

Aspectos Sazonais de um Índice de Risco de Incêndios Florestais na Região Norte do Brasil por Meio de Dados Meteorológicos

Mayara Barbosa Lima¹, Gabriel Brito Costa¹, Waldeir dos Santos Pereira¹, Duany Thainara Corrêa da Silva¹,
Letícia Victória dos Santos Matias¹, Ana Caroline da Silva Macambira¹,
Marcelo de Almeida Heidemann¹ & Natan Barbosa Almada¹

Recebido em 15/09/2020 – Aceito em 24/09/2021

¹ Universidade Federal do Oeste do Pará/UFOPA. Brasil. <mayarabarbosalima@gmail.com, gabrielbritocosta@gmail.com, waldeir.santtos@hotmail.com, duanythaynara@gmail.com, lleticia005@gmail.com, karoline_macambira@hotmail.com, marceloahaidemann@hotmail.com, natanalmada@gmail.com>.

RESUMO – Este estudo se propõe a avaliar a sazonalidade de um índice de risco de incêndios florestais em estados situados na região Norte, em relação ao perigo meteorológico com base nos dados de umidade relativa do ar e precipitação, utilizando a Fórmula de Monte Alegre (FMA). Foram avaliadas 39 das 41 estações meteorológicas convencionais disponíveis. Por não apresentarem registro de dados desde 1978, duas estações foram descartadas. A série temporal analisada foi de 37 anos e 6 meses (de janeiro de 1978 a junho de 2016) para dados horários e diários. Os arquivos foram baixados, convertidos em formato txt, organizados e compilados por meio do *software* R estatística para o cálculo do índice de perigo de incêndio, por meio da Fórmula de Monte Alegre. Os resultados indicam uma grande sazonalidade do risco de incêndio nos estados estudados, com a variabilidade do Índice de Monte Alegre (IMA) associada com os totais pluviométricos, índices de umidade relativa, tipos climáticos e fisionomias vegetais dominantes nos municípios, sendo possível indicar os meses em que os riscos de incêndio nas localidades apontam risco “Alto” e “Muito Alto” dentro das escalas de risco propostas pela FMA.

Palavras-chave: Fórmula de Monte Alegre; precipitação; queimadas.

Seasonal Aspects of a Forest Fire Risk Index in Northern Brazil Using Meteorological Data

ABSTRACT – This study proposes to evaluate the seasonality of a forest fire risk index in states located in the North region, in relation to the meteorological danger based on the relative humidity and precipitation data, using the Monte Alegre Formula (FMA). 39 of the 41 available conventional weather stations were evaluated. As they have not registered data since 1978, two stations were discarded. The time series analyzed was 37 years and 6 months (January 1978 to June 2016) for hourly and daily data. The files were downloaded, converted to txt format, organized and compiled using the R statistical software for calculating the fire hazard index, using the Monte Alegre Formula. The results indicate a great seasonality of fire risk in the studied states, with the variability of the Monte Alegre Index (IMA) associated with total rainfall, relative humidity indices, climatic types and dominant plant physiognomies in the municipalities, making it possible to indicate the months where the fire risks in the localities indicate “high” and “very high” risk within the risk scales proposed by the FMA.

Keywords: Monte Alegre Formula; precipitation; forests fires.

Aspectos Estacionales de un Índice de Riesgo de Incendios Forestales en el Norte del Brasil Utilizando Datos Meteorológicos

RESUMEN – Este estudio propone evaluar la estacionalidad de un índice de riesgo de incendio forestal en estados ubicados en la región Norte, en relación con la peligrosidad meteorológica con base en los datos de humedad relativa y precipitación, utilizando la Fórmula de Monte Alegre (FMA). Se evaluaron 39 de las 41 estaciones meteorológicas convencionales disponibles. Como no han registrado datos desde 1978, se descartaron dos estaciones. La serie temporal analizada fue de 37 años y 6 meses (enero de 1978 a junio de 2016) para datos horarios y diarios. Los archivos fueron descargados, convertidos a formato txt, organizados y compilados utilizando el *software* estadístico R

para el cálculo del índice de riesgo de incendio, utilizando la Fórmula Monte Alegre. Los resultados indican una gran estacionalidad del riesgo de incendio en los estados estudiados, con la variabilidad del Índice de Monte Alegre (IMA) asociado a la precipitación total, índices de humedad relativa, tipos climáticos y fisonomías vegetales dominantes en los municipios, lo que permite indicar la meses donde los riesgos de incendio en las localidades indican riesgo “alto” y “muy alto” dentro de las escalas de riesgo propuestas por la FMA.

Palabras clave: Fórmula de Monte Alegre; precipitación; incendios forestales.

Introdução

A ocorrência dos incêndios florestais, assim como sua intensidade e a velocidade com que se propagam, está diretamente relacionada aos elementos meteorológicos, como umidade relativa, temperatura do ar e velocidade do vento (Nunes *et al.*, 2006). Por meio de métodos agrometeorológicos, como o uso da Fórmula de Monte Alegre (FMA), pode-se determinar o grau de perigo de ocorrência de incêndios em áreas florestais, subsidiando a tomada de decisão para a prevenção e estratégias de controle do fogo por parte dos agentes competentes (Pereira *et al.*, 2002).

A FMA é um índice do perigo de incêndio, desenvolvida no Brasil (Soares, 1972). Existem diversos índices de perigo de incêndios, como os índices de *Telicyn*, *Angstron*, *Nesterov*, desenvolvidos em outros países (Borges *et al.*, 2011), divididos em não cumulativos e cumulativos (Pereira *et al.*, 2002). São classificados como não cumulativos todos aqueles índices que se baseiam somente nas condições do tempo vigentes no dia. Cumulativos são aqueles que levam em consideração as condições climáticas de uma sucessão de dias (Alvares *et al.*, 2014).

Em regiões de transição da região Norte e Centro-Oeste, Souza *et al.* (2012) utilizaram os dados provenientes do NOAA/AVHRR “*National Oceanic and Atmospheric Administration/Advanced Very High Resolution Radiometer*”, associando índices da Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre modificada (FMA+), tendo observado que FMA+ apresentou melhor desempenho para avaliação dos riscos de incêndios nessas regiões, justificado pelo acréscimo da velocidade do vento ao modelo, o que o teria tornado tornou mais sensível após dias com ocorrências de chuvas. No entanto, como há grandes falhas nos dados observados de vento nas estações da região Norte do Brasil, devido os anemômetros precisarem de calibração e manutenção com frequência muito maior que

os instrumentos que medem umidade relativa e chuva, é aceitável o uso da FMA.

Este índice é cumulativo e utiliza como variáveis meteorológicas a umidade relativa do ar, diretamente na equação e a precipitação, como restrição à somatória da FMA. A FMA tem se mostrado eficiente para as regiões de clima similar ao da região para a qual a equação foi desenvolvida, necessitando de adaptação na escala de perigo nos outros casos.

Sendo assim, a utilização de dados meteorológicos e climatológicos precisos, aliados ao monitoramento constante e métodos de detecção de incêndios florestais são de extrema importância para os programas de prevenção e combate aos incêndios florestais, bem como para o dimensionamento dos efeitos produzidos pela ação do fogo sobre o ambiente (Casavecchia *et al.*, 2011; Batista, 2013).

Com isso, este estudo se propõe a avaliar e detalhar a sazonalidade do índice de risco de incêndios florestais em estados da região Norte do Brasil, assim como as influências de sua variabilidade anual, por meio de dados meteorológicos, obtidos a partir do Banco de dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP).

Material e Métodos

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido tendo como foco 6 dos 7 estados da região Norte do Brasil (Figura 1). Na região Norte, há cerca de 41 Estações Meteorológicas Convencionais (EMC), distribuídas em 6 estados: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima e Tocantins. Não há dados disponíveis de EMC para o estado de Rondônia.

As coordenadas, assim como a altitude para cada EMC utilizada, encontram-se demonstradas na Tabela 1. Para este estudo, foram utilizadas 39 Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) do

total de 41. Duas estações do Tocantins (Araguaína e Palmas) não possuem dados na mesma escala temporal que as demais estações para a análise; por esse motivo, foram descartadas.

Tabela 1 – Coordenadas e altitude das 39 estações meteorológicas convencionais disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) divididas por estado.

ACRE – AC			
Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Cruzeiro do Sul	-7.63333333	-72.66666667	170
Rio Branco	-9.96666667	-67.80000000	160
Tarauacá	-8.16666667	-70.76666667	190
AMAZONAS – AM			
Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Barcelos	-0.96666667	-62.91666667	40
Benjamin Constant	-4.38333333	-70.03333333	65
Coari	-4.08333333	-63.13333333	46
Codajás	-3.83333333	-62.08333333	48
Eirunepé	-6.66666667	-69.86666667	104
Fonte Boa	-2.53333333	-66.16666667	55,57
Iauaretê	0.61666667	-69.20000000	120
Itacoatiara	-3.13333333	-58.43333333	40
Lábrea	-7.25000000	-64.83333333	61
Manaus	-3.11666666	-59.95000000	67
Manicoré	-5.81666666	-61.30000000	50
Parintins	-2.63333333	-56.73333333	29
São Gabriel da Cachoeira	-0.11666667	-67.00000000	90
Tefé	-3.83333333	-64.70000000	47
PARÁ – PA			
Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Altamira	-3.21666666	-52.21666666	74,04
Belém	-1.43333333	-48.43333333	10
Belterra	-2.63333333	-54.95000000	175,74
Breves	-1.68333333	50.48333333	14,74
Cametá	-2.25000000	-49.50000000	23,9
C. do Araguaia	-8.26666666	-49.26666666	156,85
Itaituba	-4.28333333	-56.00000000	45
Marabá	-5.36666667	-49.13333333	95
Monte Alegre	-2.00000000	-54.08333333	145,85
Óbidos	-1.91666667	-55.51666667	37
Porto de Moz	-1.73333333	-52.23333333	15,93
S. Felix do Xingu	-6.63333333	-51.96666667	206
Soure	-0.73333333	-48.51666667	10,49
Tracuateua	-1.06666667	-46.90000000	36
Tucuruí	-3.76666667	-49.66666667	40

AMAPÁ – AP			
Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Macapá	-0.05000000	-51.11666667	14,46
RORAIMA – RR			
Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Boa Vista	2.81666667	-60.65000000	90
Caracaraí	1.83333333	-61.13333333	94,05
TOCANTINS – TO			
Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Pedro Afonso	-8.96666666	-48.18333333	187
Peixe	-12.01666667	-48.35000000	242,49
Porto Nacional	-0.71666667	-48.41666667	239,2
Taguatinga	-12.40000000	-46.41666666	603,59

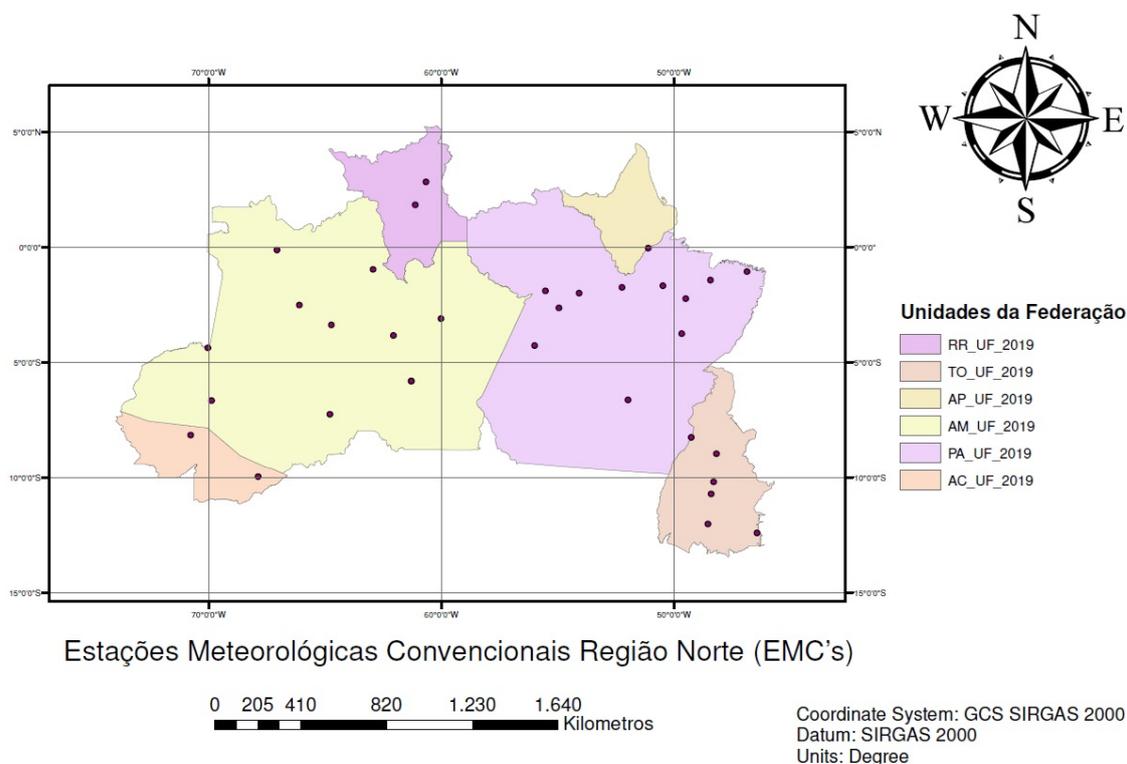


Figura 1 – Estações convencionais para a região Norte do Banco de dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.

Obtenção dos dados

Os arquivos foram baixados da plataforma virtual do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), vinculado ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Nessa plataforma estão disponíveis as séries históricas dos dados horários, diários e mensais. Para o

estudo em questão, a série temporal analisada foi de 37 anos e 6 meses (de janeiro de 1978 a junho 2016), utilizando dados horários e diários.

Para cada série histórica de dados, há um conjunto de variáveis disponíveis. Na Figura 2 observam-se as variáveis registradas para a série histórica de dados horários (A) e as variáveis

para os dados diários (B). Para o presente estudo, utilizaram-se a variável umidade relativa (UR) expressa em porcentagem (%) (dados horários) e

a precipitação (PRP) dada em mm (dados diários), uma vez que a FMA necessita de ambas para o desenvolvimento do cálculo.

The image shows two screenshots of the BDMEP web interface. Panel A, titled 'BDMEP - Série Histórica - Dados Horários', shows search filters for 'Região' (Todas) and '(OU) Estado' (Todos), and a list of variables including Temp Bulbo Seco(°C), Umidade Relativa(%), Direção do Vento(°Codigo), Nebulosidade, Temp Bulbo Úmido(°C), Pressão Atm nível Estação(mbar), and Velocidade do Vento(m/s). Panel B, titled 'BDMEP - Série Histórica - Dados Diários', shows the same search filters and a list of variables including Precipitação(mm), Temp Máxima(°C), Insolação(horas), Evaporação do Piche(mm), Umidade Relativa Média(%), Temp Mínima(°C), Temperatura Compensada Média(°C), and Velocidade Vento Média(mps). Both panels have a 'Pesquisa' button.

Figura 2 – Layout do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) com as variáveis disponíveis para *download* da série histórica de dados horários (A) e para as séries históricas de dados diários (B) Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Processamento dos dados

Os arquivos foram baixados do BDMEP em formato *html* e convertidos para o formato *txt*, possibilitando, posteriormente, o manuseio das informações de forma facilitada. Utilizando-se os softwares *Textpad8*, e o *Grapher3* todo o banco de dados passou por verificação e padronização de informações.

Com o *Textpad8* foi feita a edição e padronização para os campos de horário, incluído “NA” nos espaços onde não havia registros, de modo que o banco de dados não apresentasse lacunas. No *Grapher3*, foi possível estipular uma única data inicial para todas as estações meteorológicas, uma vez que os arquivos foram baixados desde 1969 e diversas estações iniciavam seus registros em datas distintas, dificultando a trabalhabilidade dos dados. A data inicial foi padronizada para 01/01/1978, finalizando em 30/06/2016.

As séries temporais históricas (horárias e diárias) foram consistidas separadamente e unidas, posteriormente, em um único banco de dados, por meio do software *R version 3.4.1e* (R CORE TEAM, 2017) para o cálculo

da do índice de perigo de incêndios pela FMA e geração das figuras.

Cálculo da Fórmula de Monte Alegre

Foi adotada a FMA (Soares, 1972) por ser de fácil aplicação e utilizar os valores diários da UR do ar (%) e PRP (mm) para ser calculada.

A equação 1 é dada por:

$$FMA = \sum_{n=1}^n \frac{100}{H} \quad (1)$$

onde:

FMA: Fórmula de Monte Alegre;

H: umidade relativa do ar medida às 13:00 H;

n: número de dias sem chuva.

Embora a FMA utilize a umidade relativa média às 13h, Torres & Ribeiro (2008) demonstram em seu estudo uma maior eficiência da FMA, quando utilizaram os dados de UR e temperatura do ar às 15h. Álvares *et al.* (2014) propuseram um modo empírico de estimativa da umidade das 13h usando o valor medido às 15h, que foi aplicado

aos dados deste trabalho. Os dados oriundos do BDMEP são disponibilizados também utilizando às 15h para a coleta das variáveis em questão.

A FMA tem caráter acumulativo, sendo assim, quanto maior for a sequência de dias apresentando baixa umidade relativa do ar e falta

de chuvas, maior será a possibilidade de risco climático de incêndio (Alves & Nóbrega, 2011). Para calcular a FMA, existem algumas restrições à somatória que devem ser feitas de acordo com a precipitação do dia (Soares, 1972), conforme indica a Tabela 2.

Tabela 2 – Ajustes de cálculo de acordo com a precipitação.

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera + (100/H) do dia
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera + (100/H) do dia
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera + (100/H) do dia
≥ 12,9	Interromper o cálculo (FMA= 0) e recomeçar somatório no dia seguinte

Outros índices de perigo de incêndio florestal eram mais utilizados no Brasil (Angstron, Nesterov), porém Soares em 1972 desenvolveu o método da FMA justificando ser mais adequado para as nossas condições climáticas, que não eram muito bem atendidas nos outros métodos que foram criados com base no clima Europeu.

O método aqui aplicado é o mesmo desenvolvido por Soares, embora dependendo das condições, ele possa ter ajustes, dado as diferentes

escalas de dias sem chuva e totais pluviométricos que uma dada região pode diferir da outra, o que pode impactar em uma superestimativa da classe “Muito Alto” em até 19% (Tetto *et al.*, 2010).

A escala do grau de perigo de incêndio é dada seguindo o valor da FMA calculada, ou seja, quanto maior o valor do Índice de Monte Alegre (IMA), maior também será o grau de perigo de incêndio (Tabela 3).

Tabela 3 – Escala do grau de perigo pelo Índice de Monte Alegre (IMA).

Valor de IMA	Grau de perigo
≤ 1,0	Nulo
1,1 a 3,0	Pequeno
3,1 a 8,0	Médio
8,1 a 20,0	Alto
≥ 20,0	Muito Alto

Resultados e Discussão

Acre

Os acumulados médios mensais de precipitação pluviométrica (Figura 3A), médias

mensais de umidade relativa do ar (Figura 3B) e médias mensais do IMA (Figura 3C) para as estações localizadas em municípios do estado do Acre são mostrados a seguir. A área hachurada indica o intervalo de confiança de 95% dos dados.

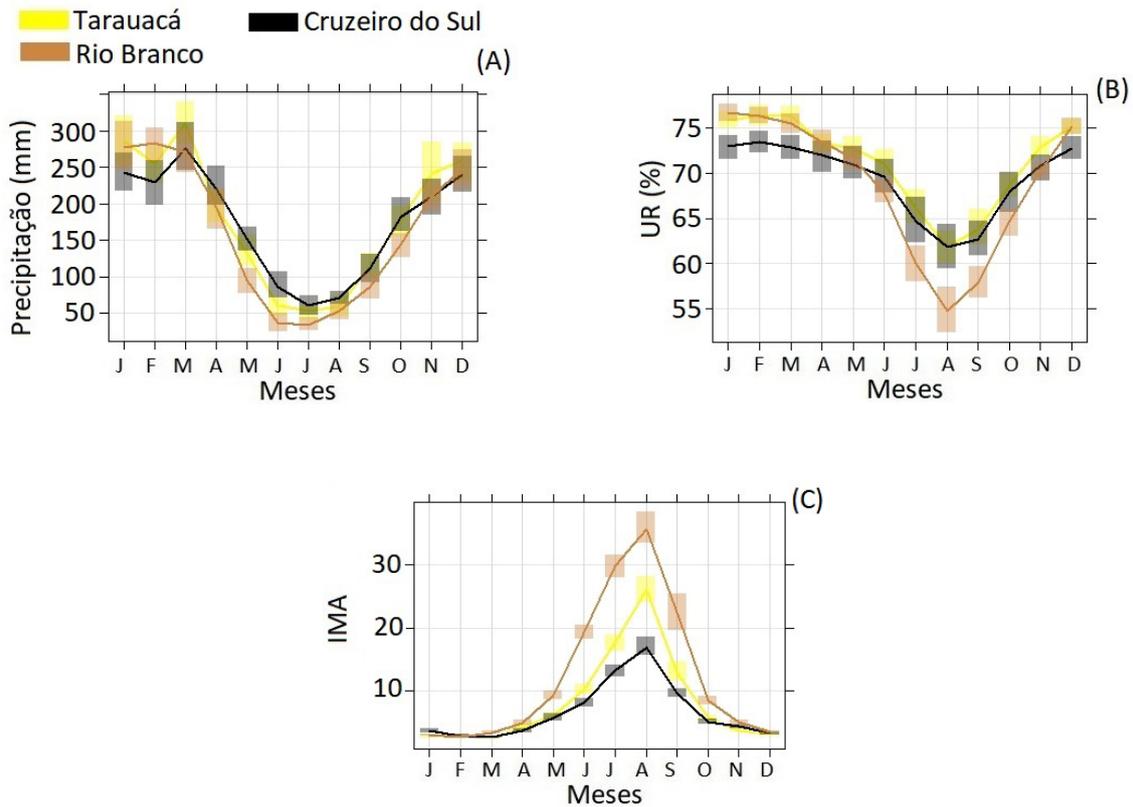


Figura 3 – A) Médias dos acumulados mensais de precipitação; B) médias mensais e umidade relativa do ar; e C) médias mensais do Índice de Monte Alegre para as estações do Acre.

Os meses de janeiro a março são mais chuvosos na região, sendo o período seco (acumulados médios inferiores a 100mm) caracterizado pelos meses de junho a agosto, padrão que a umidade relativa do ar, o que está de acordo com a climatologia da região (Gomes *et al.*, 2018; Duarte, 2006). Há uma associação positiva entre os menores valores de IMA (o que indica risco nulo/pequeno) e os maiores valores de precipitação mensal entre janeiro e março, assim como os maiores valores de IMA estão associados com os meses menos chuvosos.

Analisando os riscos da ocorrência de incêndios florestais pela FMA e outros índices com dados meteorológicos observados e estimados por satélite para o estado do Acre, Silva *et al.* (2011) encontraram padrões sazonais semelhantes. Os baixos valores do IMA nos meses iniciais e finais do ano estão associados com os elevados acumulados mensais de precipitação nestes meses, que fazem parte da época das chuvas onde os mecanismos convectivos de formação de nuvens funciona com grande eficiência, além do mecanismo do

transporte de umidade a partir da evaporação no Oceano Atlântico e da evapotranspiração na Floresta Amazônica, onde nesta época abundam os cúmulos de grande desenvolvimento horizontal e vertical (Duarte, 2006). O risco muito alto ($IMA \geq 20,0$) de incêndios ocorre nas estações de Rio Branco (de junho a setembro) e Tarauacá (agosto). A estação de Cruzeiro do Sul se mostrou mais úmida entre as três nos períodos mais secos do ano, o que faz com que não atinja o risco de incêndio muito alto, embora acompanhe a sazonalidade das demais.

Amapá

Os acumulados médios mensais de precipitação pluviométrica (Figura 4A), médias mensais de umidade relativa do ar (Figura 4B) e médias mensais do IMA (Figura 4C) para a estação localizada no estado do Amapá são mostrados a seguir. A área hachurada indica o intervalo de confiança de 95% dos dados.

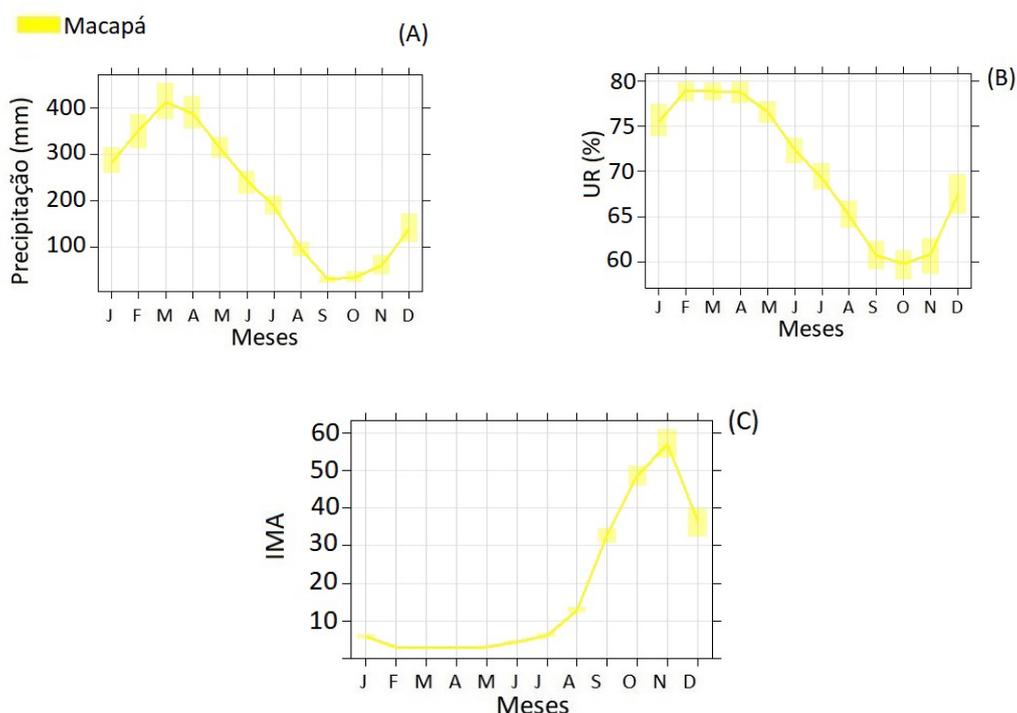


Figura 4 – A) Médias dos acumulados mensais de precipitação; B) médias mensais e umidade relativa do ar; e C) médias mensais do Índice de Monte Alegre para as estações do Amapá.

Os acumulados de precipitação mostram tendência de aumento de janeiro a março, com totais pluviométricos na ordem dos 400mm, o que corresponde a cerca de metade dos acumulados que ocorrem na região litorânea do estado (Tavares, 2014), padrão acompanhado pela umidade relativa do ar. A partir de abril a precipitação tem diminuição abrupta que se estende até o mês de setembro, onde o trimestre SON corresponde ao menos chuvoso da região com acumulados inferiores a 100mm, resultado da migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) mais ao norte sobre o oceano atlântico (em torno de 10°N), sendo que sem a presença de sistemas meteorológicos de grande escala, o estado do Amapá é influenciado unicamente por forçantes termodinâmicas, que provocam somente pancadas de chuva de curta duração e não ocasionam grandes volumes de chuva (de Souza & Cunha, 2010). Esta redução acentuada da precipitação e da umidade relativa do ar faz com que o IMA varie de pequeno a médio (entre 1,0 e 8,0) da janeiro a julho e passe para muito alto ($IMA \geq 20,0$) a partir do mês de agosto.

Amazonas

Os acumulados médios mensais de precipitação pluviométrica (Figura 5A), médias mensais de umidade relativa do ar (Figura 5B) e médias mensais do IMA (Figura 5C) para as estações localizadas no estado do Amazonas são mostrados a seguir. A área hachurada indica o intervalo de confiança de 95% dos dados.

Com uma extensa área e ocupando a 1ª posição do ranking de maior estado brasileiro em extensão territorial, o Amazonas possui grupos de cidades com diferentes climatologias (Gomes *et al.*, 2018). Estações situadas na região mais a noroeste do estado, como São Gabriel da Cachoeira, Iauaretê e Fonte Boa possuem os maiores totais pluviométricos durante a estação chuvosa da região (janeiro a maio), sendo que nestas cidades, mesmo durante a estação menos chuvosa (junho a outubro) a umidade relativa do ar ainda se mantém muito elevada (acima dos 75%), enquanto outras cidades com menores totais pluviométricos (Parintins, Manaus, Manicoré) situadas na porção mais a leste do estado apresentam valores de umidade relativa entre 60 a 65% no mês de outubro.

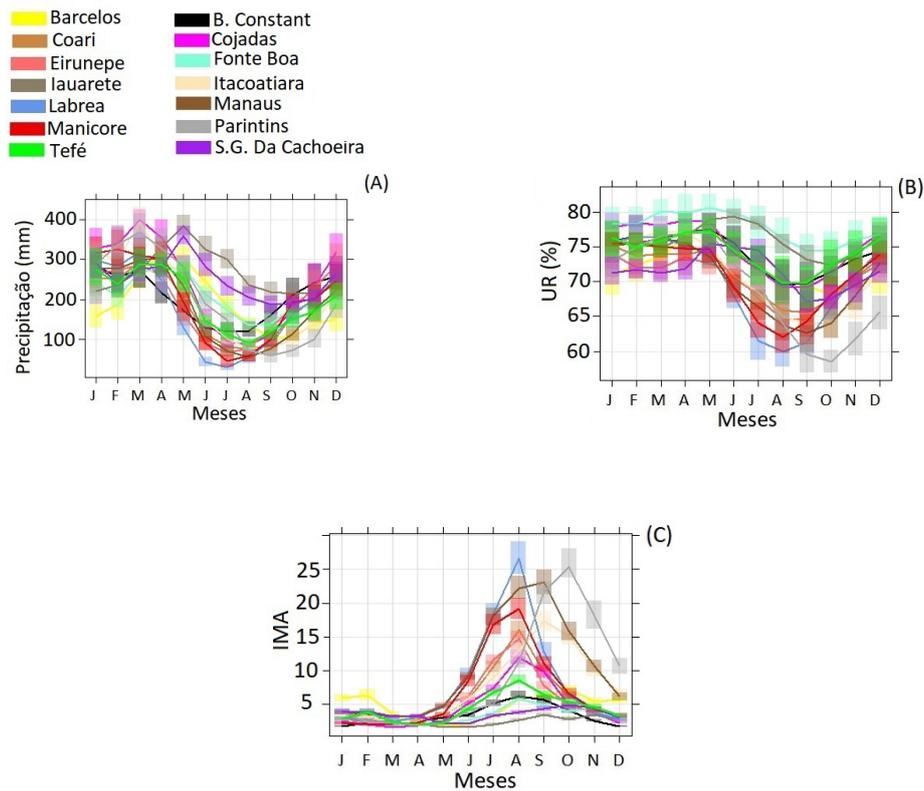


Figura 5 – A) Médias dos acumulados mensais de precipitação; B) médias mensais e umidade relativa do ar; e C) médias mensais do Índice de Monte Alegre para as estações do Amazonas.

Os elevados valores de precipitação anual da porção noroeste do estado (acima de 3000mm anuais) está associada à convergência de fluxo de umidade de leste em baixos níveis, provavelmente resultado da presença e da concavidade dos Andes a oeste daquela máxima precipitação (Nobre, 1983).

Em comum, as cidades com maiores totais pluviométricos estão situadas em regiões mais altas do estado (entre 101 e 150m), enquanto as menos úmidas se localizam em área mais baixa (entre 13 a 50m), o que faz com que se tenha diferentes fisionomias vegetais entre as regiões, classificadas como áreas de Campinarana (onde se situam São Gabriel da Cachoeira, Iauaretê e Fonte Boa) e área de floresta ombrófila densa (onde se situam Parintins, Manaus, Manicoré), correspondendo as áreas fisionômicas dominantes no estado (Alves *et al.*, 2019).

Esses fatores fazem com que as regiões onde as estações estão localizadas possuam diferentes

classificações climáticas quanto a classificação climática de Köppen (1936): Af (clima equatorial, com precipitação média de pelo menos 60mm em cada mês) na região de São Gabriel da Cachoeira, Iauaretê, Fonte Boa e Am (clima tropical de monção, apresenta um mês mais seco com precipitação inferior a 60mm) para a área de Parintins, Manaus, Manicoré, sendo que três cidades atingem o IMA muito alto (Lábrea, Parintins e Manaus) entre os meses de agosto e outubro.

Pará

Os acumulados médios mensais de precipitação pluviométrica (Figura 6A), médias mensais de umidade relativa do ar (Figura 6B) e médias mensais do IMA (Figura 6C) para as estações localizadas no estado do Pará são mostrados a seguir. A área hachurada indica o intervalo de confiança de 95% dos dados.

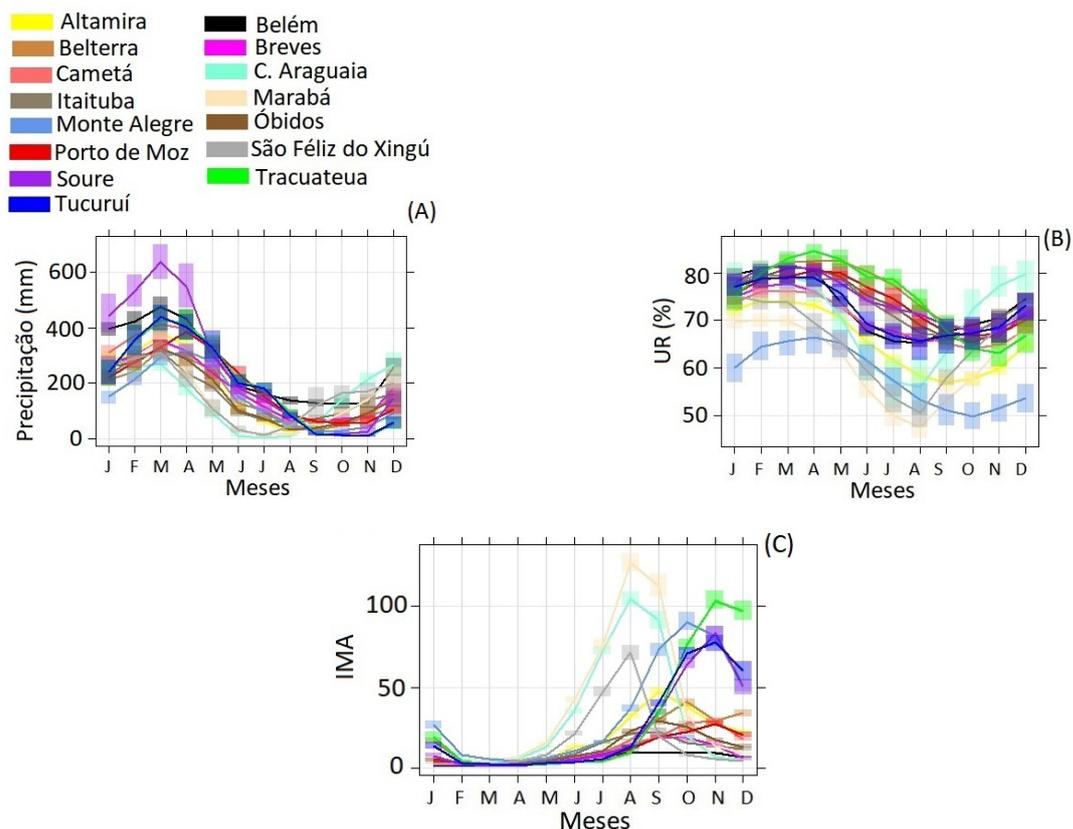


Figura 6 – A) Médias dos acumulados mensais de precipitação; B) médias mensais e umidade relativa do ar; e C) médias mensais do Índice de Monte Alegre para as estações do Pará.

Assim como o Amazonas, o Pará também possui grande extensão territorial e apresenta diferentes regimes de precipitação e umidade relativa entre suas cidades. Soure, Belém, Cametá, Tucuruí e Traquateua apresentam os maiores índices pluviométricos nos meses da estação chuvosa (entre janeiro e abril), enquanto Conceição do Araguaia, São Felix do Xingu e Marabá apresentam meses com pluviosidade próxima de 0mm nos meses mais secos (junho a agosto), padrão acompanhado pela umidade relativa do ar. Mesmo com pluviosidade alta nos primeiros meses do ano, Traquateua tem um dos menores índices de umidade relativa do ar no mês de novembro, acompanhado pelo mínimo de precipitação que ocorre no mês de outubro. Estes padrões influenciam diretamente no IMA das cidades, que mostra 3 cidades (Marabá, Conceição do Araguaia, São Félix do Xingu) com IMA > 50 no mês de agosto, e 4 cidades (Traquateua, Monte Alegre, Soure e Tucuruí) com IMA > 50 entre os meses de outubro e novembro.

Estas particularidades quanto a ocorrência do máximo do IMA para as cidades está direta-

mente ligada aos seus padrões climáticos, uma vez que Soure, Belém, Cametá e Tucuruí estão localizadas em uma região com característica de clima Af (Peel, 2007), Traquateua está em uma zona de transição de clima Am para Aw Af (Peel, 2007), enquanto Marabá, Conceição do Araguaia, São Félix do Xingu se localizam em uma porção geográfica dominada por clima Aw, que representa clima de savana onde o mês mais seco possui precipitação inferior a 60mm.

Roraima

Os acumulados médios mensais de precipitação pluviométrica (Figura 7A), médias mensais de umidade relativa do ar (Figura 7B) e médias mensais do IMA (Figura 7C) para as estações localizadas no estado de Roraima são mostrados a seguir. A área hachurada indica o intervalo de confiança de 95% dos dados.

Apesar de serem municípios próximos e terem padrão sazonal de precipitação semelhante, o mesmo não acontece com os índices de umidade relativa e de IMA entre as cidades de Boa Vista

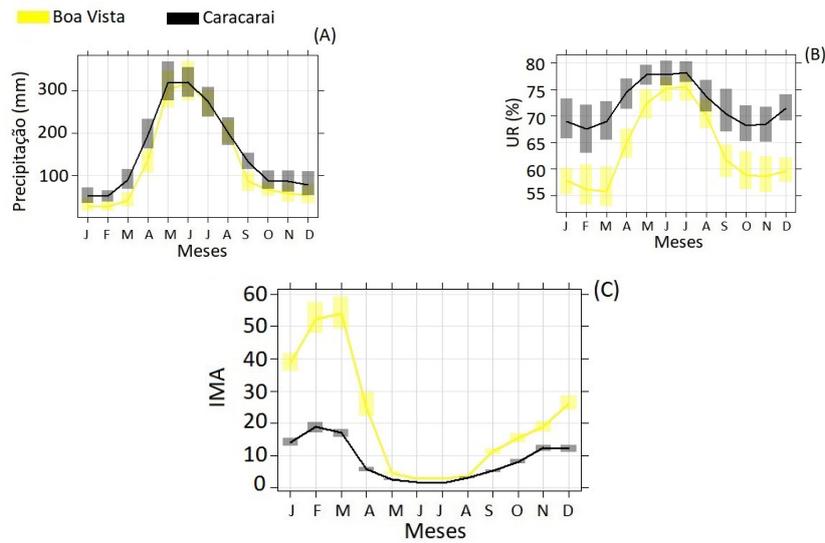


Figura 7 – A) Médias dos acumulados mensais de precipitação; B) médias mensais e umidade relativa do ar; e C) médias mensais do Índice de Monte Alegre para as estações de Roraima.

e Caracaraí. O município de boa vista é muito mais seco, podendo atingir valores abaixo de 55% de umidade relativa do ar nos meses menos chuvosos (janeiro, fevereiro e março) enquanto Caracaraí pode apresentar valores acima de 70% no mesmo período. Por se situarem no hemisfério Norte, os padrões de precipitação são bastante diferentes dos demais estados da região, com máximos ocorrendo nos meses de maio e junho, e os mínimos entre janeiro de março. As cidades se localizam em uma área de transição entre os climas Am e Aw (Peel, 2007), a cidade de Boa Vista está inserida em uma região dominada por vegetação de savana, enquanto Caracaraí se

encontra majoritariamente em área de floresta ombrófila densa (Barbosa & Lima, 2008), o que explica Caracaraí não atingir níveis de IMA acima de 20,0 (muito alto), enquanto boa vista alcança valores de IMA > 50 no mês de março.

Tocantins

Os acumulados médios mensais de precipitação pluviométrica (Figura 8A), médias mensais de umidade relativa do ar (Figura 8B) e médias mensais do IMA (Figura 8C) para as estações localizadas no estado do Tocantins são mostrados a seguir. A área hachurada indica o intervalo de confiança de 95% dos dados.

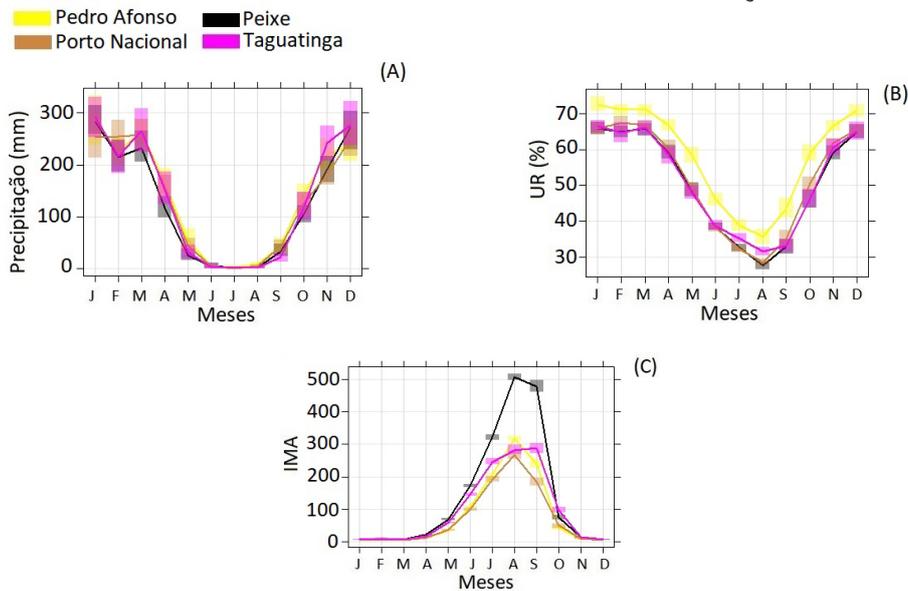


Figura 8 – Médias mensais de precipitação e Fórmula de Monte Alegre (FMA) das estações do Tocantins.

Diferente dos demais estados da região Norte, o Tocantins está inserido em uma área de clima Aw (Peel, 2007), caracterizado por um clima savânico, além de sua cobertura vegetal ser majoritariamente áreas de cerrado/cerradão, muito menos úmidas que áreas de floresta de terra firme encontradas na Amazônia (Costa, 2015). Os quatro municípios analisados situam-se na porção centro-sul do estado, seus meses menos chuvosos podem apresentar valores de 0mm durante todo o período, motivo pelo qual os valores de IMA são os maiores de todos os estados, ultrapassando o limiar de risco “Muito Alto” ($IMA \geq 20,0$) desde o mês de abril até o mês de outubro, com o máximo de IMA no mês de agosto, acompanhando os mínimos de umidade relativa das cidades.

Considerações gerais sobre a sazonalidade do Risco de incêndios florestais através do IMA para a região Norte

Com base nos resultados sobre a sazonalidade do risco de ocorrência de incêndios através da análise do índice de Monte Alegre, é possível se montar um calendário anual para as cidades, levando em consideração o IMA de risco “Alto” e “Muito Alto”:

Acre

Risco Alto: meses de maio, junho e outubro para Rio Branco; meses de junho, julho, agosto e setembro para Cruzeiro do Sul e meses de junho, julho e setembro para Tarauacá.

Risco Muito Alto: meses de julho, agosto e setembro para Rio Branco e mês de agosto para Tarauacá.

Amapá

Risco Alto: meses de julho e agosto para Macapá.

Risco Muito Alto: meses de setembro, outubro, novembro e dezembro para Macapá.

Amazonas

Risco Alto: mês de julho para Lábrea, Manicoré e Manaus; Mês de Agosto para Cojadas, Itacoatiara, Coari, Itacoatiara, Eirunepe e Manicoré; mês de setembro para Cojadas, Coari, Itacoatiara, Manicoré e Lábrea;

mês de outubro para Manaus e Itacoatiara; mês de novembro para Manaus, Itacoatiara e Parintins e mês de dezembro para Parintins.

Risco Muito Alto: mês de agosto para Lábrea e Manaus; mês de setembro para Parintins e Manaus e mês de outubro para Parintins.

Pará

Risco Alto: meses de janeiro, julho e agosto para Soure; meses de janeiro, maio, junho e julho para Altamira; meses de agosto a novembro para Belém; meses de janeiro, junho, julho e agosto para Belterra; meses de junho a novembro para Breves; meses de junho, julho, agosto, setembro e dezembro para Cametá; mês de maio para Conceição do Araguaia; meses de junho, julho, outubro, novembro e dezembro para Itaituba; meses de maio, novembro e dezembro para Marabá; meses de fevereiro, maio junho e julho para Monte Alegre; meses de julho, novembro e dezembro para Óbidos; meses de agosto e setembro para Porto de Moz; meses de maio e outubro para São Félix do Xingu; meses de janeiro, junho, julho e agosto para Soure; meses de janeiro e agosto para Traquateua; meses de janeiro, julho e agosto para Tucuruí.

Risco Muito Alto: meses de agosto a dezembro para Altamira; meses de setembro a dezembro para Belterra; meses de outubro e novembro para Cametá; meses de junho a outubro para Conceição do Araguaia; meses de agosto e setembro para Itaituba; meses de junho a outubro para Marabá; meses de janeiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro para Monte Alegre; meses de agosto a outubro para Óbidos; meses de outubro a dezembro para Porto de Moz; meses de junho a setembro para São Félix do Xingu; meses de setembro a dezembro para Soure; meses de setembro a dezembro para Traquateua; meses de setembro a dezembro para Tucuruí.

Roraima

Risco Alto: meses de janeiro a abril e setembro a dezembro para Caracaraí; meses de maio a novembro para Boa Vista.

Risco Muito Alto: meses de janeiro a abril e mês de dezembro para Boa Vista.

Tocantins

Risco Alto: mês de novembro para Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional e Taguatinga.

Risco Muito Alto: meses de abril a outubro para Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional e Taguatinga.

Conclusões

Existe grande sazonalidade do risco de ocorrência de incêndios nas estações localizadas na região Norte indicado pela Fórmula de Monte Alegre. Foi possível identificar os meses com risco “Alto” e “Muito Alto” para as cidades, associando estas ocorrências com os padrões climatológicos que controlam as chuvas locais (tipos de clima pela classificação de Koppen; fisionomias vegetais predominantes nos locais; ações de indução de chuvas por convecção local), que esteve geralmente associada com as variações do IMA (meses mais chuvosos e mais úmidos associados a menores valores de IMA, meses menos chuvosos e mais secos associados a maiores valores de IMA). O estado do Tocantins, por se localizar em uma região de clima savânico, com predominância de áreas de cerrado e cerradão, mostra as cidades com maiores valores de IMA da série. As informações neste artigo geradas permitirão que a administração municipal, estadual e a comunidade possam contribuir efetivamente para previsão, prevenção e controle de incêndios florestais nos municípios estudados.

Agradecimentos

A primeira autora agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA) pela concessão de bolsa de iniciação científica durante a realização do trabalho. Os autores agradecem aos avaliadores pelas valiosas contribuições na melhoria do artigo.

Referências

Álvarez CA, Cegatta IR, Vieira LAA, Pavani RF, Mattos EMDM, Sentelhas PC, Stape JL & Soares RV. Perigo de incêndio florestal: aplicação da Fórmula de Monte Alegre e avaliação do histórico para Piracicaba, SP. *Sci. For. Piracicaba*, 42(104): 511-522, 2014.

Alves KMAS & Nóbrega RS. Uso de dados climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal. *Mercator, Fortaleza*, 10(22): 209-219, 2011.

Alves RC, Tres A, Soares RV, Wendling WT & Tetto AF. Classificação climática para o estado do Amazonas segundo as zonas de vida de Holdridge. *Amazonian Journal Of Agricultural And Environmental Sciences/ Revista de Ciências Agrárias*, 62: 1-12, 2019.

Barbosa RI & Lima CGB. Notas sobre a diversidade de plantas e fitofisionomias em Roraima através do banco de dados do herbário INPA. *Amazônia: Ciência. & Desenvolvimento*. 4(7): 131-154, 2008.

Batista AC. Detecção de incêndios florestais por satélites. Universidade Federal do Paraná/PR, 2013. Disponível em: <www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo16.pdf> Acesso em: 21/07/2017.

BDMEP. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/mapaEstacoes>> Acesso em: 17/09/2016.

Borges TS, Fiedler NC, Santos AR, Loureiro EB & Mafia RG. Desempenho de Alguns Índices de Risco de Incêndios em Plantios de Eucalipto no Norte do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente* 2011, 18(2): 153-159.

Casavecchia BH, Souza AP & Stangerlin DH. Análise dos riscos de ocorrência de incêndios florestais no município de Sinop/MT, 2011. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/recursos-florestais/areas-tematicas>> Acesso em: 20/12/2017.

Costa GB. Fluxos de energia, CO₂ e CH₄ sobre a floresta em planície de inundação da ilha do Bananal. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 142p. 2015.

De Souza EB & Cunha AC. Climatologia de precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. In: *Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do projeto REMETAP no Estado do Amapá*. IEPA. Cap. 10, p. 177, 2010.

Duarte AF. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971 - 2000. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21: 308-317, 2006.

Gomes ACS, Costa GB, Silva JT, Coutinho MDL, Costa MS & Fitzjarrald DR. Seca e a saúde das populações residentes em regiões da Amazônia Brasileira nos anos de 2005, 2010 e 2015. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23: 289-306, 2018.

Nobre CA. The Amazon and climate, paper presented at climate Conference for Latin America and The Caribbean, WMO, Paipa, Colombia, 1983.

Nunes JRS, Soares RV & Batista AC. FMA+ – um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil. *Floresta, Curitiba*, 36(1): 75-91, 2006.



Peel MC, Finlayson BL & McMahon TA. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 4: 439-473. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.

Pereira AR, Angelocci LR & Sentelhas PC. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária. 478p. 2002.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017.

Silva IDB & Pontes Júnior ACFP. Elaboração de um Fator de Risco de Incêndios Florestais utilizando Lógica Fuzzy. *BIOMATEMÁTICA (UNICAMP)*, 21: 113-128, 2011.

Soares RV. Índices de perigo de incêndio. *Revista Floresta*, 3(3): 19-40, 1972.

Tavares JPN. Características da Climatologia de Macapá/AP. *Caminhos de Geografia (UFU)*, 15: 138-151, 2014.

Tetto AF, Batista AC, Soares RV & Nunes JRS. Comportamento e ajuste da Fórmula de Monte Alegre, na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. *Scientia Forestalis (IPEF)*, 38: 409-417, 2010.

Torres FTP & Ribeiro GA. Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG. *Seropédica: Floresta e Ambiente*, 15(2): 30-39, 2008.

Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.

Edição Temática: Análise de Componentes do Sistema Climático e a Biodiversidade no Brasil

n. 4, 2021

<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886