



IDENTIFICAÇÃO DOS PERÍODOS CRÍTICOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS PARA PRESIDENTE PRUDENTE - SP

Identification of critical periods of forest fires for Presidente Prudente - SP

Dário Henrique Tessedor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR
bmdario@hotmail.com

Maria Cleide Baldo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR
mcbaldo33@hotmail.com

Leandro Zandonadi

Universidade Estadual de Maringá - UEM
lzandonadi@uem.br

José Tadeu Garcia Tommaselli

Universidade Estadual Paulista - UNESP
tadeu.tommaselli@unesp.br

Resumo: As variáveis que mais influenciam na ocorrência de incêndio são: umidade, precipitação, temperatura, radiação solar, material combustível e cobertura vegetal. O objetivo foi identificar os períodos críticos de riscos de incêndios florestais em Presidente Prudente - SP através da aplicação da Fórmula de Monte Alegre. Foram utilizados dados diários de precipitação e umidade relativa das 13h00min da estação Climatológica de Presidente Prudente para os anos de 2005 a 2020. As ocorrências de incêndios foram extraídas do site BDQUEIMADAS - INPE. Foi identificado um período quente e chuvoso (outubro a março) e outro ameno e seco (abril a setembro), e 426 focos de incêndios para o período estudado. Observou-se ainda que 24 e 37% dos dias foram classificados como críticos, ou seja, com alto e muito alto risco de incêndio, respectivamente, e que os focos de calor registrados pelos satélites se concentraram nas classes de alto e muito alto risco, com médias de ocorrência de 16,2 e 74,2%. Do total de focos de incêndio, 78,6% ocorreram de maio a setembro, meses com as menores médias de precipitações e, portanto, os períodos mais críticos para ocorrência de incêndio são as estações do outono e inverno.

Palavras-chave: Fórmula de Monte Alegre. Propagação de incêndios. Classes de perigo. Focos de calor.

Abstract: Abstract: The variables that most influence the occurrence of fire are: humidity, precipitation, temperature, solar radiation, fuel material and vegetation cover. The objective was to identify the critical periods of risks of forest fires in Presidente Prudente - SP through the application of the Monte Alegre Formula. Daily precipitation and relative humidity data from 1:00 pm from the Climatological Station of Presidente Prudente for the years 2005 to 2020 were used. A hot and rainy period (October to March) and a mild and dry period (April to September) were identified, in addition to 426 fire outbreaks in the studied period. It was also observed that 24 and 37% of the days were classified as critical, that is, with high and very high risk of fire, respectively, and that the hot spots recorded by the satellites were concentrated in the high and very high risk classes, with mean occurrences of 16.2 and 74.2%. It has been found that heat outbreaks focus on high and high danger classes, where the average value of the occurrence of the outbreaks observed in these classes was 16.2 and 74.2%. Of the total fire outbreaks, 78.6% occurred from May to September, months with the lowest average rainfall and, therefore, the most critical periods for fire occurrence are the autumn and winter seasons.

Keywords: Monte Alegre Formula. Spread of fires. Danger classes. Heat outbreaks.

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são um dos graves problemas ambientais que afeta não só o território brasileiro, mas também outros diversos países, aumentando drasticamente a extensão de áreas queimadas. No Brasil, a quase totalidade das queimadas é causada por atividade antrópica, devido ao uso inadequado de recursos naturais, como por exemplo, o desmatamento desordenado e as queimadas para a limpeza de pasto e preparo do plantio (SOUZA *et al.*, 2004).

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associadas às condições climáticas. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele se propaga estão diretamente ligadas à umidade relativa, à temperatura e à velocidade do vento (Soriano; Daniel; Santos, 2015).

É extremamente importante ter-se o conhecimento da probabilidade de uma ocorrência de incêndio, visto que é mais vantajoso evitar-se um incêndio ou até mesmo combatê-lo imediatamente após o seu início do que ter que lidar com suas consequências. Uma das formas de se identificar a probabilidade de um fogo ocorrer é o índice de risco de incêndio.

Segundo Nunes, Soares e Batista (2005), dentre as medidas preventivas existentes, a utilização de um índice de perigo confiável é fator fundamental para um planejamento mais eficiente das medidas de prevenção e para a adoção de ações rápidas e efetivas nas atividades de combate aos incêndios florestais, visando à redução de perdas e, conseqüentemente, dos prejuízos financeiros advindos da ocorrência de eventos catastróficos.

Segundo Soriano, Daniel e Santos (2015), além da influência do clima no aumento dos incêndios, outro fator importante é a grande incidência de material combustível em algumas fitofisionomias que, associado à longa estiagem e baixos índices de umidade relativa do ar, favorecem grandes incêndios.

De acordo com os dados da Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo (2021), em 2020 foram registradas 37.129 ocorrências de incêndios, sendo o fogo, o agente mais usado na supressão de áreas florestais.

Como consequências negativas desses incêndios, podem se citar a perda de biodiversidade; a erosão dos solos; a intensificação do efeito-estufa, pela emissão de gases para a atmosfera; e a própria diminuição da qualidade atmosférica local (Silva *et al.*, 2003).

Os incêndios florestais que ocorrem anualmente no Brasil causam sensíveis prejuízos aos setores produtivo e ambiental do país, portanto, é extremamente necessário preservar as florestas e o ambiente dos efeitos nocivos do fogo incontrolado (Soares, 1988).

O índice de perigo de ocorrência de incêndio, por meio de dados numéricos, permite a previsão das condições de risco, uma vez que indicam o ambiente favorável para ocorrência e facilidade de propagação de incêndio florestal.

Dentre as diversas utilidades e aplicações dos índices de perigo de incêndio pode-se destacar: o conhecimento do grau de risco, o planejamento do controle de incêndios, a permissão para queimas, o estabelecimento de zonas de perigo, a previsão do comportamento do fogo e a advertência pública do grau de perigo (White; Ribeiro, 2011).

Sabe-se que quanto mais se entender sobre o comportamento do fogo e sua resposta às condições ambientais, mais se poderá antecipar situações perigosas ou impactos de grande magnitude e mais acertadas serão as decisões sobre a gestão de combustíveis e dos incêndios (Linn *et al.*, 2012).

E diante do aquecimento global em curso, utilizar-se de metodologias capazes de dar suporte e fornecer melhores alertas pode ser a garantia de minimização dos riscos naturais e sociais que as queimas florestais podem ocasionar. De acordo com Tyukavina *et al.* (2022), no ano de 2021 foram perdidos 3 milhões de hectares a mais de cobertura florestal quando comparado ao ano de 2001, o que equivale a uma área do tamanho da Bélgica, ou seja, são valores que respondem por mais de um quarto de toda a perda de cobertura vegetal dos últimos 20 anos.

Com as mudanças climáticas, ondas de calor têm se tornado cada vez mais constantes e intensas, com temperaturas muito mais elevadas e deixando as paisagens mais ressecadas, gerando muito mais materiais combustíveis e suficientes para iniciar e propagar incêndios florestais de grandes proporções. Essas queimadas seriam capazes de injetar grandes quantidades de poluentes na atmosfera que, por sua vez, continuariam contribuindo para a intensificação do aquecimento global através de um ciclo integrado e vicioso.

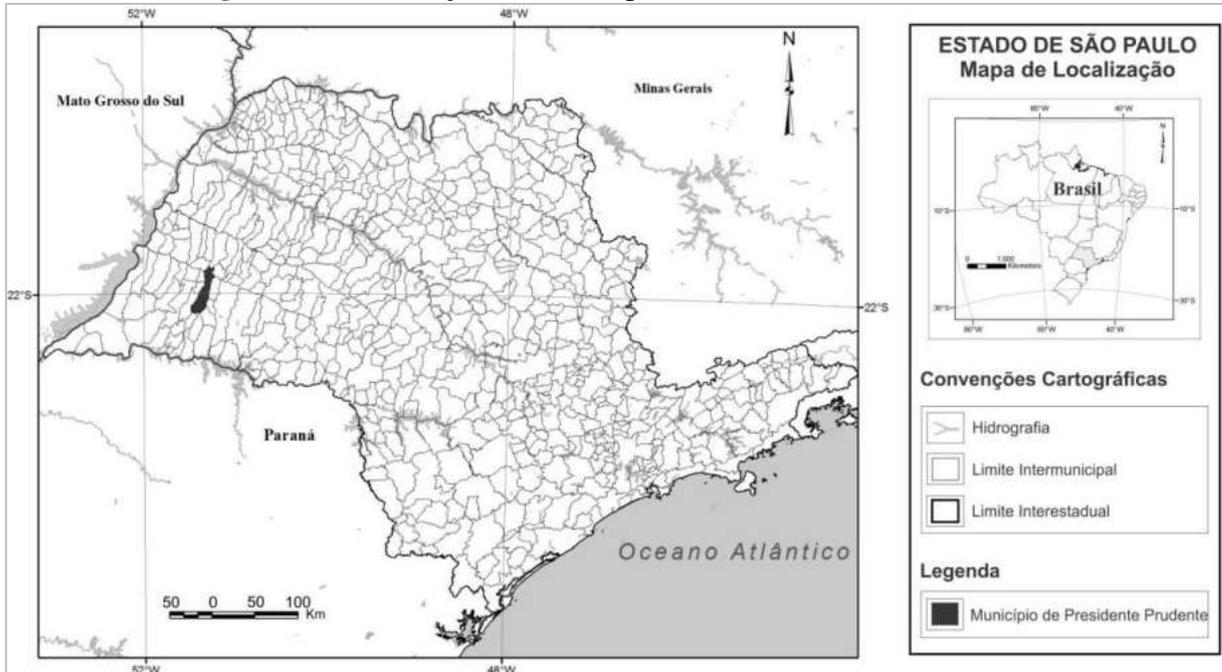
O objetivo principal deste trabalho, portanto, foi o de identificar os períodos críticos de riscos de incêndios florestais em Presidente Prudente, por meio da aplicação da fórmula de Monte Alegre (Soares, 1972), que fornece uma escala que estabelece o grau de periculosidade de incêndios de acordo com os índices pré-estabelecidos.

METODOLOGIA

O município de Presidente Prudente - SP pertence a mesorregião e microrregião de mesmo nome e localiza-se na região Oeste do estado de São Paulo, na Latitude 22°07'47" Sul

e Longitude de 51°24'31" Oeste, em altitude média de 430 metros. Possui extensão territorial de 560 km², população estimada de 225.668 mil habitantes (IBGE, 2022), (Figura 1).

Figura 1 - Localização do município de Presidente Prudente - SP



Fonte: Malhas digitais do IBGE. Org.: Cardoso, R. S. In: Amorim *et al.*, 2015.

Por estar localizado sob um regime de clima tropical, porém, numa área de transição climática com o subtropical, tem a atuação da maioria dos sistemas atmosféricos presentes na América do Sul: massa de ar tropical atlântica (mTa), tropical continental (mTc), equatorial continental (mEc), polar atlântica (mPa) e polar tropicalizada, linhas de instabilidade, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), cristas e cavados, (Monteiro, 1969; Nimer, 1989; Boin, 2000).

A área de estudo também é recorrentemente influenciada pelo fenômeno El Niño e La Niña (Oscilação Sul/ENOS), (Berezuk, 2007). O El Niño e a La Niña são partes de um mesmo fenômeno atmosférico-oceânico que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente), denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média normal histórica. A mudança na temperatura do oceano Pacífico Equatorial acarreta efeitos globais na temperatura e precipitação (CPTEC/INPE, 2021). Em outras palavras, as mudanças na temperatura das águas do Pacífico Equatorial geram efeitos também na atmosfera

em contato com essas águas, o que desencadeia alterações nos padrões climáticos de diversas partes do planeta através das denominadas teleconexões atmosféricas.

O clima tropical de Presidente Prudente, portanto, é caracterizado com influência tanto dos fatores estáticos, tais como o relevo e a continentalidade, quanto dos fatores dinâmicos, quais sejam os sistemas atmosféricos atuantes ao longo do ano, com ou sem influência da ação do fenômeno ENOS.

De acordo com a classificação de Köppen (1948), o município de Presidente Prudente se enquadra na tipologia climática Aw (clima tropical), caracterizado por duas estações definidas, com um período de verão/primavera mais quente (temperaturas médias das máximas entre os 27 °C e 29°C) e muito chuvoso (entre 150 e 200 mm mensais) e invernos amenos (com temperaturas médias das mínimas entre os 16°C e 18°C) e menos úmidos (chuvas mensais entre os 20 e 50 mm), tendo uma temperatura média anual de 24,3 °C, sendo janeiro o mês mais quente e junho e julho os meses mais frios (Amorim; Monteiro, 2011).

Dados utilizados

Foram utilizados os dados diários de precipitação e umidade relativa das 13h00min da estação climatológica de Presidente Prudente, localizada nas coordenadas -22° 07' S e -51° 24' W e altitude de 431.4 metros. A série histórica compreendeu o período consecutivo de 2005 a 2020, período este utilizado para aplicação da fórmula de Monte Alegre.

Os dados de ocorrência de focos de incêndios foram extraídos a partir das informações dos satélites NOAA, GOES, ACQUA, TERRA e NPP disponibilizados através do website oficial do banco de dados de queimadas, denominado BDQUEIMADAS, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021), utilizando-se também como referência o período de 2005 a 2020.

Também foram utilizados dados mensais, sazonais e anuais de precipitação, com o intuito de se conhecer os padrões de chuva para a área de estudo. Para as médias mensais, sazonais e anuais considerou-se o período mais longo disponível, de 1969 a 2015. Entretanto, na análise dos totais anuais de chuva e dias com chuva, o período escolhido foi de 2005 a 2020, para coincidir com o mesmo recorte temporal dos dados diários utilizados para o cálculo do índice de FMA.

Os dados de temperatura máxima, média e mínima absoluta também abrangeram a série histórica de 1969 a 2015.

Fórmula de Monte Alegre

Este estudo foi realizado utilizando-se a série temporal de 2005 a 2020 de dados de precipitação pluvial (mm) e de umidade relativa do ar (%), ambos diários e medidos às 13h00min. Para a produção dos resultados foram definidas classes de risco de incêndios através da utilização da fórmula de Monte Alegre (FMA), proposta por Soares (1972) e apresentada na equação 1.

Equação básica:

$$FMA = \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{Ht} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo: FMA – Fórmula de Monte Alegre; H = Umidade Relativa do ar (%), medida às 13h00min; n= Número de dias sem chuva.

Após a utilização da Equação 1, o valor da FMA foi modificado de acordo com os intervalos da precipitação diária (Quadro 1).

Quadro 1 - Modificação no cálculo da FMA de acordo com a precipitação

MM DE CHUVA DO DIA	MODIFICAÇÃO NO CÁLCULO
≤2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
>12,9	Interromper o cálculo (FMA=0), recomeçando a somatória no dia seguinte ou quando a chuva cessar

Fonte: Nunes, Soares, Batista (2005).

Os valores da FMA foram calculados mensalmente e classificados de acordo com a escala contendo os índices de periculosidade de incêndios demonstrados na Quadro 2.

Quadro 2 - Escala que estabelece o grau de periculosidade de incêndios de acordo com os índices da FMA

Valor da FMA	Grau de Periculosidade
De 0,0 a 1,0	Nulo
De 1,1 a 3,0	Pequeno
De 3,1 a 8,0	Médio
De 8,1 a 20,0	Alto
Acima de 20,1	Muito Alto

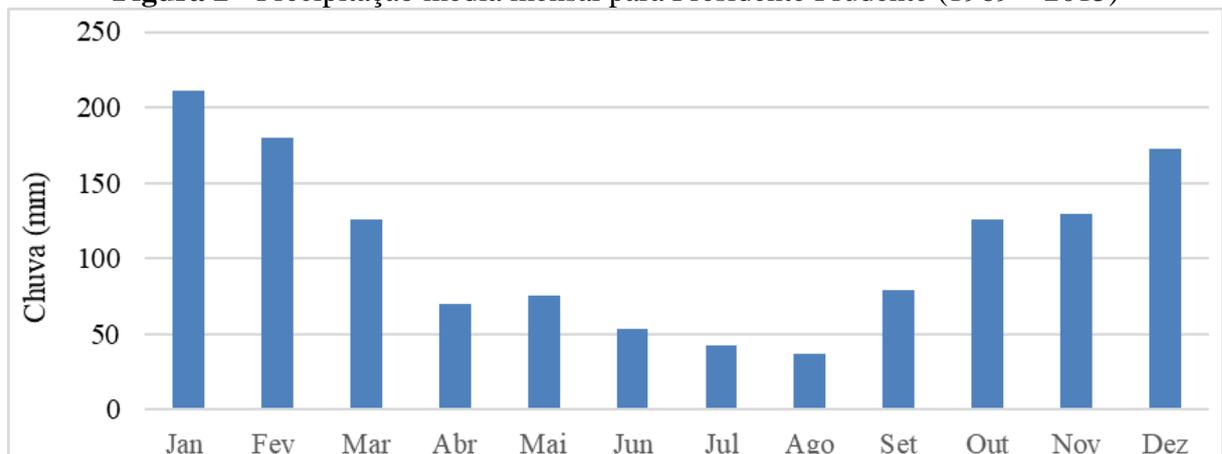
Fonte: Soares (1972).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Análise dos dados de precipitação e temperatura

A região de Presidente Prudente apresenta-se alternadamente com período quente e chuvoso (outubro a março) e ameno e seco (abril a setembro). Portanto, é possível visualizar na Figura 2 uma onda anual, bem-marcada, da distribuição da média mensal histórica de chuvas, que ocorre devido a própria localização da área de estudo, estando sob um típico regime de clima tropical, conferindo-lhe os maiores valores pluviométricos nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro. Os menores valores em julho e agosto devem-se aos sistemas estabilizadores de tempo no outono e no inverno que provocam diminuição das chuvas, tornando esse período mais seco.

Figura 2 - Precipitação média mensal para Presidente Prudente (1969 – 2015)



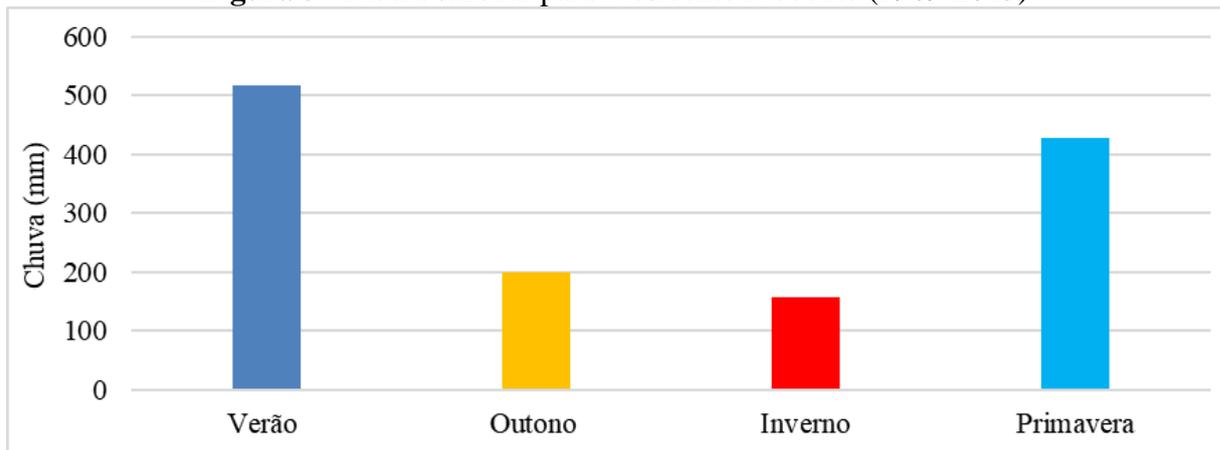
Fonte: Dados da estação meteorológica da FCT/UNESP.

A sazonalidade é marcada na área de estudo, com evidência de maiores valores para o verão e primavera, destacadamente para o verão, com mais de 500 mm (Figura 3). De acordo com Barrios e Sant'Anna Neto (1996), os sistemas atmosféricos que atingem o estado de São Paulo são os de origem Tropical, Polar e Frontal. Desta forma, no extremo Oeste Paulista há uma alternância de massas de ar tropicais e polares, sendo de grande importância a participação da Frente Polar Atlântica devido a contribuição na gênese das chuvas, deixando a região sujeita às constantes invasões de perturbações frontais, mesmo na primavera e no verão, quando as chuvas são mais frequentes e intensas, o que acarreta um período úmido.

As médias sazonais de chuva, tanto no outono quanto no inverno, são muito inferiores quando comparadas as das demais estações do ano (Figura 3). Isso ocorre porque nessas

estações do ano, os sistemas estabilizadores causam diminuição das chuvas, provocando um período mais seco. Os sistemas tropicais caracterizam-se na Massa de ar Tropical Atlântica (mTa), na Massa Tropical Atlântica Continentalizada, na Massa Tropical Continental e na Massa Equatorial Continental. A Massa Tropical Atlântica origina-se no anticiclone do Atlântico Sul e atua durante o ano todo sobre o território paulista, trazendo estabilidade de tempo no inverno, em decorrência de subsidência superior nesta célula de alta pressão (Barrios, Sant'anna Neto, 1996). Esta massa de ar, quando atua sobre o oceano em que se originou, carrega certo grau de umidade ainda que haja subsidência, porém, ao adentrar o continente bem mais seco, a subsidência predomina, reduzindo drasticamente o teor úmido, reduzindo a nebulosidade e até mesmo aumentando as temperaturas quando atua de forma prolongada. Estas são condições meteorológicas propícias para o aumento do perigo de riscos de incêndios florestais.

Figura 3 - Média sazonal para Presidente Prudente (1969-2015)



Fonte: Dados da estação meteorológica da FCT/UNESP.

A partir do conhecimento das épocas de estiagens, considerando os riscos de ocorrência de incêndio, é possível realizar um planejamento, afim de se alertar a população para evitar que incêndios florestais aconteçam e em casos de ocorrências, reduzir o grau de propagação e minimizar as consequências.

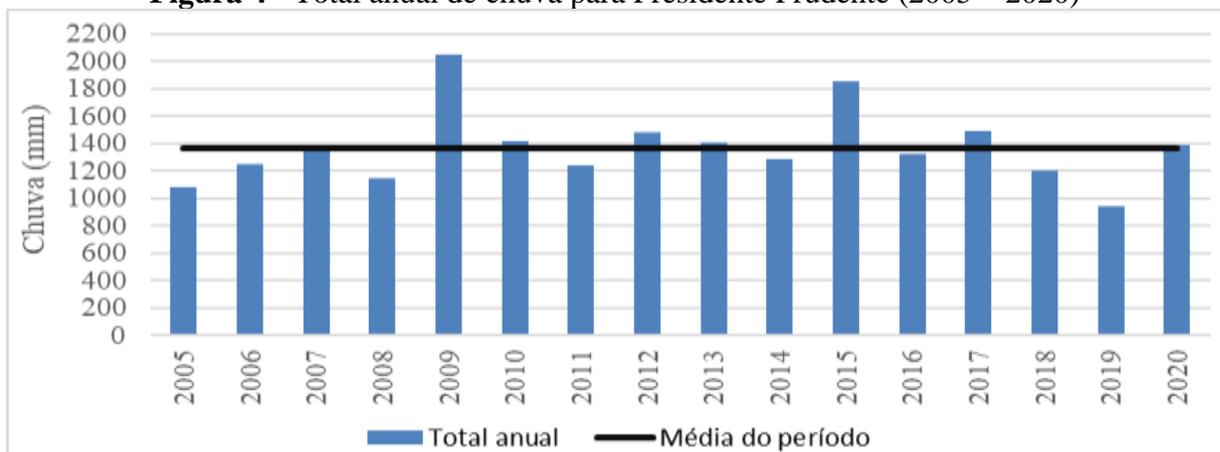
Com relação aos valores anuais de chuva, a média anual é de 1.357 mm, um resultado semelhante aos obtidos para a mesma área de estudo por Sant'anna Neto e Tommaselli (2009) e Cardoso (2015).

E quanto ao total anual de chuva, dentre o período analisado (2003 a 2020), identificou-se que em 7 anos os registros foram acima da média do período, com os anos de 2009 e 2015

se destacando com valores extrapolando significativamente a média (Figura 4). Conforme estabelecido por Golden Gate Weather Service (2020), tendo como referência o Índice de Niño Oceânico (ONI), no ano de 2009 foi registrado El Niño de intensidade moderada, enquanto em 2015 registrou-se El Niño forte. Para os demais cinco anos os valores ficaram próximos da média. Por outro lado, porém, chama atenção o fato de que 9 anos tiveram chuvas abaixo da média, muitas vezes de forma sequencial, como ocorreu entre 2005 a 2008 e 2018 a 2019. Os destaques aqui estão nos anos de 2019 (El Niño fraco), 2005 (El Niño e La Niña fracos) e 2008 (La Niña forte), com os menores valores registrados, e tendo em vista que cada um esteve sob influência de fenômenos distintos, comprovando que as chuvas da região podem ser afetadas negativamente sob diferentes situações atmosféricas, o que amplia o risco relacionado a incêndios (Figura 4).

É evidente que a distribuição da chuva ao longo de um ano é mais importante do que apenas averiguar o total anual, porém, nos dá uma ideia da variabilidade temporal ao longo de uma série histórica. Vale ressaltar também que o período escolhido, de 2003 a 2020, não se enquadra nos critérios estabelecidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), ou seja, que recomenda o mínimo de 30 anos de dados, porque o objetivo do trabalho era analisar um específico recorte temporal.

Figura 4 - Total anual de chuva para Presidente Prudente (2005 – 2020)



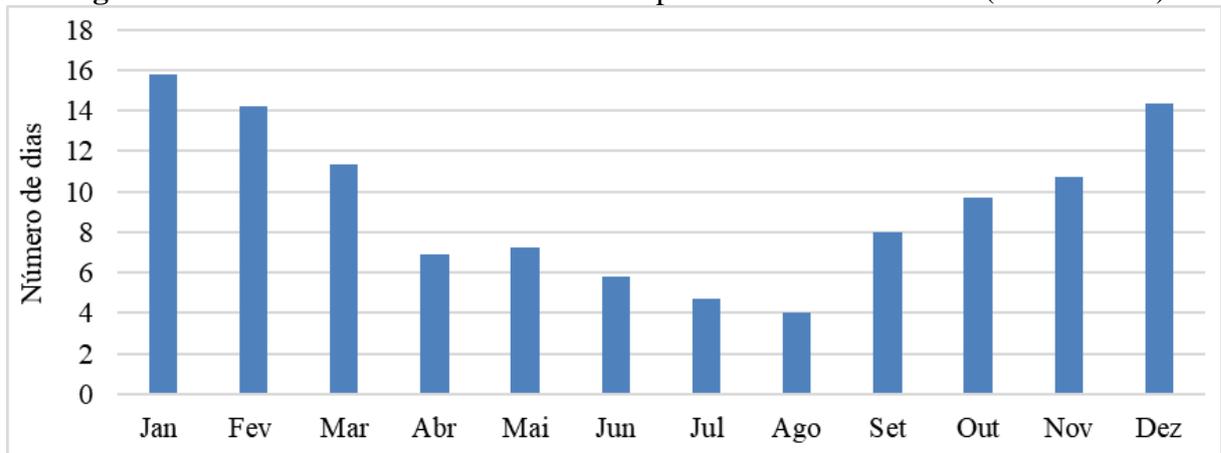
Fonte: Dados da estação meteorológica da FCT/UNESP.

As médias mensais de dias com chuva (Figura 5), apresentaram um padrão muito similar ao da distribuição da média mensal histórica apresentada na Figura 1, para o mesmo período de análise.

No período de abril a agosto, devido aos baixos valores registrados nesse período, as chuvas possivelmente ocorreram de forma mais concentrada, o que é esperado, considerando a dinâmica dos sistemas atmosféricos atuantes nesse período e que provocam mais estabilidade do tempo atmosférico.

Nos meses em que se registraram os maiores valores de chuva, também se observa os maiores valores de dias com chuvas, caso por exemplo do mês de janeiro que apresentou uma média de 16 dias, e de fevereiro e dezembro, com 14 dias com chuvas (Figura 5).

Figura 5 - Média mensais de dias com chuva para Presidente Prudente (1969 – 2015)



Fonte: Dados da estação meteorológica da FCT/UNESP.

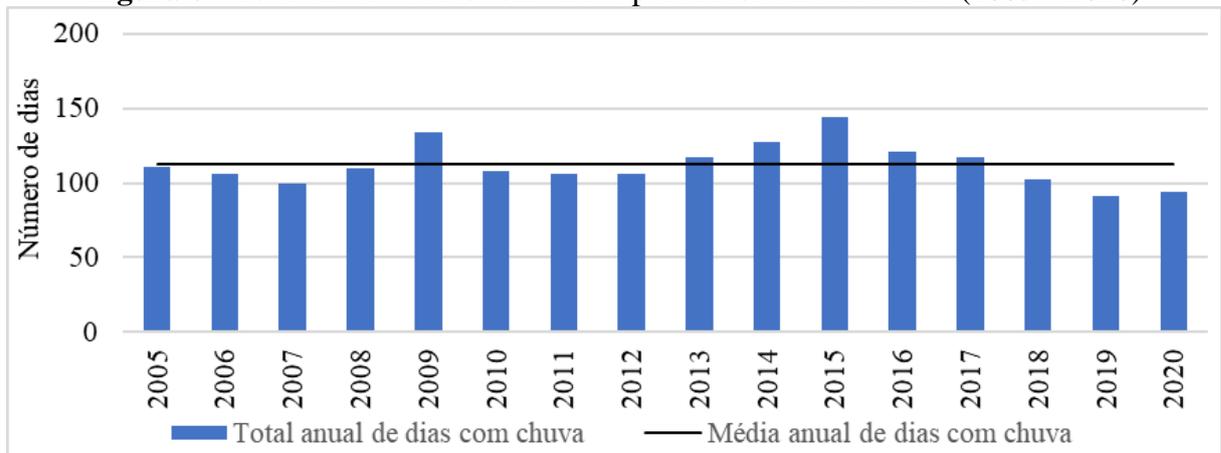
A média anual de dias com chuva na área de estudo é de 111 dias. Os maiores valores foram registrados nos mesmos anos que apresentaram os maiores totais anuais de chuva, ou seja, 2009 e 2015. No entanto, os anos de 2014 e 2016 tiveram os totais anuais de chuva abaixo da média, porém, a quantidade de dias com chuva foram de 127 e 121, respectivamente, indicando não haver uma regra para que a maior quantidade de dias com chuva esteja sempre atrelada ao maior volume precipitado (Figura 6).

Entre os anos de 2016 a 2020 foi observada uma sutil redução dos dias com chuva, mas não é possível afirmar que se trata de tendência, visto que não foram aplicados testes específicos para este fim.

Quando analisados os dias consecutivos sem chuva para os anos de 2005 a 2020 (Figura 7), nota-se que o ano de 2012 apresentou 73 dias consecutivos sem qualquer registro de precipitação. Essa estiagem também foi registrada para outras cidades, como em São Paulo capital, que de acordo com G1 (2012) apresentou 65 dias consecutivos sem chuva, representando o segundo maior período de dias sem chuva desde 1985. Tal cenário pode estar

associado ao prolongado evento de La Niña dos dois anos anteriores (2010 e 2011), respectivamente de intensidade forte e moderada. O evento de 2011 avançou para os três primeiros meses do ano de 2012, ou seja, afetando meses do verão que geralmente se caracterizam por apresentarem mais eventos de chuvas convectivas devido ao calor intenso da estação. Não obstante, ainda que o La Niña tenha deixado de atuar nos meses seguintes, seus reflexos se mantiveram por algum tempo em virtude das teleconexões atmosféricas envolvidas.

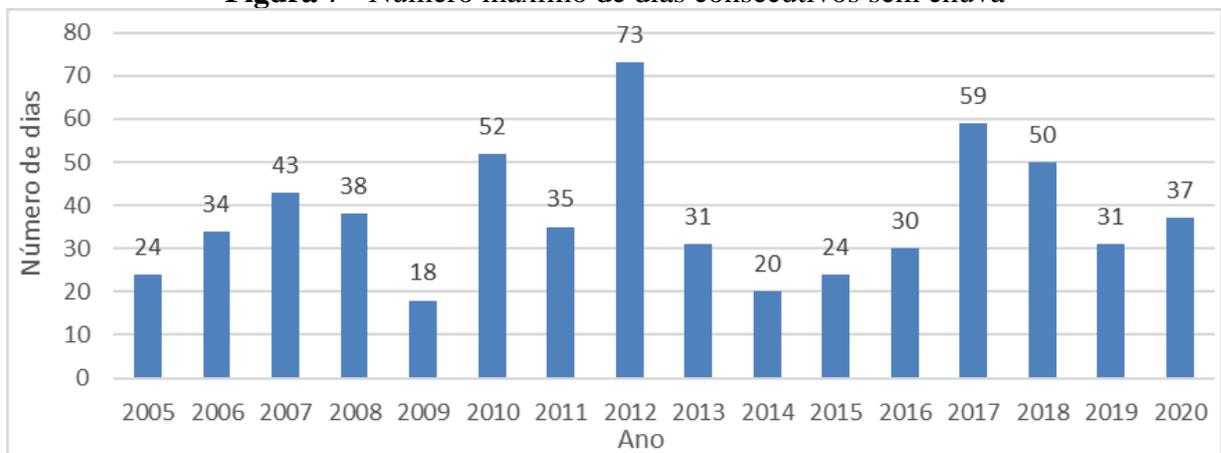
Figura 6 - Total anual de dias com chuva para Presidente Prudente (2005 – 2020)



Fonte: Dados da estação meteorológica da FCT/UNESP.

Para os anos de 2017, 2010 e 2018 foram observados 59, 52 e 50 dias consecutivos sem chuva, respectivamente. Nestes três anos, os períodos consecutivos sem chuva ocorreram durante os meses de junho, julho e agosto.

Figura 7 - Número máximo de dias consecutivos sem chuva



Fonte: Dados da estação meteorológica da FCT/UNESP.

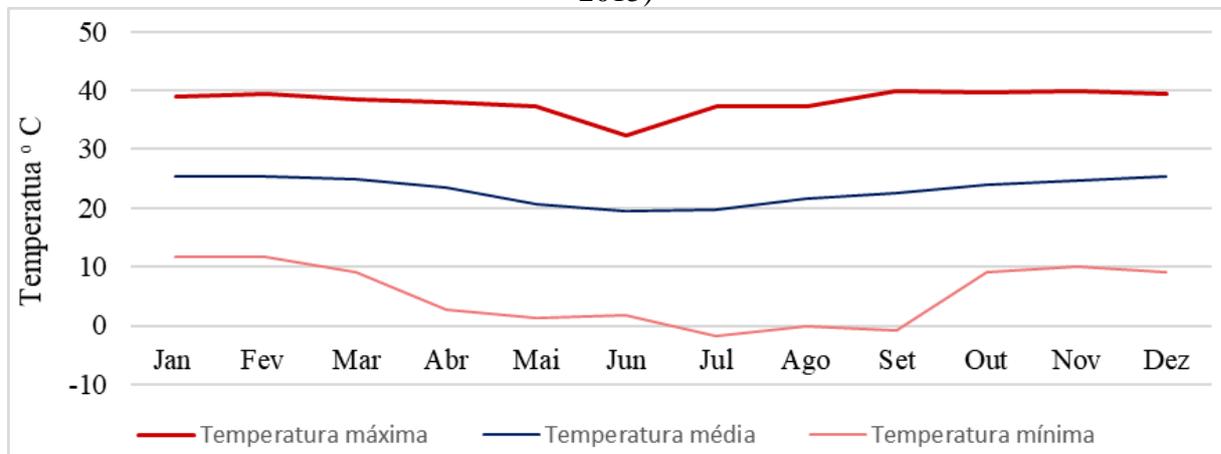
Os dias consecutivos sem chuva favorecem o acúmulo de material combustível seco, facilitando a ocorrência e a velocidade de propagação de incêndios. Além do acúmulo do material combustível seco, períodos de estiagem com altas temperaturas contribuem para o processo de combustão em todo o material orgânico dos solos, aumentando o risco de incêndios.

Análise da temperatura

As temperaturas mais elevadas foram registradas no verão e na primavera (Figura 8). Segundo Barrios e Sant'anna Neto (1996), os sistemas tropicais conferem as temperaturas elevadas nessas estações do ano.

Já os sistemas extratropicais (massas polares), que originam as frentes frias e as incursões de ar polar no outono e inverno, ocasionam as baixas temperaturas entre abril a setembro, sendo as mínimas absolutas registradas no mês de julho, quando as temperaturas diminuem devido ao maior fluxo de entrada dessas massas polares (Sant'anna Neto, Tommaselli, 2009).

Figura 8 - Temperatura máxima, média e mínima absoluta de Presidente Prudente (1969 – 2015)



Fonte: Dados da estação meteorológica da FCT/UNESP.

Sant'anna Neto e Tommaselli (2009), constataram que a temperatura média anual em Presidente Prudente é de 23,4°C, atingindo os 26°C nos meses de verão e 20°C no inverno. Quando se observam os valores máximos e mínimos, as temperaturas oscilam entre 27°C e 28°C, com extremos acima dos 38°C e as mínimas ficam entre 16°C e 18°C (Figura 8). Mas, o que prevalece são os dias quentes, com máximas diárias acima dos 30°C, sendo que tais dias nas últimas décadas ultrapassaram os 200 dias por ano.

Ocorrência e identificação dos períodos críticos de incêndio

Com os dados disponíveis dos focos de incêndio para Presidente Prudente, foi possível identificar 426 focos no período de 16 anos (2005 – 2020). A partir da utilização da Fórmula de Monte Alegre – FMA (Soares, 1972), foram determinados os períodos críticos de incêndio para cada grau de periculosidade: Nulo, Pequeno, Médio, Alto e Muito Alto.

A Quadro 3 apresenta o número de dias previstos para cada classe de perigo de incêndio, calculados por meio da FMA, no período de 2005 a 2020. Pode-se observar que 24 e 37% dos 5.844 dias foram críticos, classificados como de Alto e Muito Alto, risco respectivamente, ou seja, apresentaram valores de $FMA > 8$ em 3.591 dias. O risco nulo ocorreu em aproximadamente 10% dos dias dos 16 anos, totalizando 564 dias.

Borges *et al.* (2011), em estudo feito no estado do Espírito Santo, indicou que o índice FMA apresentou uma tendência em concentrar o percentual de número de dias nas classes de riscos mais altos, com um valor médio de 56,62%, quando consideradas as classes de risco alto (31,90%) e muito alto (24,72%).

Quadro 3 - Identificação de períodos críticos de incêndio e focos para os anos de 2005 a 2020

Perigo	FMA		Focos de Incêndio	
	Nº	%	Nº	%
Nulo	564	10%	7	1,6%
Pequeno	626	11%	2	0,5%
Médio	1063	18%	32	7,5%
Alto	1403	24%	69	16,2%
Muito Alto	2188	37%	316	74,2%
Total	5844	100%	426	100,0%

Fonte: A autoria própria (2021).

A maioria dos focos de calor em Presidente Prudente, concentraram nas classes de perigo Alto e Muito Alto, onde o valor médio da ocorrência dos focos observados foi de 16,2 e 74,2%, respectivamente, indicando desta forma uma grande possibilidade de ocorrência de incêndios florestais e denotando a efetiva possibilidade de se empregar a Fórmula de Monte Alegre.

A menor quantidade de focos de incêndio foi percebida para os índices “nulo” e “pequeno”, apresentando respectivamente 7 e 2 focos de incêndios. Há que se considerar ainda que os 7 focos de incêndio identificados no índice “nulo” podem ser decorrentes mais de incêndios por ações antrópicas forjadas, do que propriamente de influência do clima.

Ao avaliar a FMA para todos os meses nos anos de 2005 a 2020, observou-se que o grau de risco Muito Alto teve uma grande relevância nos meses de maio a setembro, assim como a maioria dos registros de focos de incêndio também ocorreram nesse período, demonstrando a convergência entre estas duas variáveis (Quadro 4). Os meses de maio a setembro são caracterizados por duas estações, outono e inverno. Outono costuma ser uma estação seca e com baixa umidade relativa do ar e o inverno, por ser uma estação mais fria, pode apresentar registros de precipitação ainda menos frequentes e valores de umidade relativa do ar muito menores. Alguns meses, como o de agosto, por exemplo, também costuma ser bastante ventoso na região, variável que além de potencializar a redução da umidade relativa do ar e o ressecamento das plantas, pode aumentar o potencial de dispersão dos focos de incêndios.

Quadro 4 - Resultado da Fórmula de Monte Alegre (FMA), com classes de periculosidade e distribuição mensal dos focos de incêndio registrados no município de Presidente Prudente para os anos de 2005 a 2020

Meses	Nulo	Pequeno	Médio	Alto	Muito Alto	Focos	Meses/Focos %
Jan	102	123	147	101	23	3	0,7%
Fev	71	84	116	126	55	10	2,4%
Mar	51	59	131	162	93	9	2,1%
Abr	33	39	87	145	176	20	4,8%
Mai	30	32	66	30	251	32	7,6%
Jun	21	34	56	110	241	33	7,9%
Jul	21	21	37	90	327	89	21,2%
Ago	18	15	27	59	377	84	20,0%
Set	32	31	45	63	279	92	21,9%
Out	58	59	99	146	135	24	5,7%
Nov	50	54	101	146	129	19	4,5%
Dez	75	73	146	138	64	5	1,2%
Total	562	624	1058	1316	2150	420	100,0%
Índice %	9,8%	10,9%	18,5%	23,0%	37,7%	-	100,0%

Fonte: Dados da estação meteorológica da FCT/UNESP.

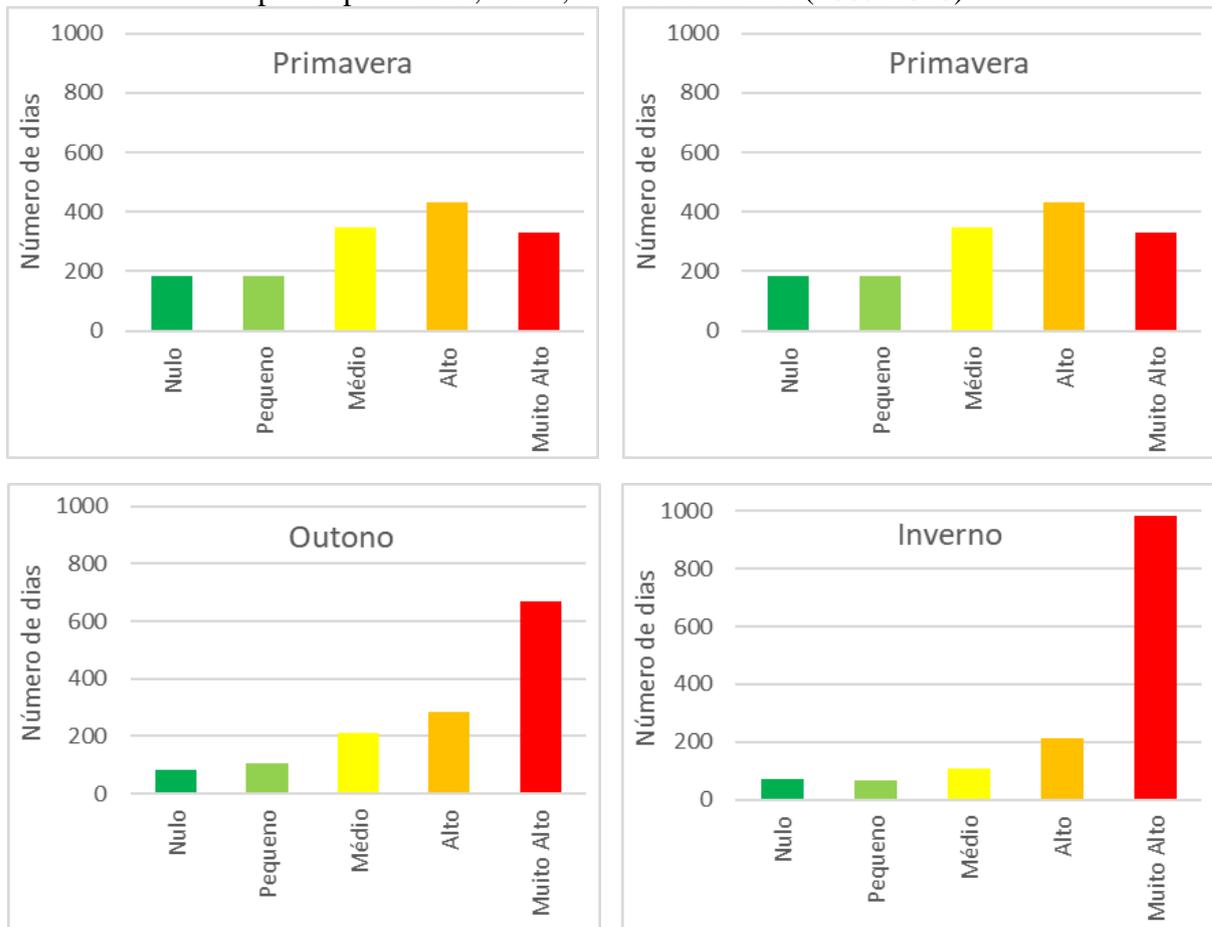
Logo, o total de focos de incêndios que ocorreram nos meses de maio a setembro correspondem a 78,6%, meses esses que apresentaram as menores médias de precipitações, conforme evidenciado pela figura 2. Para o período citado, fica demonstrada a necessidade de um aumento na vigilância, visando-se evitar que os incêndios se deflagrem em áreas verdes do município de Presidente Prudente, ocasionando grandes áreas de queimadas, tanto no interior quanto no entorno de florestas.

Philipp (2007), em estudo realizado em Sorriso – MT, também verificou que os valores absolutos do índice FMA aumentaram gradativamente a partir de maio, em função da escassez de precipitação neste período.

No decorrer do ano de 2003, em estudo realizado no Paraná, Deppe *et al.* (2004) identificaram 3.699 focos de calor, sendo que deste total pouco mais de 70% ocorreram nos meses de agosto, setembro e outubro.

Analisando-se a figura 9, nota-se que os graus de periculosidade estão bem distribuídos para as estações de verão e primavera. Isso se deve ao fato de que as chuvas mais frequentes e intensas nesse período acarretam uma época úmida, diminuindo as chances de ocorrência de incêndio. Os maiores volumes de chuvas do verão fizeram ainda com que o risco médio fosse o mais recorrente desta estação, enquanto na primavera a classe de risco alto foi a mais expressiva. É possível notar também que na primavera as classes pendem para os riscos mais altos, enquanto no verão vai mais em direção aos riscos mais baixos, evidenciando bem a importância de períodos mais chuvosos para o controle dos focos de incêndios, visto que o verão é em média 90 mm mais chuvoso do que a primavera, conforme demonstrado anteriormente na figura 3.

Figura 9 - Resultado da Fórmula de Monte Alegre (FMA), com classes de periculosidade para a primavera, verão, outono e inverno (2005-2020)

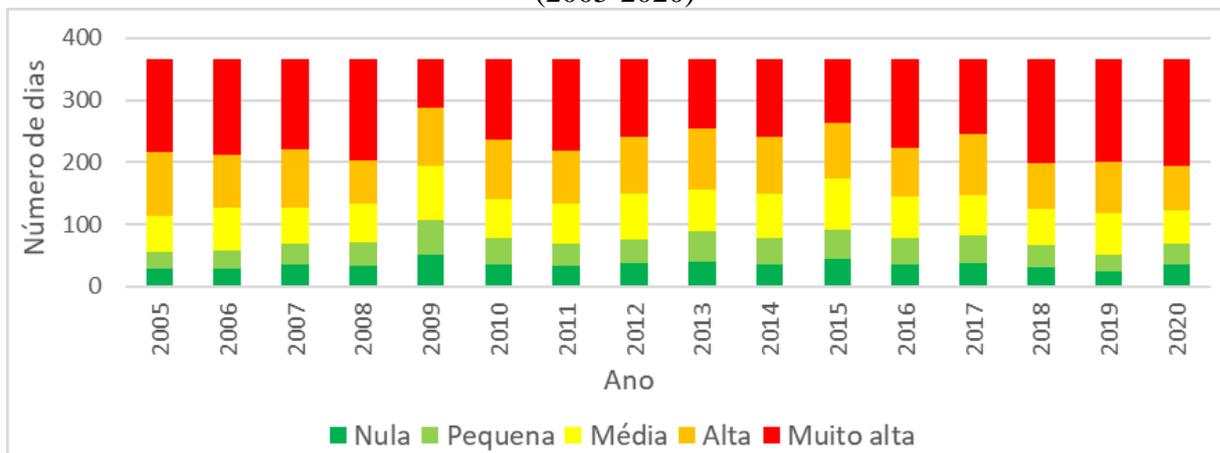


Fonte: Os autores.

Para as estações do outono e inverno (Figura 9), verifica-se uma significativa discrepância entre as classes de periculosidade, sobressaindo-se claramente a classe de risco muito alto. Por serem períodos secos, com menores volumes e menos ocorrências de dias de chuvas, conseqüentemente a umidade relativa do ar diminui e aumentam os materiais combustíveis, favorecendo um ambiente propício aos focos de incêndios e propagações mais rápidas.

Considerando o índice da FMA ao longo dos 16 anos (Figura 10), pode-se observar a evolução do valor da classe de risco Muito Alto com o decorrer do tempo, devido à ocorrência de chuvas diárias com volumes abaixo dos 13 mm (Quadros 1 e 2). Esse aumento da classe de risco fica evidenciado principalmente pelos anos de 2018, 2019 e 2020, em comparação com os demais, uma vez que tais anos, como visto na Figura 6, foram os que apresentaram os menores números de dias com chuvas ao longo do ano, ficando abaixo da média histórica, evidenciando que diminuição dos dias chuvosos favorece o aumento do índice de perigo de incêndio, principalmente quando ocorrem de forma sequencial, tanto intra-anual quanto interanualmente. Outros períodos corroboram para este resultado, são os anos de 2005 a 2008 e 2010 a 2012, todos com média de dias chuvosos abaixo da média do período analisado e com os mais altos índices de perigo de incêndios.

Figura 10 - Classe de periculosidade segundo o índice da FMA para toda a série histórica (2005-2020)



Fonte: Os autores.

Segundo Marengo (2008), as mudanças climáticas que vem ocorrendo ao longo dos anos representam um sério risco para os recursos de água no Brasil, com projeções do clima sugerindo que a chuva pode reduzir em até 20% nos finais do século XXI, num cenário de altas emissões. Ainda de acordo com o mesmo autor, a falta de chuvas está inserida no quadro

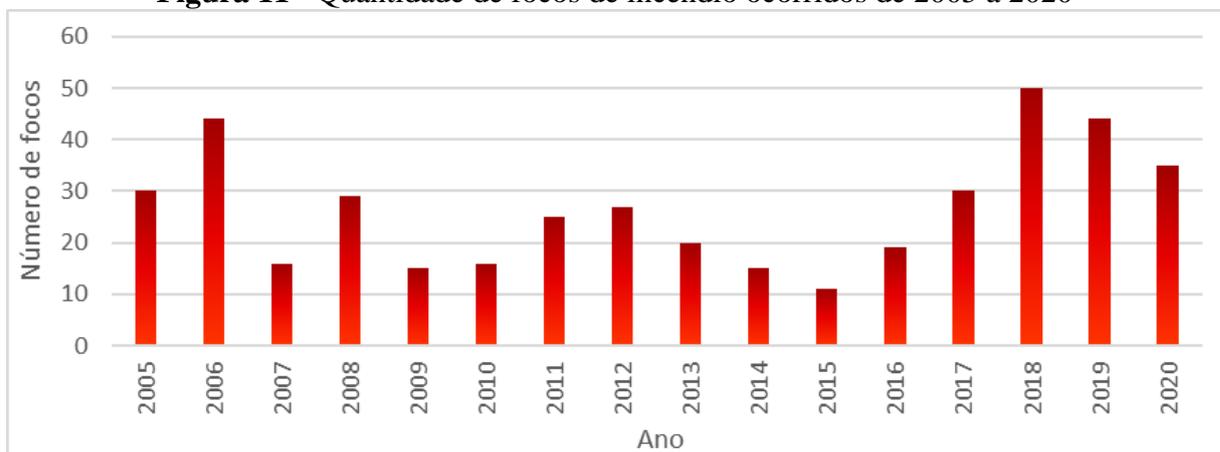
calamitoso do aquecimento global, em que a devastação da Amazônia tem triste papel de destaque.

Para Bolson e Haonat (2016), se, antes, os nefastos efeitos do aquecimento global se mostravam fluidos e distantes do nosso dia a dia, agora, ao revés, somos cada vez mais afetados pelo excesso de chuvas ou pela seca, além disso, as mudanças climáticas, em algumas partes do Brasil, são responsáveis pelo aparecimento de estados climáticos imprevisíveis e catastróficos, como ondas de calor extremas

Ao investigarem as tendências de alterações nos padrões das chuvas na bacia hidrográfica do rio Paraná no período de 1986 a 2011, Zandonadi *et al.* (2015) estudaram os dados de Presidente Prudente e concluíram que, para chuvas acima de 1 mm haviam tendências de aumento no número de dias secos e diminuição nos de dias chuvosos e que os eventos de chuvas intensas estavam ocorrendo de forma bem mais frequente. Em outras palavras, já havia no município uma mudança no padrão pluviométrico indicando chuvas mais volumosas, porém, concentradas no tempo, enquanto os períodos secos se tornavam mais prolongados, algo amplamente alertado pelos cientistas e instituições que estudam o clima diante das atuais mudanças climáticas.

Ao analisar a quantidade de focos de incêndios distribuídos ao longo dos anos (Figura 11), é possível identificar a forte relação com a figura 10, dado que a maioria dos anos que tiveram índice de risco mais alto, são os mesmos que apresentaram maiores números de focos de incêndio. Cabe recordar que tais anos também registraram volumes anuais de chuvas e dias chuvosos abaixo da média.

Figura 11 - Quantidade de focos de incêndio ocorridos de 2005 a 2020

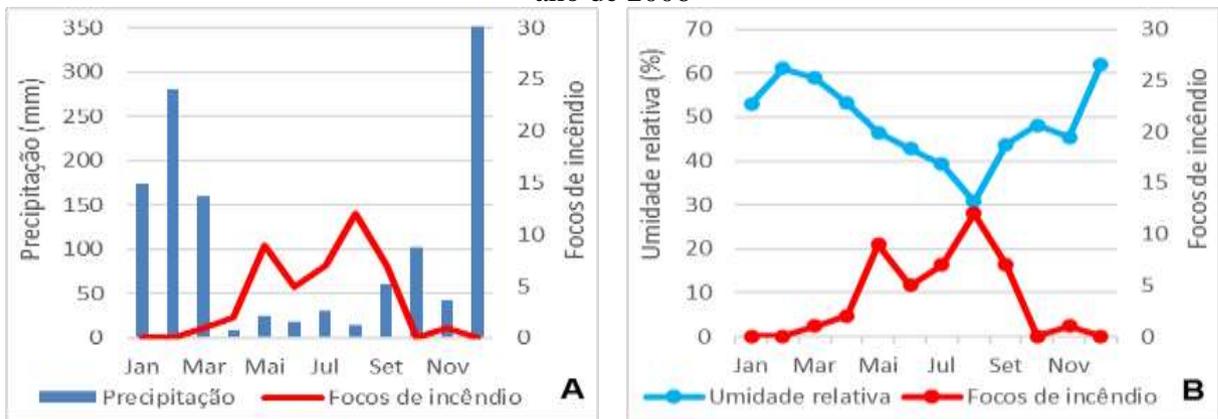


Fonte: Os autores.

Visando-se ampliar a compreensão que algumas variáveis atmosféricas têm no aumento ou diminuição dos riscos, foram selecionados os anos que tiveram mais ocorrências de focos de incêndios (2006, 2018 e 2019), os quais foram correlacionados com os registros da umidade relativa e da precipitação pluviométrica local (Figuras 12, 13 e 14).

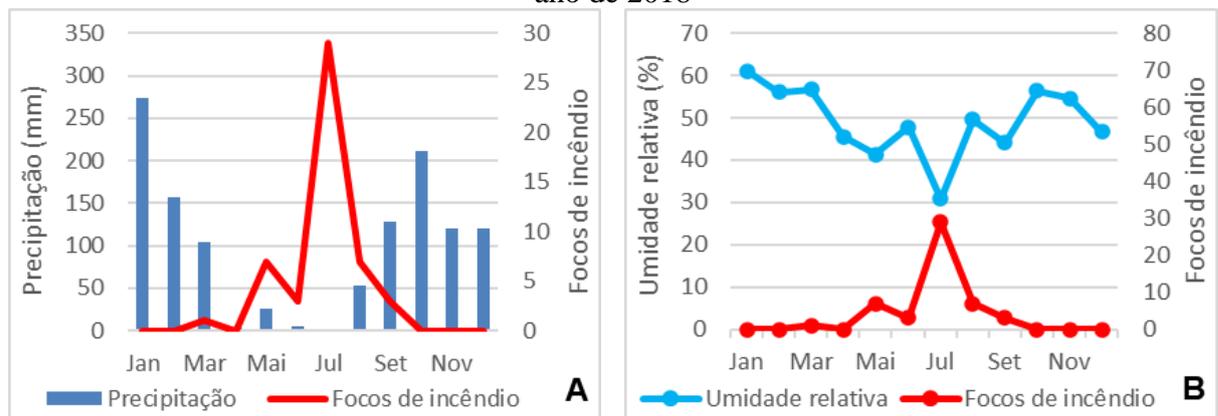
Para os referidos anos, portanto, os meses de maio a setembro foram os que apresentaram os menores valores de precipitação e, nestes meses, foram identificados também os maiores números de focos de incêndio, evidenciando o que foi demonstrado nas figuras 4 e 5, de que os períodos mais críticos para ocorrências de incêndio são o outono e o inverno.

Figura 12 - Análise da Precipitação (A) e Umidade relativa (B) com focos de incêndio para o ano de 2006



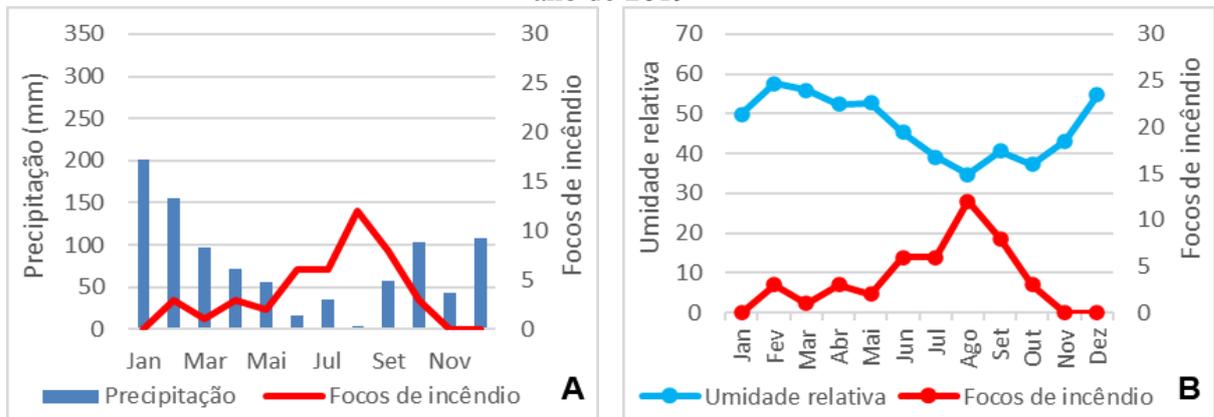
Fonte: Os autores.

Figura 13 - Análise da Precipitação (A) e Umidade relativa (B) com focos de incêndio para o ano de 2018



Fonte: Os autores.

Figura 14 - Análise da Precipitação (A) e Umidade relativa (B) com focos de incêndio para o ano de 2019



Fonte: Os autores.

Outra característica registrada para os anos de 2006, 2018 e 2019 foram as relações da umidade relativa do ar e da precipitação com as ocorrências de incêndios são bem parecidas, pois quanto mais alta a umidade do ar e a precipitação, menor a presença de focos. Por outro lado, quanto mais baixa é a umidade relativa, maior é o número de focos de incêndios, visto que o ar mais seco proporciona, sobretudo no material combustível, maior propensão à ocorrência do fogo; e a ausência ou redução das chuvas pode favorecer a deficiência de água no solo e, por consequência, o estresse hídrico em um primeiro momento ou mesmo o ressecamento foliar das plantas de modo mais prolongado, as quais servirão como material propagador dos incêndios.

Com relação à comparação entre as variáveis chuva e umidade relativa, Torres (2006) afirma que há maior influência da umidade relativa do ar nas ocorrências de incêndios em comparação com o total anual de precipitação, fato que pode ser explicado pela maior influência da umidade sobre o material morto, que reflete melhor a umidade do ambiente quando comparado ao material vivo, já que o combustível vivo se mantém úmido por mais tempo graças a umidade retirada do solo, mesmo em épocas mais secas.

As afirmações acima encontram embasamento ao analisarmos nas Figuras 12 a 14 que pequenas alterações nos valores de umidade relativa já foram suficientes para desencadear aumentos nos focos de incêndios, enquanto a chuva necessita de redução mais expressiva nos volumes, principalmente quando há ausência total durante todo o mês. Os aumentos dos focos como resposta à umidade relativa parecem ser, portanto, ao menos mais diretos e mais rápidos do que com a chuva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho, foi possível concluir que:

Foram identificados os meses de abril a setembro como os mais secos para o período estudado (2005-2020). Os meses correspondentes aos mais chuvosos foram de janeiro a dezembro. Sendo assim, o outono e o inverno foram identificados como estações secas com alto risco de incêndio e propagação, enquanto o verão e a primavera como estações chuvosas, com poucos riscos.

A média anual de dias com chuva na área de estudo é de 111 dias. O ano de 2012 foi o que apresentou mais dias secos consecutivos, somando 73 dias sem registro de precipitação.

No total, foram identificados 426 focos de incêndios para o período estudado e a maioria dos focos de calor se concentraram nas classes de perigo Alto e Muito Alto, demonstrando bom desempenho e eficiência da FMA como metodologia de identificação dos riscos.

Os anos de 2006, 2018 e 2019 foram os mais críticos do período estudado, apresentando precipitação anual abaixo da média, número de focos de incêndio elevados e altos índices de periculosidade para as classes alto e muito alto.

Os períodos mais críticos para ocorrência de incêndios são as estações do outono e inverno, devido a baixos valores de precipitação e umidade relativa do ar. Nas mesmas estações também foram registradas as maiores quantidades de focos de incêndios.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T.; MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins**, Paris, v. 13, p. 1-18, 2012.

BARRIOS, N. A. Z.; SANT'ANNA NETO, J. L. A circulação atmosférica no extremo oeste paulista. **Boletim Climatológico**, Presidente Prudente-SP, v.1, n.1, p.8-9, 1996.

BEREZUK, A. G. **Análise das adversidades climáticas no oeste paulista e norte do Paraná**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual "Júlio Mesquita Filho" FCT/UNESP, campus Presidente Prudente, 2007.

BOIN, M. N. **Chuvvas e erosões no Oeste Paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

BORGES, T. S. *et al.* Performance of Some Index of Risk of Fire in Eucalyptus Plantations in the North of the Espírito Santo, Brazil. **Floram - Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro- RJ, v. 2, n. 18, p. 153-159, 2011.

BOLSON, S. H.; HAONAT, A. I. A governança da água, a vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 13, n. 25, p. 223-248, 2016.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba, ano 11, v. 16, jan./jul. 2015. Doi: 16. 29-45. 10.5380/abclima.v16i0.40585.

CPTEC/INPE - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. **El Niño e La Niña**. 2021. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

DEPPE, F. *et al.* Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba – PR, v. 2, n. 34, p. 119-126, 2004.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICE. **El Niño and La Niña Years and Intensities**. 2020. Disponível em: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 26 jul. 2021.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento dos Focos Ativos por Países**. 2021. Disponível em: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_paises/. Acesso em: 26 jul. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama>. Acesso em: 23/11/2023.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. 1. ed. México. Fondo de Cultura Econômica. 1948.

LINN, R. R. *et al.* Using periodic line fires to gain a new perspective on multidimensional aspects of forward fire spread. **Agricultural and Forest Meteorology**, Ontário-CA, v.157, p.60-76, 2012.

MARENGO, J. A. M. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, São Paulo-SP, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MONTEIRO, C. A. “**A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil**”. In: Série Teses e Monografias, n.1. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1969.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989, 422 p.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. FMA+ um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná – Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v. 36, n. 1, p. 75-91, 2005.

PHILIPP, M. P. **Análise do perigo de incêndio em municípios do estado de Mato Grosso por meio da Fórmula de Monte Alegre**. 2007. Dissertação (Mestrado em física e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2007.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente-SP: FCT/UNESP, 2009.

SSP-SP - Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo. **Dados estatísticos do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em: Acesso em: 12 jul. 2021.

SILVA, J. C. *et al.* C. Avaliação de brigadas de incêndios florestais em unidades de conservação. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.1, p. 95-101. 2003.

SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para região centro-paranaense, Brasil**. 1972. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, Turrialba-CR, 1972.

SOARES, R. V. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1984 a 1987. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v. 18, n. 1/2, p. 94-121, 1988.

SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; SANTOS, S. A.; Eficiência de índices de risco de incêndios para o pantanal Sul-Mato-Grossense. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 25, n. 4, p. 809-816. 2015.

SOUZA, P. A. L. *et al.* Avanço no monitoramento de queimadas realizado no INPE. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 13., 2004, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza, p. 1-15, 2004.

TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora – MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 7, n. 18, p. 162-171, 2006.

TYUKAVINA, A. *et al.* Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019. **Front. Remote Sens.**, 15 March 2022, Sec. Remote Sensing Time Series Analysis, Volume 3 - 2022. Doi: <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190>.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S. Análise da precipitação e sua influência na ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional Serra de Itabaiana. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté-SP, v. 6, n. 1, p. 148-156, 2011.

ZANDONADI, L. *et al.* Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River basin). **Theor Appl Climatol**, v.123, p.741–756, 2015. DOI: 10.1007/s00704-015-1391-4.

SOBRE A AUTORA E OS AUTORES

DÁRIO HENRIQUE TESSEADOR

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduando em Engenharia Agrônômica pelo Centro Universitário Ingá (Uningá).

MARIA CLEIDE BALDO

Possui graduação em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Geografia, área de concentração Análise Regional e Ambiental, pela Universidade Estadual de Maringá. Doutora em Geografia, área de Produção do Espaço Geográfico, pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Campus de Presidente Prudente-SP. Pós-doutorado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Presidente Prudente-SP. Atualmente é professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão PR, curso de Engenharia Ambiental responsável pelas disciplinas de Geologia, Pedologia e Uso e Conservação do Solo - Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em Climatologia Geográfica.

LEANDRO ZANDONADI

É licenciado (2005), bacharel (2006) em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá - UEM e mestre (2009) e doutor (2013) em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Unesp, Rio Claro-SP. Durante a graduação atuou como estagiário da Prefeitura Municipal de Maringá, na Secretaria de Planejamento Urbano, Habitação e Meio Ambiente (2003 a 2004) e durante o período do doutorado realizou estágios de docências no ensino superior da Unesp de Rio Claro-SP (2011 a 2012) nos cursos de Engenharia Ambiental e Geografia e, ainda, participou de convênio, atuando como estagiário em pesquisa internacional realizada na Università degli Studi di Torino, na cidade de Turim, Itália (2012 a 2013). Lecionou na rede de Ensino Fundamental e Médio do Estado de São Paulo (2009 a 2010), na cidade de Campinas. Foi professor colaborador na UEM/Maringá (2014 a 2015), ministrando disciplinas para os cursos de Geografia e Agronomia e atualmente é professor adjunto do departamento de Geografia da mesma Universidade, atuando em ambos os cursos, onde também é coordenador administrativo da Estação Climatológica Principal de Maringá e Editor Chefe da revista Boletim de Geografia. Possui experiência científica na área de Geografia Física, com ênfase em Climatologia Geográfica, atuando principalmente nos seguintes temas: dinâmica atmosférica, variabilidade e ritmo climático, Análise Rítmica, balanço hídrico, chuvas, agrometeorologia e agroclimatologia.

JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI

Engenheiro Cartógrafo formado pela Universidade Estadual Paulista, campus de Presidente Prudente-SP (1982). - Mestre em Agronomia, área de concentração Agrometeorologia pela ESALQ/USP, Piracicaba-SP (1992). - Doutor em Ciências, área de concentração Energia Nuclear na Agricultura pelo CENA/USP, Piracicaba-SP (1997). - Professor da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus de Presidente Prudente, deste 1987, atualmente lotado no Departamento de Geografia. - Responsável pelas disciplinas de Climatologia, Meteorologia, Hidrologia e Ciências do Ambiente. - Ministra aulas para os cursos de graduação em Engenharia Ambiental, Engenharia Cartográfica e Geografia. - Ministra aulas nos cursos de Pós-Graduação em Geografia (acadêmico e profissional) - Chefe do Departamento de Geografia (gestões 2013-2015, 2015-2017). - Tem vários artigos publicados em periódicos nacionais, capítulos de livros, comunicações em anais de congressos, orientações de trabalhos científicos e participações em bancas examinadoras de trabalhos científicos. - Parecerista da FAPESP e da FUNDUNESP. - Parecerista da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.