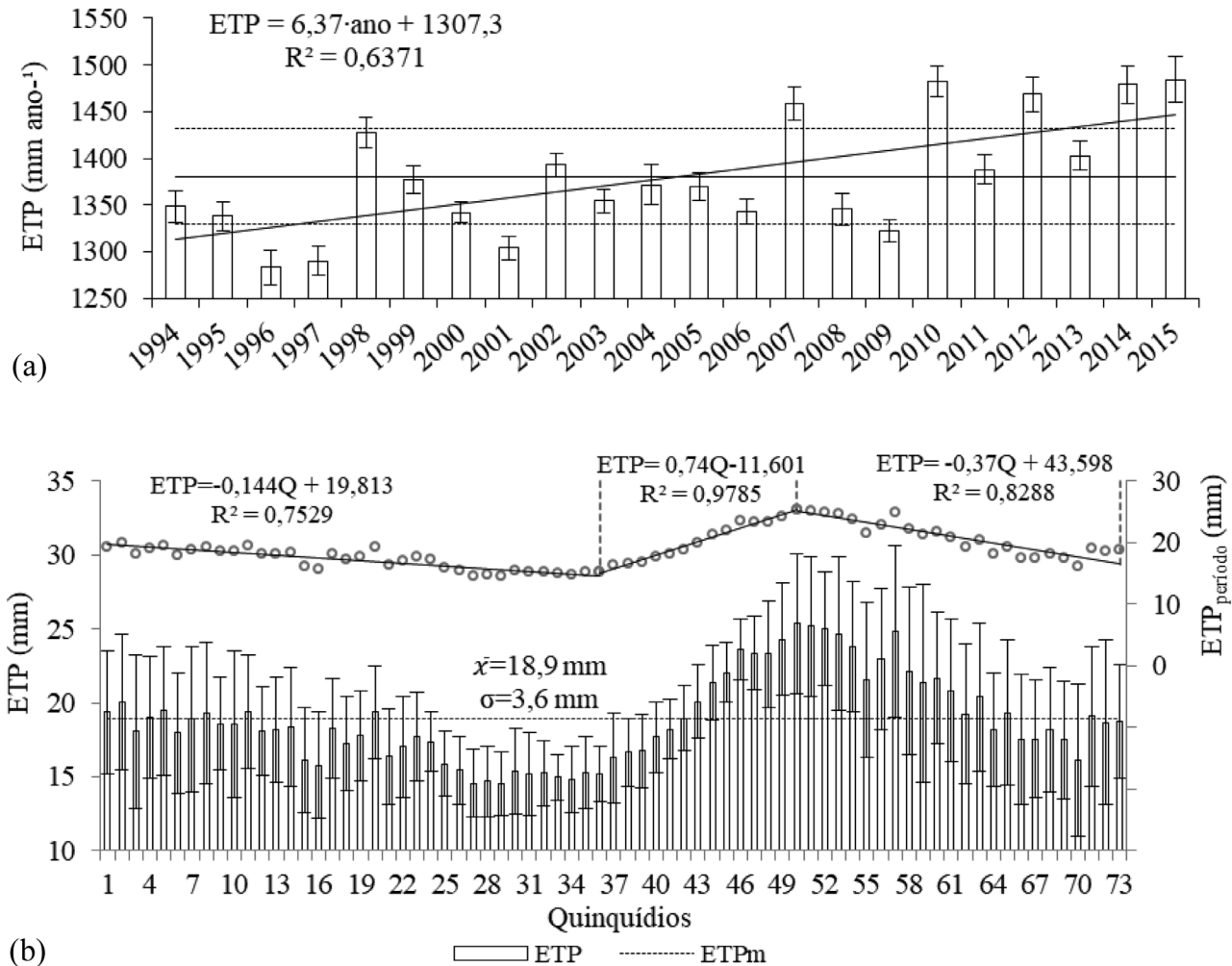


Figura 5 - Evapotranspiração potencial anual média (*ETP*) e seus desvios-padrão (barras verticais), *ETP* média do período avaliado (linha cheia) e desvios-padrão (linhas pontilhadas) (a), bem como a *ETP* acumulada por quinquédios (b), para o município de Goiânia, GO, de 1994 a 2015. OBS: $0,408 \text{ mm dia}^{-1} = 1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

quídio entre o 37° e 50°, e novamente decréscimo entre o 51° e 73° quinquídio ($0,37 \text{ mm/quinquídio}$) (Fig. 5b). Foram encontrados valores de *ETP* significativamente abaixo da média entre o 25° e 36° quinquídio, e maiores entre o 45° e 54° quinquédios (Fig. 5b). Estes valores são referentes ao final de abril e início de junho, e final de julho e início de setembro, respectivamente, correspondentes às maiores variações de temperatura e umidade relativa do ar em Goiânia, GO (Fig. 6).

A análise de frequência demonstrou que aproximadamente 80% das lâminas de *ETP* encontram-se entre os valores de $0,2$ e $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$ ($0,49$ e $12,25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), sendo a maior frequência encontrada entre $3,0$ e $4,0 \text{ mm dia}^{-1}$ ($7,35$ e $9,80 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (Fig. 5b).

Observaram-se variações entre os valores estimados e observados de precipitação e *ETP*, com amplitude de aproximadamente -600 a 400 , e de -80 a 60 mm , respectivamente (Fig. 7). A partir destes dados foi possível obter as frequências e períodos predominantes ou com maior mag-

nitude, pela análise de Fourier (FFT), tanto para os valores de precipitação (Fig. 7 a, b, c) quanto para *ETP* (Fig. 7 d, e, f).

Para a variável precipitação foi possível destacar duas maiores magnitudes, tanto para as frequências quanto para os períodos. A maior magnitude ocorreu na frequência 38%, correspondente a valores acima da média de precipitação, já a segunda magnitude foi registrada para uma frequência de 25%, referente a precipitações abaixo da média, sendo suas periodicidades de 4,0 e 2,7 anos, respectivamente (Fig. 7b e 7c). A frequência predominante de *ETP* foi 31%, correspondentes a valores acima da média, com periodicidade de 3,2 anos (Fig. 7e e 7f).

A análise do balanço hídrico climatológico demonstrou que o déficit hídrico médio anual foi de $178,18 \text{ mm}$, e o excedente hídrico foi de $198,54 \text{ mm}$. O déficit hídrico quinquenal médio foi de $26,29 \text{ mm}$ e o excedente hídrico foi de $33,81 \text{ mm}$ (Fig. 8). As maiores médias de déficit hídrico foram iguais a $70,73$ e $71,14 \text{ mm}$ por quinquídio,

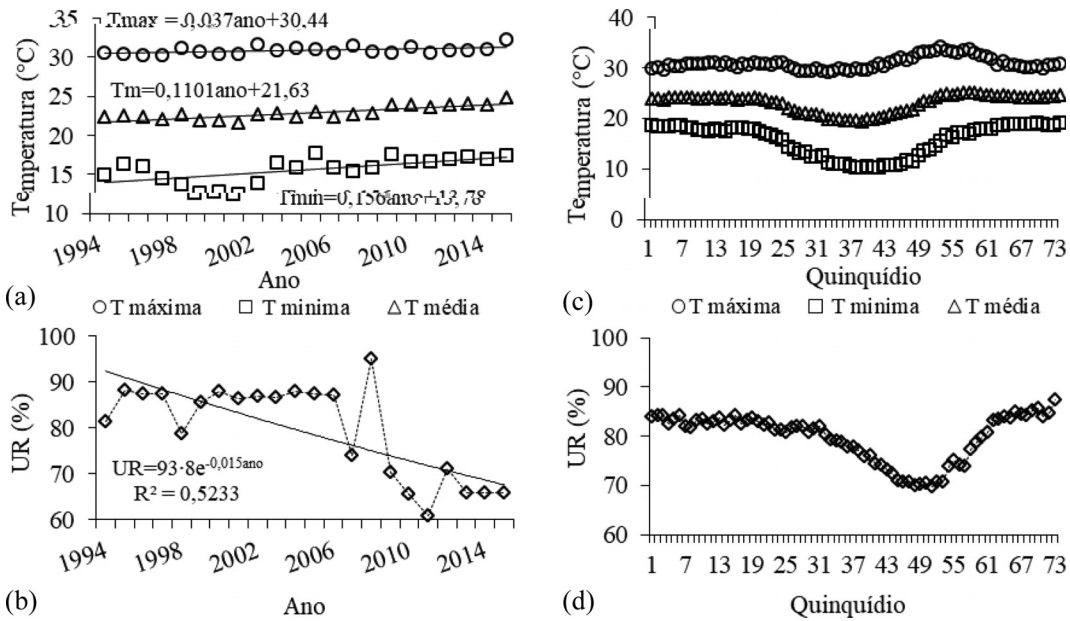


Figura 6 - Temperatura do ar máxima (Tmax, °C), mínima (Tmin, °C) e média (Tm, °C), e umidade relativa do ar (UR, %), dadas em médias anuais (a,b) e médias por quinquênios (c,d), para Goiânia, GO, de 1994 a 2015.

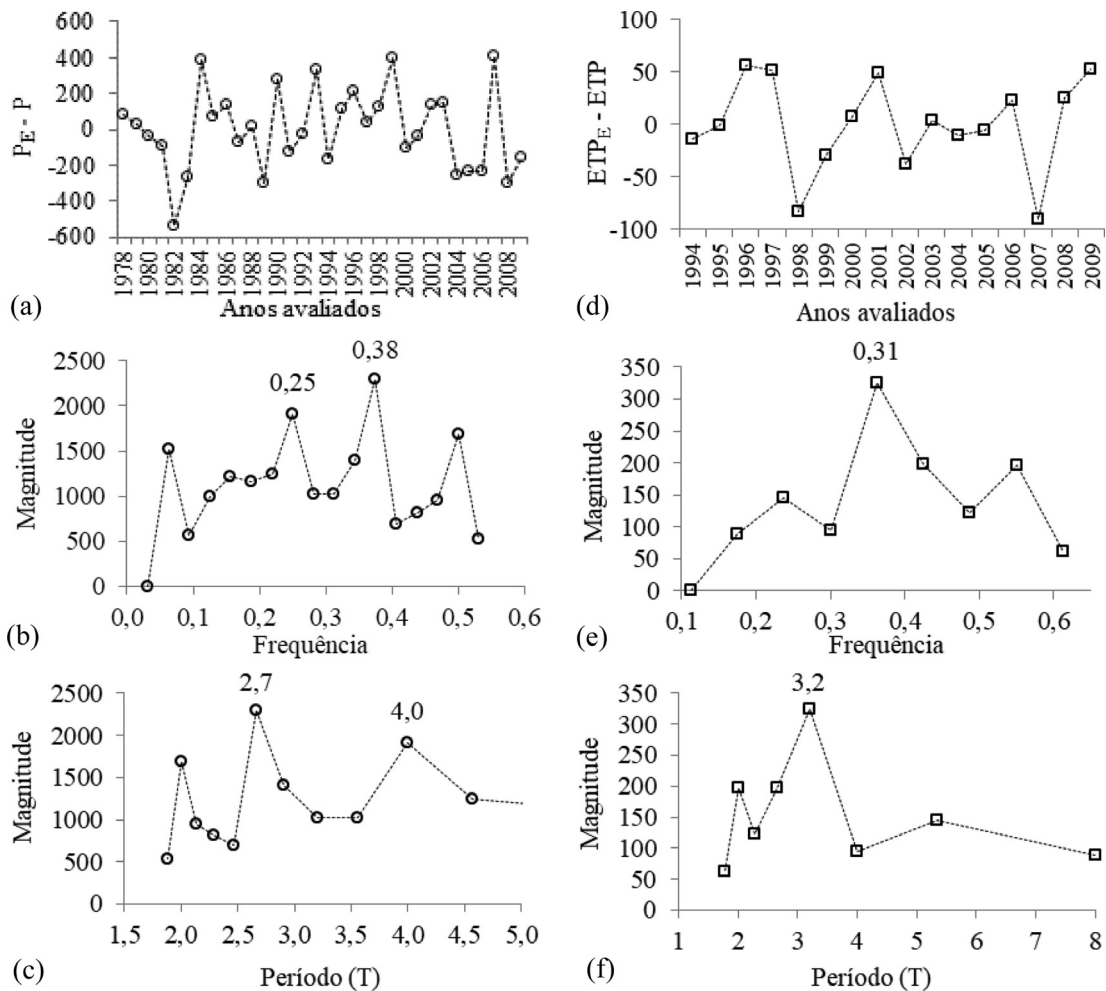


Figura 7 - Diferenças entre valores estimados e observados, bem como as frequências e períodos predominantes, para as variáveis precipitação pluvial (a, b, c) e evapotranspiração potencial ETP (d, e, f), para o município de Goiânia, GO.

observadas nos quinquédios 47 (agosto) e 50 (setembro), respectivamente. Já a menor média foi de 2,65 mm, observada no quinquédio 73 (dezembro), durante o período chuvoso. Vale ressaltar que todos os quinquédios apresentaram déficit hídrico, independente da estação, seca ou chuvosa (Fig. 8). Assim, a evapotranspiração relativa $ETR/ETP < 1,0$ (Fig. 8).

O maior excedente hídrico médio anual foi de 161,22 mm, constatado no 1º quinquédio (janeiro). Entre os quinquédios 29º ao 32º (maio-junho), 35º ao 51º (junho-setembro) e no 57º (outubro) não foram observados excedentes hídricos. Em Cáceres-MT, o déficit hídrico foi de 400,30 mm e o excedente hídrico médio anual foi igual a 147,03 mm (Neves *et al.*, 2011).

Sabe-se também que as chuvas no Estado de Goiás são regidas por massas úmidas provenientes da Amazônia (massa equatorial continental - mEc), sendo transportadas por ventos contra-alísios no sentido noroeste-sudeste (Nobre *et al.*, 2009; Aragão, 2012;), desta forma, o desmatamento da Floresta Amazônica pode ter efeito tanto sobre as chuvas quanto na evapotranspiração em Goiás.

Com base nas médias de desmatamento do Cerrado goiano (Machado *et al.*, 2004; Silva e Ferreira Júnior, 2010), foi possível detectar uma correlação de 0,53 entre a taxa de desmatamento e as temperaturas médias nos períodos de detecção destas taxas (Fig. 9a), entretanto, não foi identificada correlação significativa ($r < 0,28$) entre as taxas de desmatamento e as variáveis precipitação e ETP (Fig. 9b). Estas mesmas variáveis quando correlacionadas as taxas de desmatamento na Amazônia (INPE, 2016) verificou-se $r = -0,60$ para temperatura, $r = 0,04$ para precipitação e $r = -0,51$ para ETP (Figs. 9c e 9d). Contudo, este aumento da temperatura pode ter ocorrido como um reflexo do desmatamento da área do município de Goiânia, GO, bem como suas regiões circunvizinhas. Vale destacar o ano

de 2015, onde ocorreram temperaturas acima da média (Fig. 6a) e precipitações abaixo da média (Fig. 1a), ETP acima da média (Fig. 5a), em ano de El Niño Moderado (Fig. 2a). Além disto, o fenômeno denominado “ilhas de calor”, dada pela diferença de temperatura do ar entre áreas urbanas e rurais de um determinado município pode ter proporcionado este aumento da temperatura, conforme já indicado na literatura (Nascimento e Oliveira, 2011).

4. Conclusões

O município de Goiânia, GO apresenta duas estações bem definidas, uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a abril. A média de precipitação pluviométrica foi de 1.494,66 mm ano⁻¹, com variabilidade de 12,6%. Há uma tendência de redução das chuvas em Goiânia, GO, na ordem de 3,7 mm dia⁻¹, com probabilidade de 99% de ocorrerem chuvas iguais ou menores que 50 mm dia⁻¹. Há uma tendência de redução do número de dias chuvosos e aumento do número de dias secos. A evapotranspiração potencial (ETP) média de Goiânia, GO é de 1.380,57 mm dia⁻¹, com variabilidade anual de 3,68% e probabilidade de 80% de ocorrerem ETP iguais ou menores que 5 mm dia⁻¹. A ETP média diária é de 3,78 mm dia⁻¹ e por quinquédio igual a 18,9 mm. Os valores médios não podem ser utilizados em dois momentos do ano, entre os quinquédios 25º e 36º, e do 45º ao 54º, pois nestes períodos as médias de ETP é menor ou maior que a média, respectivamente. A lâmina de excedente hídrico é de 607 mm ano⁻¹ e de déficit hídrico 471 mm ano⁻¹. Evapotranspirações relativas $ETR/ETP < 0,8$ são registradas entre a segunda quinzena de abril e segunda quinzena de outubro. Quase 40% das chuvas anuais estão acima da média, retornando a cada quatro anos, e cerca de 30% das ETP anuais também estão acima da média, repetindo-se a cada 3,2 anos. Tem-se

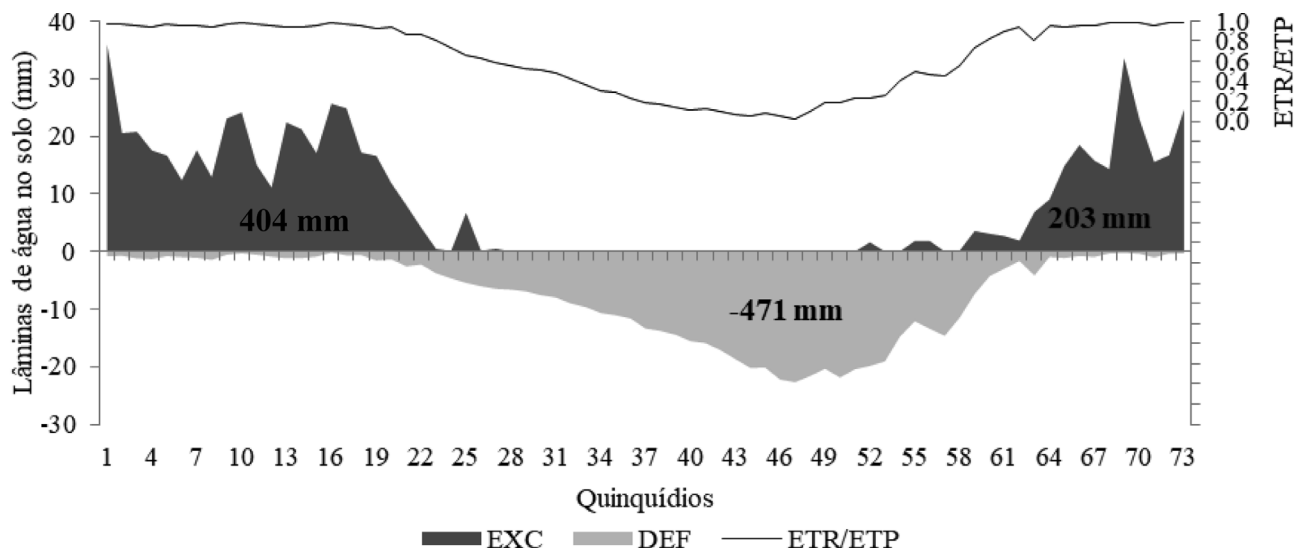


Figura 8 - Balanço hídrico climatológico identificando o excedente (EXC) e o déficit (DEF) hídrico de períodos quinquenais, bem como a evapotranspiração relativa (ETR/ETP), para região de Goiânia, GO, no período de 1994 a 2015.

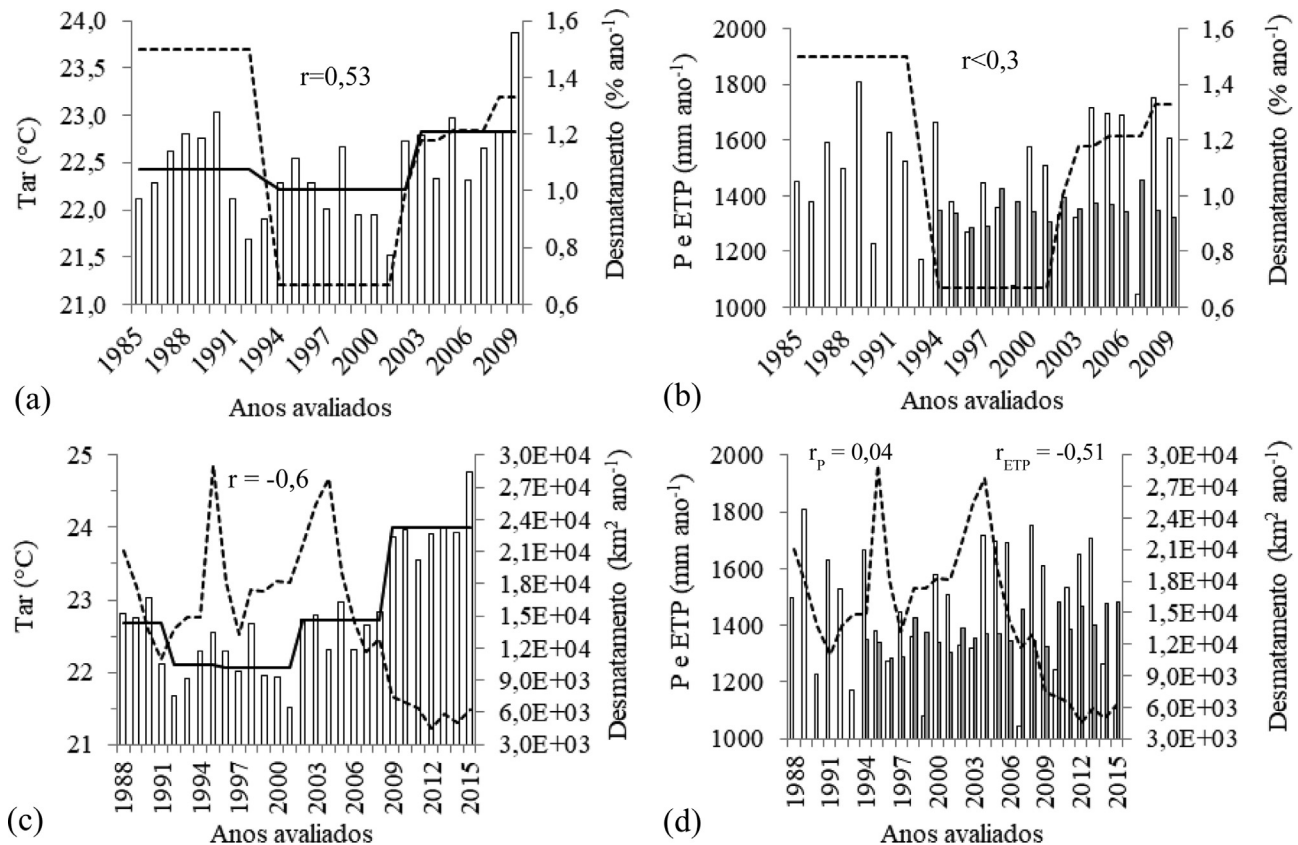


Figura 9 - Taxas de desmatamento em Goiás (a, b) e na Amazônia (c, d) (linha pontilhada) e suas relações com a temperatura média do ar anual (Tar, colunas brancas) e média móvel em diferentes períodos (Tar, linhas cheias), bem como com a precipitação pluvial (P, colunas brancas) e evapotranspiração potencial (ETP, colunas cinzas).

indícios de que as taxas de desmatamento em Goiás podem contribuir com o aumento da temperatura média anual em Goiânia, GO, porém não tem influência sobre as chuvas e ETP. Maiores taxas de desmatamento na Amazônia não inferiram aumentos de temperatura do ar, maiores ETP e redução das chuvas em Goiânia, GO.

Agradecimentos

A Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG) por auxiliar financeiramente a Estação Meteorológica instalada na EA/UFG, ao Prof. Engler José Vidigal Lobato (Climatologista EA/UFG), ao Técnico em Meteorologia Sr. Paulo José da Costa.

Referências

- ALVES, E.D.L. Frequência e probabilidade de chuvas no município de Iporá, GO. *Caminhos de Geografia*, v. 12, n. 37, p. 65-72, 2011.
- ARAGÃO, L.E.O.C. Environmental science: The rainforest's water pump. *Nature*, v. 489, n. 7415, p. 217-218, 2012.
- ASSAD, E.D.; CASTRO, L.H.R. Análise frequencial da pluviometria para a estação de Sete Lagoas, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, n. 3, p. 397-402, 1991.
- BEECHAM, S.; CHOWDHURY, R.K. Statistical Behaviour of Adelaide's Rainfall - Is Climate Change Detectable? In:

- PROCEEDINGS OF THE WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS, 2008, Honolulu, USA. *Annals...* Honolulu: American Society of Civil Engineers, 2008. p. 1-13.
- BLAIN, G.C.; KAYANO, M.T.; SENTELHAS, P.C.; LULU, J. Variabilidade sazonal da evapotranspiração relativa em Campinas (SP): caracterização climática e análise de tendências. *Bragantia*, v. 68, n. 2, p. 545-553, 2009.
- CALOIERO, T.; COSCARELLI, R.; FERRARI, E.; MANCINI, M. Trend detection of annual and seasonal rainfall in Calabria (Southern Italy). *Int. J. Climatol.*, v. 31, n. 1, p. 44-56, 2011. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.2055>.
- CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F.F.N.; MELO, D.C.R. Mapeamento temporal e espacial da precipitação pluviométrica da região metropolitana de Goiânia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011. p. 4594-4601.
- CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F.F.N.; BARROS, J.R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. *Acta Geográfica*, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.
- CHAVES, H.M.L.; PIAU, L.P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 333-343, 2008.
- COSTA, H.C.; MARCUZZO, F.F.N.; FERREIRA, O.M.; ANDRADE, L.R. Espacialização e Sazonalidade da Precipita-

- ção Pluviométrica do Estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 1, p. 87-100, 2012.
- CUNHA, P.C.R.; NASCIMENTO, J.L.; SILVEIRA, P.M.; ALVES JÚNIOR, J. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 114-122, 2013.
- FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS-NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Observações da Terra**. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/taxas_prodes.htm. Acesso em: 13/10/2017.
- KLIEMANN, H.J.; BRAZ, A.J.P.B.; SILVEIRA, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.
- KRON, A.P.; SOUZA, G.M.; RIBEIRO, R.V. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 43-49, 2008.
- LOBATO, E.J.V. **Atlas do balanço hídrico climático do Estado de Goiás**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2006. 107 p.
- MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília: Conservation International do Brasil, 2004.
- MARCUZZO, F.; FARIA, T.G.; PINTO FILHO, R.F. Chuvas no Estado de Goiás: análise histórica e tendência futura. **Acta Geográfica**, v. 6, n. 12, p. 125-137, 2012.
- MELO, M.L. Impacto do fenômeno El Niño sobre a região centro-oeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6., 2000, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. Acesso em jun. 2018. Disponível em: <http://www.sbmet.org.br/portal/sbmet/detalhe.php?id=44>.
- MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C. de M. **Série Engenharia Agrícola Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. 410 p.
- MOREIRA, P.S.P.; DALLACORT, R.; MAGALHÃES, R.A.; INOUE, M.H.; STIELER, M.C. *et al.* Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de Nova Maringá-MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 9-20, 2010.
- MURTA, R.M.; TEODORO, S.M.; BONOMO, P.; CHAVES, M.A. Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição Gama para duas localidades do Sudoeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 988-994, 2005.
- NASCIMENTO, D.T.F.; OLIVEIRA, I.J. de. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986-2010). **Boletim goiano de geografia**, v. 31, n. 2, p. 113-127, 2011.
- NEVES, S.M.A.S.; NUNES, M.C.M.; NEVES, R.J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT-Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 55-68, 2011.
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Cold and warm episodes by season, oceanic niño index**. Acesso em abril de 2017. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.
- NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; URBANO, D.F.; ALMEIDA, R.A.F.de; GIAROLLA, E. Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation. **Journal of Climate**, v. 22, n. 21, p. 5686-5697, 2009.
- PATANÈ, C.; SIMONA, T.; SORTINO, O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 129, n. 4, p. 590-596, 2011.
- PINTO, L.C.; LIMA, P.L.T.; SOUZA, Z.R. Maximum discharge and probable rainfall at Aiuruoca basin, Minas Gerais State. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 2, p. 203-211, 2014.
- PIZZATO, J.A.; DALLACORT, R.; TIEPPO, R.C.; MODOLO, A.J.; CREMON, C. *et al.* Distribuição e probabilidade de ocorrência de precipitação em Cáceres (MT). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 137-142, 2012.
- RASHID, M.; BEECHAM, S.; CHOWDHURY, R. Assessment of statistical characteristics of point rainfall in the Onkaparinga catchment in South Australia. **Hydrol Earth Syst Sci Discuss**, v. 10, p. 5975-6017, 2013.
- SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; GUIMARÃES, D.P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 527-539, 2001.
- SILVA, E.B. da; FERREIRA JÚNIOR, L.G. Taxas de desmatamento e produção agropecuária em Goiás - 2003 a 2007. **Mercator**, v. 9, n. 18, p. 121-134, 2010.
- SOUZA, A.J.S.; FERREIRA, E.A.; SOUSA, J.R.A.; ROLIM, P.A.M. A Oscilação Decadal do Pacífico e sua Influência na Precipitação de Goiânia, GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais eletrônicos...** Belém: SBMET, 2010. Acesso em abril de 2017. Disponível em: http://www.sbmet.org.br/cbmet2010/artigos/673_12277.pdf.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1995. 104 p.
- VELA, R.H.N.; DALLACORT, R.; NIED, A.H. Distribuição decenal, mensal e totais de precipitação na região de Tangará da Serra - MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. p. 1-4.
- VIVAN, G.A.; PEITER, M.X.; ROBAINA, A.D.; BARBOZA, F.S.; BUSKE, T.C. Rendimento relativo da cultura da soja em função da lâmina de irrigação. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 282-292, 2013.