

Universidade Federal do Rio de Janeiro

IMPACTO DAS QUEIMADAS NA SAÚDE HUMANA
DURANTE EVENTOS DE SECA NA AMAZÔNIA: ANÁLISE
EM PORTO VELHO-RO.

Thiago Felipe Melo de Lima

2018

Impacto das queimadas na saúde humana durante eventos de seca na Amazônia:
análise em Porto Velho-RO.

Thiago Felipe Melo de Lima

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador (a): Prof. (a) Dra. Renata Libonati dos Santos

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França.

Rio de Janeiro
Junho de 2018

IMPACTO DAS QUEIMADAS NA SAÚDE HUMANA DURANTE EVENTOS DE
SECA NA AMAZÔNIA: ANÁLISE EM PORTO VELHO-RO.

Thiago Felipe Melo de Lima

QUALIFICAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM METEOROLOGIA.

Examinada por:

Profa. Dra. Renata Libonati dos Santos

Nome do Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França.

Nome do(a) Prof(a). (Co-orientador ou não)
(Deve ser membro externo do PPGM, não orientador)

Nome do(a) Prof(a). (não orientador(a))
(Deve ser membro interno ou externo do PPGM)

Nome do(a) Prof(a). (não orientador(a))
(Deve ser membro interno do PPGM)

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

Junho de 2018

Lima, Thiago

Impacto das queimadas na saúde humana durante eventos de seca na Amazônia: análise em Porto Velho-RO.

Thiago Felipe Melo de Lima – Rio de Janeiro: UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN, 2018.

XXII, 132 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França

Prof(a). Dra. Renata Libonati dos Santos.

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN

Programa de Pós-graduação Meteorologia, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 62-75.

1. Queimadas. 2. Doenças respiratórias. 3. Secas na Amazônia. I. Lima, Thiago. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGM/IGEO/CCMN, Programa de Pós-graduação em Meteorologia. III. Impacto das queimadas na saúde humana durante eventos de seca na Amazônia: análise em Porto Velho-RO.

Resumo da dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

IMPACTO DAS QUEIMADAS NA SAÚDE HUMANA DURANTE EVENTOS DE SECA NA AMAZÔNIA: ANÁLISE EM PORTO VELHO-RO.

Thiago Felipe Melo de Lima

Junho/2018

Orientadores: Prof(a). Dra. Renata Libonati dos Santos
Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França

Programa de Pós-graduação em Meteorologia

Muitos estudos epidemiológicos relacionam as queimadas com as Doenças do Aparelho Respiratório (DAR), especialmente na Amazônia brasileira. Este trabalho, utilizando dados de sensoriamento remoto, de estações meteorológicas e do Banco do Sistema Único de Saúde (DATASUS), tem por objetivo analisar a relação entre as queimadas e as DAR durante os anos de 2005, 2010 e 2015 classificados como anos de secas extremas na Bacia Amazônica. Os dados meteorológicos foram obtidos do banco da Força Aérea Brasileira (ICEA), os dados de internações do banco do Sistema Único de Saúde (DATASUS) e os dados de focos de calor e área queimada do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O uso de ferramentas estatísticas possibilitou um estudo descritivo mais detalhado. Foram analisadas as variações sazonais e interanuais através da correlação de Pearson e do cálculo das anomalias padronizadas. Os resultados mostram que o ano de 2005 notabilizou um aumento de 47% na taxa anual de internações por asma, com aumento acima de 24% para o trimestre julho-agosto-setembro. Em 2010 ocorreu um aumento de 3% na taxa anual de internações por bronquite, alcançando 159% de aumento no trimestre agosto-setembro-outubro. Em 2015, ocorreu um crescimento de 15% nas taxas anuais de internações por doenças do aparelho respiratório para os menores de 15 anos (DAR < 15) e de 38% nas doenças do aparelho respiratório para os maiores de 60 anos (DAR > 60), com aumento acima de 9% e 30% em todos os trimestres analisados respectivamente.

Palavras chave: (queimadas, doenças respiratórias, secas na Amazônia)

Abstract presented to PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

IMPACT OF FIRES ON HUMAN HEALTH DURING DROUGHT EVENTS IN THE AMAZON: ANALYSIS IN PORTO VELHO-RO.

Thiago Felipe Melo de Lima

June/2018

Advisors: Prof(a). Dra. Renata Libonati dos Santos

Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França

Department: Meteorology

Many epidemiological studies relating the biomass burning with respiratory diseases (DAR), especially in the Brazilian Amazon. This work, using remote sensing data, meteorological stations and the Bank of the Unified Health System (DATASUS), aims to examine the relationship between the biomass burning activities and DAR during the years of 2005, 2010 and 2015 classified as years of drought extremes in the Amazon basin. The meteorological data were obtained from the Bank of the Brazilian Air Force (ICEA), hospitalization data from the DATASUS and the hotspots and burned area data from the National Institute for Space Research (INPE). The use of statistical tools, allow a more detailed descriptive study. Seasonal variations were analyzed and inter-annual through Pearson correlation and calculation of the standardized anomalies. The results show that the year of 2005 was a 47% increase in the annual rate of hospitalization for asthma, with increased above 24% for the months of July-August-September. In 2010 there was a 3% increase in the annual rate of hospitalization for bronchitis, reaching 159% increase in quarter August-September-October. In 2015, there was a 15% growth in annual rates of hospitalization for respiratory diseases for children under 15 years (< 15) and 38% in the respiratory diseases for over 60 years (> 60), with an increase of 9% and above 30% in all the analyzed quarters respectively.

Key words: (fires; respiratory diseases; droughts in Amazon)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Focos de calor na América do Sul.....	13
Figura 2 – Mapa físico do estado de Rondônia.....	24
Figura 3 – Série temporal: precipitação e umidade relativa.....	26
Figura 4 – Série temporal: temperatura e amplitude térmica.....	26
Figura 5 – Análise intra-anual das variáveis meteorológicas.....	33
Figura 6 – Distribuição espacial dos focos de calor.....	38
Figura 7 – Distribuição espacial da área queimada.....	39
Figura 8 – Análise sazonal dos indicadores de saúde.....	42
Figura 9 – Variação interanual.....	44
Figura 10 – Variação interanual do trimestre JAS.....	47
Figura 11 – Gráficos de dispersão do trimestre JAS.....	51
Figura 12 – Gráficos de ocorrência de fumaça.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos econômico das queimadas na Amazônia.....	15
Tabela 2 – Dados demográficos de Porto Velho.....	24
Tabela 3 – Resumo da aquisição dos dados.....	27
Tabela 4 – Classificação do trimestre JAS.....	44
Tabela 5 – Matrix de correlação.....	55
Tabela 6 – Variação percentual.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASO	Trimestre: agosto, setembro e outubro
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BA	Bacia Amazônica
BDC	Banco de Dados Climatológicos
CID-10	Classificação Internacional de Doenças
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DAR	Doenças do aparelho respiratório
DAR < 15	Doenças do aparelho respiratório para a população com idade inferior a 15 anos
DAR > 60	Doenças do aparelho respiratório para a população com idade superior a 60 anos
DATASUS	Banco de dados do Sistema Único de Saúde
DP	Desvio padrão
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
EOS	Earth Observatory System
ESA	European Space Agency
FAB	Força Aérea Brasileira
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Proteção da Amazônia
JAS	Trimestre: julho, agosto e setembro
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectrometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration

OMS	Organização Mundial da Saúde
OND	Trimestre: outubro, novembro e dezembro
PM _{2,5}	Material particulado 2,5 µm (Particulate matter 2.5 µm)
PM ₁₀	Material particulado 10 µm (Particulate matter 10 µm)
SISCEAB	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
SIS/SUS	Sistema de Internações Hospitalares do Sistema Único de Saúde
SUS	Sistema Único de Saúde

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	11
1.1 - Objetivo geral	17
1.2 - Objetivos específicos	17
2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3 - METODOLOGIA.....	23
3.1 - Local de estudo.....	23
3.2 - Aquisição dos dados	26
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 – Análise intra-anual	32
4.2 – Análise interanual	Erro! Indicador não definido.
4.3 – Classificação através da precipitação	Erro! Indicador não definido.
4.4 – Análise sobre a ocorrência de fumaça	Erro! Indicador não definido.
5 – CONCLUSÕES.....	Erro! Indicador não definido.
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	Erro! Indicador não definido.

1- INTRODUÇÃO

O desmatamento é um problema crônico na região amazônica e sua intensidade varia anualmente. Seu padrão parece seguir de acordo com estímulos econômicos como: construção de rodovias, substituição da floresta por pastagens, extração de minérios, assentamentos humanos em função do crescimento populacional da região (Fearnside, 2006), etc. Uma das formas mais eficientes de desflorestamento é a utilização de queimadas, estas causam alterações no uso do solo e lançam significativas quantidades de aerossóis na atmosfera. Algumas dessas partículas causam danos ao ecossistema, aos seres vivos e ao clima da região amazônica (Artaxo et al., 2005).

A prolongada exposição aos aerossóis, especialmente o material particulado 2,5 (PM_{2,5}), material considerado fino com diâmetro menor que 2,5 µm, geralmente formado por poeira, metais e partículas oriundas de queimadas é nociva a saúde humana. Nos meses mais secos, quando ocorre o maior número de queimadas, essa exposição se intensifica. No contexto amazônico, os níveis pluviométricos diminuem durante um período de inverno gerando grandes inconvenientes para os habitantes da região (Carmo et al., 2010).

Como mostrado na Figura 1, o problema dos poluentes emitidos por uma queimada não se restringe ao local onde ela ocorre, podendo estender-se por municípios, estados e até países vizinhos. Nesta imagem de satélite, adquirida do Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) do satélite AQUA da NASA no dia 7 de agosto de 2010, podemos ver a parte sudoeste da floresta amazônica, na parte superior está o rio Madeira que corta a cidade de Porto Velho. Podemos ver inúmeros focos no estado de Rondônia e Mato Grosso e a fumaça relativa a tais queimadas se estendendo de acordo com o vento a quilômetros de distância do ponto de origem do fogo. O ano de 2010 foi um ano, como os resultados revelarão atípico, com níveis de precipitação e umidade relativa (UR) abaixo da média e quantidade de focos de calor e área queimada acima da média na Amazônia.

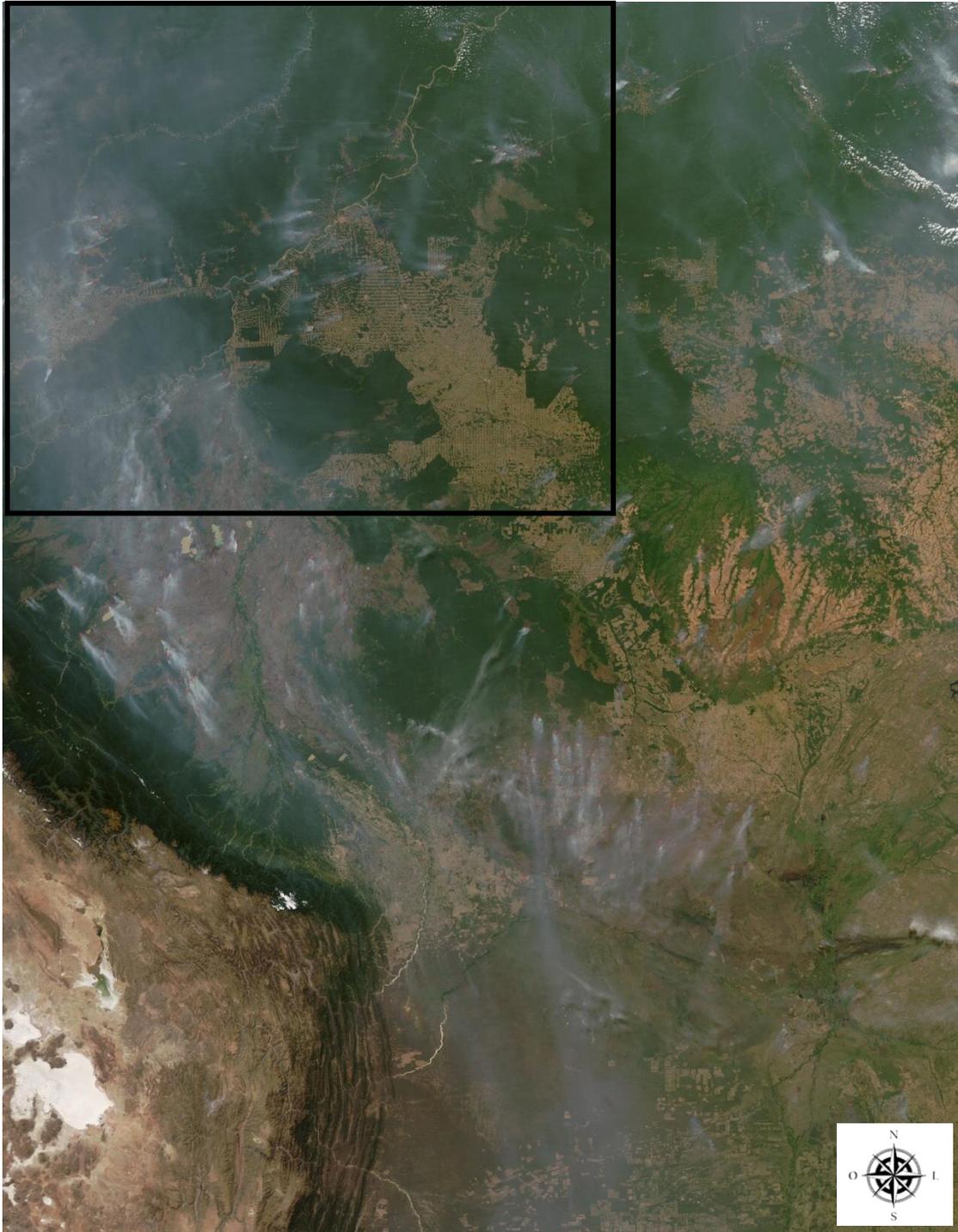


Figura 1. Focos de calor do sensor MODIS do satélite Aqua da NASA na região central da América do Sul. EARTH OBSERVATORY. Disponível em: Acesso em: 29 setembro de 2016. <http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/45000/45272/brazil_amo_2010219_lrg.jpg>.

Nas diversas regiões do planeta que apresentam esse problema, é possível encontrar trabalhos utilizando séries temporais na tentativa de relacionar os efeitos

das queimadas sobre a saúde da população local. Podemos citar os trabalhos de Hanigan et al. (2008) na cidade de Darwin, Austrália; Qiu et al. (2012) em Hong Kong; Tecer et al. (2008) na Turquia; Mar et al. (2006) e Dominici et al. (2006) nos Estados Unidos. No Brasil, pesquisadores já avaliaram a situação da região amazônica, como exemplo: Castro et al. (2009), Silva et al. (2013) e Aragão et al. (2016); e também a região canavieira do estado de São Paulo (Ribeiro e Assunção, 2002), onde também ocorrem grandes quantidades de queimadas para 'limpar' o terreno para novos plantios. Neste trabalho é apresentada uma análise para o município de Porto Velho, estado de Rondônia (RO) na região sudoeste da Amazônia brasileira.

Dentre os principais poluentes emitidos pelas queimadas estão o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), água e partículas orgânicas como: o material particulado com diâmetro até 10 µm (PM₁₀) e o material particulado com diâmetro até 2,5 µm (PM_{2,5}). Esses últimos, mais relacionados as doenças do aparelho respiratório (DAR) (Silva et al., 2013). Segundo Donaldson et al. (2001), somente o PM_{2,5} é responsável por cerca de dois terços de toda a quantidade de material emitido por uma queimada.

Em períodos de secas mais severas, doenças como asma e bronquite podem ser potencializadas, exigindo longos tratamentos que oneram os serviços de saúde. A Tabela 1, adaptada de Mendonça et al. (2004) mostra o custo econômico decorrente das queimadas como perdas na agricultura, as DAR, as perdas florestais e as emissões de CO₂ para a região amazônica no período 1996-1999. Tais perdas anuais representam em média entre US\$ 90 e US\$ 5055 (em milhões de dólares), no melhor cenário 0,2 % e no pior 9% do PIB da região, valor significativo para um único problema a ser estudado.

Tabela 1. Resumo do custo econômico das queimadas na Amazônia brasileira (em milhões de dólares). Adaptada de MENDONÇA et al. (2004)

Ano	Perdas		Doenças		Perdas florestais	Emissões de CO2		Total	
	Agricultura		Respiratórias			Min	Max	Min	Max
	Min	Max	Min	Max					
1996	9	19	1	3	1	10	572	20	594
1997	18	33	1	5	-	-	-	-	-
1998	31	60	3	10	13	126	9446	160	9516
1999	27	54	3	11	-	-	-	-	-
Média								90	5055

Adicionado as queimadas, a quantidade e a intensidade de eventos de seca extrema tem aumentado na região (Gloor et al., 2013; Marengo et al., 2016). É possível afirmar que a produtividade florestal é reduzida durante as secas, elevando a mortalidade das árvores e a perda de folhagem (Phillips et al., 2009). Esses processos conduzem a um aumento da abertura do dossel e, como resultado um aumento na radiação solar incidente e nas temperaturas no interior do dossel, que aceleram o secamento do material orgânico acumulado sobre o terreno (Aragão et al., 2016b). Por consequência, florestas sujeitas a tais eventos, tornam-se mais vulneráveis às queimadas. A vulnerabilidade florestal e a probabilidade de queimadas podem intensificar-se devido à interação entre secas e degradação, incluindo desmatamento, corte seletivo e efeitos de borda (Uhl e Kauffman, 1990; Cochrane et al., 1999; Cochrane e Schulze, 1999; Barlow e Peres, 2004; Nepstad et al., 2004). Por fim, grandes espaços desmatados (Laurance e Williamson, 2001; Laurance et al., 2002; Nobre et al., 1991; Silva Dias et al., 2005; Costa et al., 2007) somados a fumaça proveniente das queimadas (Rosenfeld, 1999; Ackerman et al., 2000; Artaxo et al., 2005) podem atenuar os níveis de precipitação regionais. Um ciclo de retroalimentação positiva entre secas e queimadas é ocasionado pelos mecanismos acima descritos. A floresta Amazônica, em especial, tem sua vulnerabilidade potencializada devido a este ciclo (Aragão et al., 2016b).

Durante o século XX, foram registrados cerca de dez eventos de secas extremas na Amazônia, a saber: 1906 (Sombroek, 2001), 1912 (Marengo et al., 2008; Williams et al., 2005), 1916 (Sombroek, 2001; Jenkins, 2009), 1925-1926 (Sombroek, 2001; Meggers, 1994; Sternberg, 1987), 1948 (Sombroek, 2001), 1963-64 (Sombroek, 2001; Marengo et al., 2008), 1979-81 (Marengo et al., 2016), 1982-83 (Sombroek, 2001; Ronchail et al., 2005; Richey et al., 1989; Marengo, 1992), 1995 (Espinoza et al., 2011), 1997-98 (Marengo et al., 2008; Sombroek, 2001; Espinoza et al., 2011; Coelho et al., 2013; Tomasella, 2011). No entanto, apenas nos primeiros quinze anos do século XXI já foram registrados três secas extremas sem precedentes (Gloor et al., 2013; González E Valdés, 2006; Panisset et al., 2017):

A seca de **2005** foi associada à anomalia positiva sobre o setor norte do Atlântico tropical, afetou principalmente os setores oeste e sudoeste da Bacia Amazônica (BA) fazendo com que o volume de água do Rio Solimões e de seus afluentes caísse muito abaixo da média. Essa estiagem foi considerada mais árida que o normal (Zeng et al., 2008; Cheng et al., 2009; Marengo et al., 2008, Panisset et al. 2017).

Em **2010**, ambos os oceanos Pacífico e Atlântico (este com as maiores temperaturas de superfície do mar já registradas no período 1903-2010) apresentaram aumentos de temperatura. Este evento foi considerado mais extenso e severo que o de 2005 (Panisset et al., 2017; Espinoza et al., 2011; Lewis et al., 2011; Marengo et al., 2011; Potter et al., 2011).

Por fim, em **2015** foi registrado o El Niño mais rigoroso dos últimos 70 anos com deficits de precipitação por toda a BA, em especial na parte leste. Esta seca iniciou-se em 2014, tendo se prolongado até janeiro de 2016. Cada episódio foi considerado como “seca do século”, entretanto, superado pelo evento subsequente (Panisset et al., 2017; Xue et al., 2016; Barnard et al., 2017).

Os exemplos acima demonstram como as anomalias na temperatura de superfície do Atlântico tropical, em especial sobre o setor norte, e o El Niño - Oscilação Sul são os principais fatores que influenciam o ciclo da precipitação na Bacia Amazônica (Yoon e Zeng, 2010; Marengo et al., 2008).

1.1 - Objetivo geral

Analisar a relação entre as queimadas e as DAR durante os três eventos (2005, 2010 e 2015) de secas extremas na Amazônia, tendo como base a maior cidade do Arco do Desmatamento brasileiro, Porto Velho, estado de Rondônia.

1.2 - Objetivos específicos

- Identificar as relações entre as variáveis meteorológicas e os casos de internações;
- Identificar anomalias mensais nos indicadores de saúde e suas possíveis causas;
- Analisar o impacto das queimadas na população com menos de 15 anos e com mais de 60 anos;
- Ampliar o conhecimento sobre o impacto das queimadas na saúde humana, em particular nos grupos de risco (idosos e crianças).

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Fenômenos meteorológicos extremos sempre ocorreram na Terra. São epidódios naturais que se manifestam em diversas formas e intensidades ao longo de todo o planeta: enchentes, furacões, tornados, ciclones, secas, etc. Neste contexto as secas e as cheias são acontecimentos de caráter meteorológico que produzem anomalias no ciclo hidrológico como: redução ou aumento significativo da umidade do solo e do ar, estiagens prolongadas ou inundações, alterações nos níveis dos rios (González e Valdés, 2006). A região amazônica é de importância indiscutível para o clima do planeta. Esta região também sofre influência de diversos fenômenos como: El Niño, La Niña, aquecimento das águas do Atlântico

Norte e Sul. Esta variabilidade anual gera ciclos de cheias e secas naturais que parecem estar aumentando de frequência e intensidade nos últimos anos (Marengo et al., 2016).

Secas e cheias afetam diretamente os sistemas naturais como a fauna e a flora. De modo geral, todo o ciclo de carbono da região pode ser invertido fazendo com que a floresta passe de receptora de CO₂, para produtora durante certo período (Doughty et al., 2015). Os seres humanos são afetados nos eventos de seca, que causam danos na infraestrutura como: interdições de estradas, atoleiros, destruição de pontes que podem ocorrer em época de cheia; no período seco: interdições de aeroportos, incêndios florestais e urbanos e o aumento do risco de doenças, em especial, as doenças do aparelho respiratório (DAR). De acordo com Silva et al. (2013), as queimadas emitem diversos gases e material particulado poluentes que são nocivos a saúde humana.

Pelas funções que desempenha, o aparelho respiratório humano está especialmente exposto às injúrias ambientais. A inalação, deposição e *uptake* de poluentes afetam o aparelho respiratório, podendo ainda ser absorvidos pela circulação sistêmica e atingir outros órgãos (Gomes, 2002). Ainda existe controvérsia com relação ao tamanho da partícula que pode ser depositada no aparelho respiratório, parte do que é inalado acaba por ser depositado nas vias respiratórias indefinidamente (Brickus e Neto, 1998). Partículas entre 5 e 30 µm de diâmetro ficam retidas no aparelho respiratório superior, partículas menores que 1 µm alcançam o alvéolo e são depositadas nos pulmões. De modo geral, o conhecimento da composição e dispersão do material particulado de um determinado ambiente proporcionará uma melhor previsão dos efeitos adversos à saúde humana (Brickus e Neto, 1998).

Pode parecer intuitivo a afirmação de que um número maior de queimadas naturalmente aumentaria o número de DAR, porém ainda não se sabe por completo como esse processo ocorre. O fato de que em alguns trabalhos anteriores como Nesti e Goldbaum em 2007, não encontrarem os maiores valores de internações nos meses que mais queimam e sim alguns meses depois, sugere que haja um ‘tempo de espera’ entre os meses que mais queimam e os meses de maiores internações. Já em outro trabalho (Silva et al., 2010), ficou demonstrado

uma relação direta entre o $PM_{2,5}$ e a taxa de hospitalização entre as crianças e os idosos. Amorim et al. (2013) conjectura que o maior número de internações está relacionado com o período chuvoso e não com o período seco.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), os principais efeitos na saúde humana causados pelas queimadas são: mortalidade, admissões hospitalares, atendimentos de emergência, limitação funcional, sintomas respiratórios e redução da função pulmonar (Ribeiro e Assunção, 2002). De modo que, quanto mais sério for o agravo, menor será a quantidade de pessoas atingidas (Gonçalves et al. 2012). Desta forma, a OMS recomenda quatro abordagens básicas para cuidar dos riscos à saúde devido as queimadas: determinação da composição das emissões, seu alcance e suas transformações durante o transporte; em áreas povoadas, quantificar as concentrações resultantes de poluentes na atmosfera; considerar os cenários prováveis da exposição (ambientes abertos ou fechados); investigar os riscos de saúde para exposições humanas (Gonçalves et al. 2012).

Utilizando como parâmetros a emissão de material particulado e as internações hospitalares ao analisarmos pesquisas semelhantes, é possível constatar algumas contradições e questões em aberto sobre o assunto.

Filho et al. (2013), utilizando níveis de $PM_{2,5}$ estimados por sensoriamento remoto, temperatura, umidade, precipitação e internações hospitalares em crianças na cidade de Manaus no período de sete anos entre 2002 e 2009, demonstraram que as maiores taxas de internações ocorreram na estação das chuvas, com máximo valor em abril. Observou-se uma correlação positiva significativa entre a umidade relativa e as internações, no entanto a associação com o $PM_{2,5}$ mostrou-se negativa, com as internações sazonalmente opostas aos meses com maior concentração de $PM_{2,5}$, sugerindo que as internações estão mais relacionadas a umidade do que à exposição à fumaça.

Já Carmo et al. (2010), utilizando $PM_{2,5}$, temperatura, umidade e precipitação no município de Alta Floresta-MT e registros diários de atendimentos ambulatoriais em 14 unidades de saúde associaram a um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de $PM_{2,5}$ um acréscimo no número de atendimentos no 6º e 7º dias após a exposição de 2,9% e 2,6% respectivamente, concluindo haver significativa

correlação entre o $PM_{2,5}$ e as internações hospitalares nas crianças com idade inferior a cinco anos.

Smith et al. (2014) utilizando dados de precipitação, queimadas, aerossóis e hospitalizações por toda a região amazônica durante as secas de 2005 e 2010 constatou que uma das principais causas que afetaram as internações nos municípios amazônicos em 2005, além de deteriorar as condições de saúde das crianças em regiões onde a seca foi mais severa. Foram encontrados também, aumentos entre 1,2% e 267% em crianças abaixo de cinco anos nos municípios analisados. O desenvolvimento das condições humanas pareceram mitigar os efeitos da seca de 2010.

Silva et al. (2013), num estudo semelhante em Cuiabá-MT no ano de 2005, também utilizando $PM_{2,5}$, temperatura, umidade relativa e registros diários de atendimentos ambulatoriais demonstraram que um incremento de $10 \mu g/m^3$ resultaria em um aumento de 9,1%, 9,2% e 12,1% nas médias dos 1º, 2º e 5º dias após a exposição e que na estação seca esses valores chegaram a 11,4%, 21,6% e 22% para as médias do 1º, 5º e 6º dias após a exposição respectivamente. Concluiu-se existir significativa correlação entre as crianças menores de 5 anos, porém não foi evidenciada correlação entre a população com idade superior a 65 anos.

Mascarenhas et al. (2008), num estudo ecológico em Rio Branco-AC durante o mês de setembro de 2005, utilizaram a concentração de $PM_{2,5}$ em conjunto com os atendimentos diários de emergência por doenças respiratórias. No mês em questão, a concentração de material particulado excedeu os limites de qualidade do ar durante 23 dias, ou seja, em 76% dos dias. Verificou-se um aumento na incidência de doenças respiratórias em crianças menores de 10 anos e uma correlação positiva entre a concentração de $PM_{2,5}$ e os atendimentos por asma.

Rosa et al. (2008), no município de Tangará da Serra-MT no período entre 2004 e 2005, utilizando dados de temperatura, umidade relativa e taxas médias de atendimentos ambulatoriais por DAR por sexo e faixa etária, demonstraram que os indivíduos do sexo masculino tiveram uma taxa quase 50% superior aos do sexo feminino e que os atendimentos por DAR foram cerca de 20% menos frequentes

no período seco. Os valores máximos foram registrados em março (durante o período chuvoso da região) e um máximo local foi encontrado em agosto. Concluiu-se que os atendimentos por DAR estão mais relacionados com o período chuvoso no município.

Castro et al. (2009), num estudo abrangendo todo o estado de Rondônia no período entre 1998 e 2005 a partir de dados de focos de queimadas e a taxa de mortalidade entre idosos com idade superior a 65 anos, revelaram um crescimento nas taxas de DAR e de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) encontrando uma correlação positiva expressiva entre as variáveis. Tais doenças são responsáveis entre 50% e 80% da mortalidade por doenças estudadas nos idosos da região.

Em outro estudo Castro et al. (2016), na cidade de Barra do Corda-MA no período 2008-2010, utilizando como indicadores: internações por DAR nas crianças menores de 4 anos, internações por DAR nos idosos maiores de 70 anos, internações por asma e os focos de calor (via sensoriamento remoto) encontraram correlações positivas entre as internações por DAR, a pressão atmosférica e os focos de calor.

Amorim et al. (2013), num trabalho em Macapá-AP no período 2008-2012 utilizaram dados de internações por asma e bronquite em crianças até 5 anos e diversas variáveis meteorológicas (precipitação, temperatura do ar e umidade relativa) constataram que a 51% das internações por asma ocorreram não no período seco e sim no período chuvoso. Já as internações por bronquite possuíam 54% das ocorrências acontecendo no período seco.

Diversas regiões do planeta também são afetadas pelo ciclo das queimadas naturais ou as de origem antrópica. Alguns exemplos de seus efeitos sobre a saúde da população podem ser observados.

Hanigan et al. (2008) num estudo na cidade de Darwin no norte da Austrália entre 1998 e 2005, dividiram a amostragem da população em duas classes: os indígenas e os não-indígenas. Utilizando o PM_{10} e internações diárias por DAR mostraram que um acréscimo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estaria associado a um aumento em torno de 5% no total das internações, número quase três vezes maior quando comparada apenas ao da população indígena (15,02% para o 3º dia após a

exposição). Foram encontradas correlações negativas entre o PM_{10} e as internações por doenças cardiovasculares. Concluiu-se haver associação entre o PM_{10} e as internações por DAR e que elas foram mais significativas entre os povos indígenas da região.

Mar et al. (2005), na cidade de Phoenix no Arizona no período entre 1995 e 1997, utilizaram diferentes fonte de $PM_{2,5}$ como: tráfego, sulfatos secundários e queima de biomassa, mortalidade por doenças cardiovasculares e não-acidental e não encontraram correlação significativa entre a queima e a mortalidade entre a população. De fato, a correlação mais significativa foi encontrada com o aumento no nível de poluentes referentes ao tráfego urbano.

Tecer et al. (2008), num estudo na cidade litorânea de Zonguldak na Turquia no período entre dezembro de 2004 e outubro de 2005 para a população com idade inferior a 15 anos e utilizando $PM_{2,5}$ e PM_{10} , internações por asma, rinite alérgica, doenças das vias aéreas inferiores e superiores, demonstraram haver significativa correlação entre o material particulado e os quatro indicadores de saúde acima. O resultado mais significativo revelou que um acréscimo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ resultaria em um incremento de 18% nas internações por asma no mesmo dia. Concluíram haver grande efeito do material particulado sobre as internações por asma para os menores de 15 anos.

Qiu et al. (2012), num estudo em Hong Kong para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2005 utilizando o PM_c , um material particulado com diâmetro entre $2,5 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$ e internações diárias por DAR, atestaram que um acréscimo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de material particulado resultaria em um aumento de 1,94% no número de internações por DAR. Ultimou-se uma correlação positiva, mas pouco significativa para PM_c que é independente da correlação com o $PM_{2,5}$.

Dominici et al. (2006), num estudo envolvendo 204 condados americanos com populações maiores que 200.000 habitantes, no período entre 1999 e 2002 com a população de idade superior a 65 anos (cerca de 11,5 milhões de pessoas), utilizando $PM_{2,5}$ e diferentes tipos de doenças cardiovasculares, demonstraram correlações positivas, embora pouco significantes. O melhor resultado foi obtido para os ataques cardíacos, onde um incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o material

particulado revelou um aumento de 1.28%. Concluíram haver correlação entre as variáveis, porém pouco expressivas.

Na prática, cada trabalho tem por base diferentes parâmetros em relação as queimadas, as internações e a população alvo. Também é relevante o local do estudo. Por exemplo, populações de locais diferentes expostas aos mesmos níveis de poluição podem sofrer efeitos distintos e reagirem de forma diferenciada. Além disso, as condições sócio-econômicas, a idade ou qualquer outro tipo de doença pré-existente, tem influência sobre os resultados de internações (Ribeiro e Assunção, 2002).

3 - METODOLOGIA

A partir da construção das séries temporais entre os anos de 2000 e 2016 das variáveis: focos de calor, área queimada, ocorrência de fumaça, precipitação, umidade relativa e temperatura em conjunto com casos de internações por local de residência para DAR, asma e bronquite, na população em geral com ênfase nos menores de 15 anos e nos maiores de 60 anos, foram usadas ferramentas estatísticas que possibilitou uma análise quantitativa, descritiva e inferencial.

Neste capítulo também foi realizada uma abordagem geral sobre a cidade de Porto Velho. Dados demográficos e climatológicos são apresentados visando uma melhor caracterização e entendimento do local de estudo. Em seguida, são apresentados detalhes sobre a aquisição dos dados. Um resumo dos sites onde os dados foram captados e detalhes as variáveis meteorológicas e os indicadores de saúde empregados na pesquisa.

3.1 - Local de estudo

O município de Porto Velho, fundado em 13/09/1943, é a atual capital do estado de Rondônia na Região Norte do Brasil. Localizado na extremidade norte do estado, faz fronteira com o estado do Amazonas e com o estado do Acre e ainda possui fronteira com a Bolívia. A cidade está localizada na bacia do rio

Amazonas e é cortada pelo Rio Madeira (principal afluente na margem direita do Amazonas). A Figura 2 mostra o mapa físico do estado de Rondônia de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2015. Os dados demográficos são apresentados na Tabela 2.

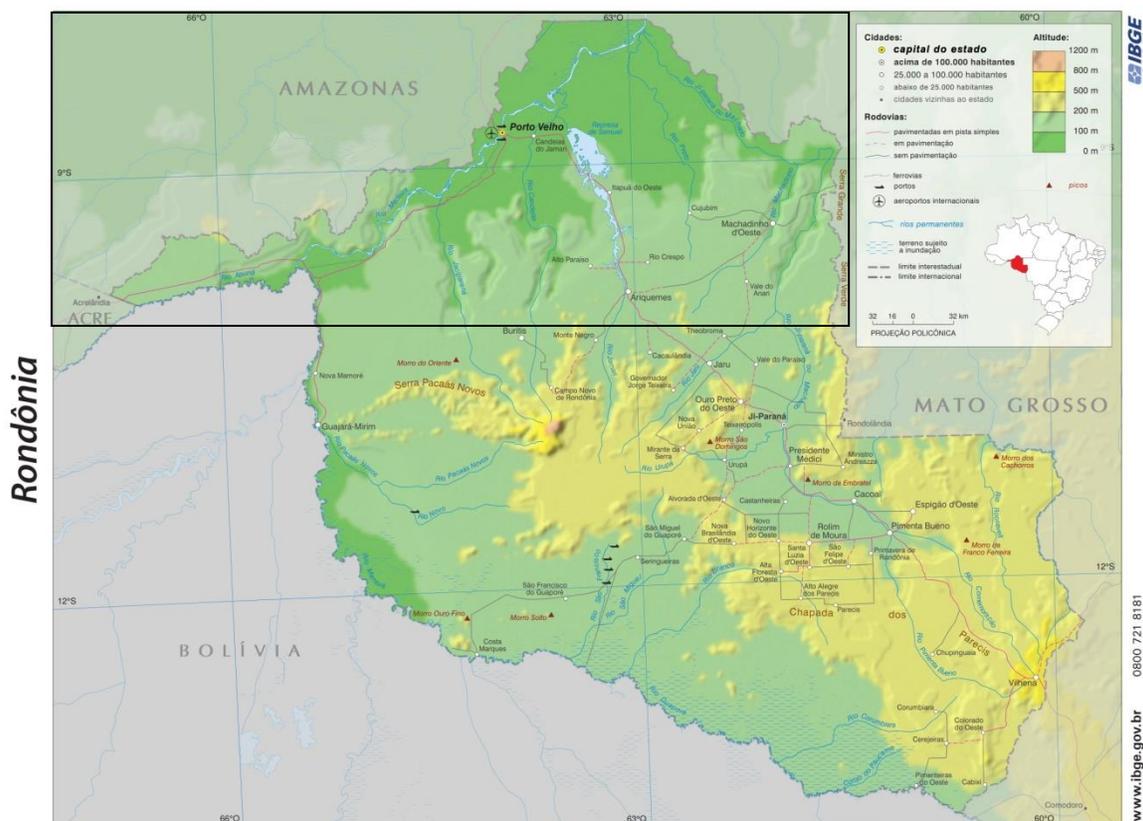


Figura 2. Mapa físico do estado de Rondônia

Tabela 2. Dados demográficos da cidade de Porto Velho-RO. IBGE Cidades, banco de dados dos municípios brasileiros. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>

PORTO VELHO-RO	
POPULAÇÃO	428.527 (censo 2010)
DENSIDADE DEMOGRÁFICA	12,57 hab/km ²
ÁREA	34.096,394 km ²
BIOMA	Amazônia
INSTALADO EM	13/09/1943

De acordo com o censo de 2010, Porto Velho é o município mais populoso de Rondônia e o terceiro mais populoso da Região Norte depois de Manaus-AM e Belém-PA. Apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM = 0,736), acima da média nacional de 0,699 em 2010. Sua densidade demográfica é de 12,57 hab/km² e está abaixo da média brasileira de 22,43 hab/km², porém é três vezes maior que a da Região Norte que é de 4,12 hab/km². Possui a maior área territorial entre as capitais brasileiras 34.096,394 km², área maior do que os estados de Sergipe e Alagoas e de países como Haiti e Bélgica (IBGE, 2010). A escolha de Porto Velho deve-se ao fato desta ser a maior cidade do Arco do Desmatamento Brasileiro segundo o Instituto de Proteção da Amazônia (IPAM).

Na figura 3, são apresentadas as normais climatológicas referentes ao município de Porto Velho-RO para o período compreendido entre os anos de 1975 e 2016 da estação meteorológica Governador Jorge Teixeira de Oliveira. A figura 4(a) apresenta as médias mensais de temperatura média, médias mensais de temperatura máxima e médias mensais de temperaturas mínimas para o mesmo período, já a figura 4(b) vemos a amplitude térmica relacionada a este período, nota-se que nos meses de inverno a amplitude é mais que o dobro daquela ocorrida nos meses de verão.

A precipitação média anual é de 2065,5 mm. O mês de janeiro possui o maior índice de precipitação com 329,4 mm e o mês de julho possui o menor índice com apenas 27,5 mm. O período seco em Porto Velho ocorre no inverno brasileiro, geralmente entre os meses de junho a setembro. A umidade relativa também apresenta seus menores resultados no inverno, atingindo menos de 75% em agosto, um mês depois do mínimo de precipitação em julho.

O maior valor para a temperatura média ocorre em agosto (27°C), já o menor valor ocorre em julho (25,9°C); para as temperaturas máximas médias o maior valor ocorre em agosto (33°C) e o menor valor ocorre em janeiro (29,1°); para as temperaturas mínimas médias o maior valor ocorre em abril (23,4°C) e o menor valor ocorre em julho (20,7°C) (ICEA, 2016). Fazendo com que as

temperaturas máximas e temperaturas médias sejam maiores no inverno do que no verão.

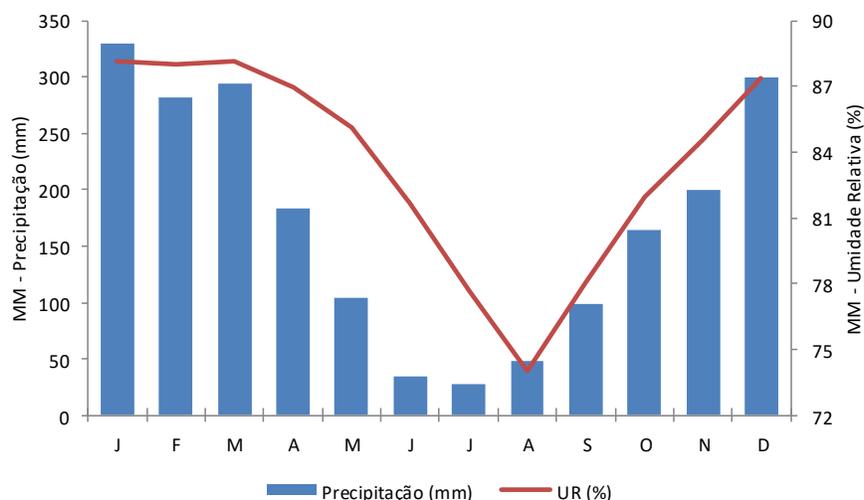


Figura 3. Série temporal de médias mensais de precipitação e UR

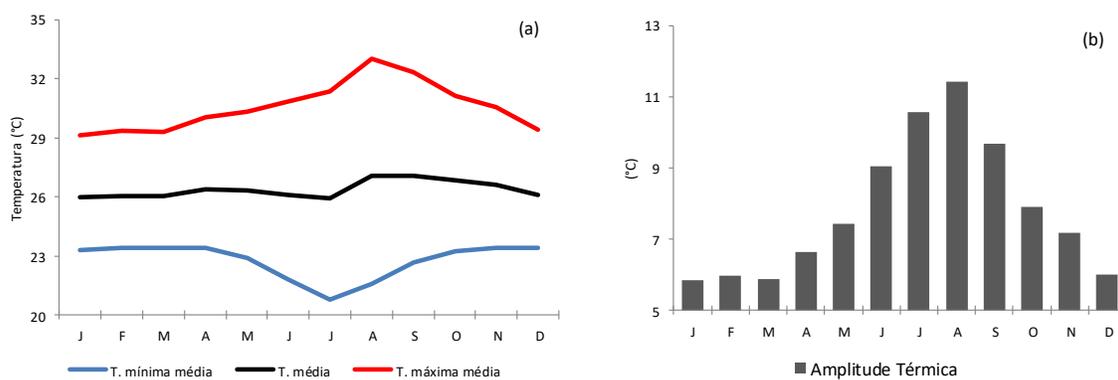


Figura 4. (a) Série temporal de temperaturas médias mensais, temperaturas máximas médias mensais e temperaturas mínimas médias mensais; (b) amplitude térmica média mensal para o período 1975-2015

3.2 - Aquisição dos dados

A Tabela 3 apresenta um resumo do conjunto de dados utilizados. Além das variáveis utilizadas, seus respectivos períodos de amostragem e as fontes de onde os dados foram adquiridos.

Tabela 3. Resumo do conjunto de dados

Dados	Descrição		
	Características	Período	Fonte
Focos de calor	Programa Queimadas de acordo com o satélite de referência (AQUA_M-T).	2000-2016	BDqueimadas (INPE)
Área queimada	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), produto MCD64 - Coleção 5.1 (1 Km).	2000-2016	MODIS-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (NASA)
Precipitação Umidade relativa (UR) Temperatura (min, med, máx) Ocorrência de fumaça Velocidade e direção do vento	Dados de superfície da estação Governador Jorge Teixeira de Oliveira em Porto Velho (alt: 88m, LAT: 8°42' S, LONG: 63°54' O).	1975-2016	Banco de Dados Climatológicos do Comando da Aeronáutica (ICEA)
DAR Asma Bronquite DAR nos menores de 15 anos (DAR < 15) DAR nos maiores de 60 anos (DAR > 60)	Dados gerais por local de internação, segundo o capítulo X da classificação estatística internacional de doenças e problemas de saúde (CID 10). Categorias J00 a JNN (DAR), segundo local de internação.	2000-2016	DATASUS
População	Dados do censo 2010 e estimativas populacionais por município e idade 2000-2015 RIPSIA IBGE.	2000-2016	IBGE Cidades e DATASUS

- Bdqueimadas - <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>. De responsabilidade dos Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação e do Ministério do Meio Ambiente. Ligado também ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climatológicos (CPTEC) do INPE, o Bdqueimadas é um banco de dados que disponibiliza dados via sensoriamento remoto de focos de calor em todo o território nacional. A geração dos dados é feita a partir das imagens dos sensores a bordo dos satélites polares como National Oceanic and Atmospheric

Administration (NOAA), Earth Observatory System (EOS) nos modelos TERRA e AQUA e geoestacionários como Geostacionary Operational Environmental Satellite (GOES) e METEOSAT da European Space Agency (ESA) (Gontijo et al., 2011). Foram analisados os dados de focos de calor no período de 01 de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2016, para a cidade de Porto Velho-RO.

- MODIS-NASA - De responsabilidade da National Aeronautics and Space Administration (NASA) ligada ao governo dos Estados Unidos, o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) é um instrumento a bordo dos Satélites TERRA e AQUA. A órbita do satélite TERRA foi especificada de forma que o satélite cruze a linha do Equador no sentido norte-sul pela manhã, enquanto AQUA cruza a linha do Equador no sentido sul-norte pela tarde. Juntos, os dois satélites visualizam toda a superfície do planeta a cada 1 ou 2 dias, adquirindo dados em 36 bandas espectrais (MODIS-NASA).

- Banco de dados climatológicos do comando da Força Aérea Brasileira (ICEA) - <http://clima.icea.gov.br/clima/index.php#>. De responsabilidade do comando da Força Aérea Brasileira (FAB), o Banco de Dados Climatológicos (BDC) utiliza estações meteorológicas de superfície e altitude para a aquisição e digitação dos dados referentes aos registros das observações meteorológicas. Sua operação está ligada ao Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB). Foram utilizados dados das médias mensais de ocorrência de fumaça, precipitação e umidade relativa referentes ao mesmo período dos focos de calor para a estação de superfície governador Jorge Teixeira de Oliveira em Porto Velho-RO. Dados da estação: Altitude: 88m, Latitude: 8°42' S, Longitude: 63°54' L (ICEA, 2016).

- Programa Queimadas - <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/aq1km/> (atualizado para <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>). Também ligado ao INPE, o Programa Queimadas utiliza satélites para o monitoramento de queimadas por todo o território nacional, dividindo-o em regiões específicas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. São encontradas séries temporais mensais entre 2000 e 2016. O satélite utilizado é o

Aqua com resolução de 1 km. A análise foi feita durante o período de sete anos (2008-2016) a partir dos dados de possíveis variáveis relacionadas com doenças do aparelho respiratório, a saber:

Focos de calor – pontos geográficos na superfície do solo com temperatura acima de 47°C, área mínima de 900 m² capitados por sensores espaciais (Gontijo et al., 2011). Segundo Antunes (2000) qualquer registro captado na superfície do solo é considerado um foco de calor, o sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) registra temperaturas acima de 47°C e os considera como focos de calor. Dados provenientes do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).

Ocorrência de fumaça – dados in situ da estação meteorológica governador Jorge Teixeira de Oliveira em Porto Velho-RO;

Precipitação – dados in situ (médias mensais) da estação meteorológica Governador Jorge Teixeira de Oliveira em Porto Velho-RO;

Umidade Relativa – dados in situ (médias mensais) da estação meteorológica Governador Jorge Teixeira de Oliveira em Porto Velho-RO.

Área queimada – dados também obtidos através de sensoriamento remoto, produzido a partir de entradas diárias dos satélites TERRA e AQUA de reflectância de superfície. O algoritmo utiliza a reflectância para localizar mudanças rápidas e estimar a data aproximada da queima, mapeando a extensão espacial dos recentes incêndios, para esta pesquisa foram utilizados dados da NASA do satélite Aqua com resolução de 1 km (MODIS-NASA).

O Sistema Único de Saúde (SUS), de responsabilidade do Ministério da Saúde, foi criado oficialmente na Constituição Federal de 1988 e tem por princípio “Saúde é direito de todos e dever do Estado”. Considerado um dos maiores sistemas públicos de saúde do mundo, abrange desde procedimentos simples até transplantes de órgãos garantindo para toda a população do país acesso integral, universal e gratuito. Dessa maneira, o SUS em conjunto com demais políticas públicas deve atuar na promoção da saúde, prevenção de ocorrência de agravos e recuperação de doentes. Todos os três entes da federação, a saber: a União, os Estados e os municípios devem integrar-se de forma solidária e participativa na

gestão das ações e dos serviços de saúde. Seu banco de dados (DATASUS) abrange todas as cidades do país com dados de morbidade de diversas naturezas.

- DATASUS - <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>. Através do TABNET viabiliza informações que podem servir para subsidiar análises objetivas da situação sanitária, tomadas de decisão baseadas em evidências e elaboração de programas de ações de saúde.

A saúde pública tem por tradição a mensuração e análise do estado da saúde da população. Iniciando-se com o registro sistemático de dados de mortalidade e de sobrevivência (Estatísticas Vitais - Mortalidade e Nascidos Vivos). Com os avanços no controle das doenças infecciosas (informações Epidemiológicas e Morbidade) e com o melhor entendimento da definição de saúde e sua relação com a população, a análise da situação sanitária passou a incorporar outras dimensões do estado de saúde. Construiu-se Indicadores de Saúde baseados em dados de morbidade, incapacidade, acesso a serviços, qualidade da atenção, condições de vida e fatores ambientais. Tais indicadores se traduzem em informação significativa para a quantificação e a avaliação das informações em saúde (DATASUS, 2016).

A análise é feita durante o período de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2016 a partir dos dados de cinco indicadores de saúde, internações: DAR, asma, bronquite, DAR < 15 e DAR > 60.

DAR – dados de morbidade hospitalar do Sistema de Internações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIH/SUS), gerados por local de internação, utilizando a Classificação Internacional de Doenças (CID-10), categorias J00 a J99. O CID-10 é um catálogo padronizado de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), tendo como base a Nomenclatura Internacional de Doenças e problemas associados à saúde.

Lista de DAR de acordo com o DATASUS - faringite aguda e amigdalite aguda, laringite e traqueíte agudas, outras infecções agudas das vias aéreas superiores, influenza [gripe], pneumonia, bronquite aguda e bronquiolite aguda, sinusite crônica, outras doenças do nariz e dos seios paranasais, doenças

crônicas das amígdalas e das adenóides, outras doenças do trato respiratório superior, bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas, asma, bronquiectasia, pneumoconiose, outras doenças do aparelho respiratório.

Internações por asma - dados de morbidade hospitalar (SIH/SUS), gerados por local de internação utilizando a lista de morbidade CID-10. Esta doença das vias aéreas inferiores (Gonçalves e Coelho, 2010) considerada crônica afeta em torno de 10% da população mundial. No Brasil, em 1996, foi responsável por uma média de 2000 óbitos/ano sendo também a 4ª causa de internações hospitalares segundo o SUS (Bettencourt et al., 2002). Nos Estados Unidos, a asma afeta entre 14 e 15 milhões de pessoas sendo responsável por quase 500 mil hospitalizações e 5000 óbitos/ano (Sullivan et al. 1996). A asma possui tratamento complexo e acarreta limitações físicas, emocionais e sociais, exigindo participação ativa de seus portadores e familiares (Bettencourt et al., 2002). Seus determinantes e fatores de risco envolvem: fatores genéticos, histórico de alergia na família, atopia, fatores imunológicos, tabagismo passivo e ativo e poluição. Outros fatores como: hiper-responsividade brônquica, ar frio, umidade, variações sazonais, nutrição, hábitos de vida, condições socioeconômicas e infecções também podem estar relacionados às suas causas (Branco et al., 2007; Annesi- Maesano, 2006).

Internações por bronquite – dados de morbidade hospitalar (SIH/SUS), gerados por local de internação, utilizando a lista de morbidade CID-10. A bronquite aguda também é uma doença das vias aéreas inferiores (Gonçalves e Coelho, 2010) comum e causada por vírus na maioria dos indivíduos, no entanto pode ser originada por bactérias como: *Mycoplasma pneumoniae* (M. pneumoniae), *Chlamydia pneumoniae* (C. pneumoniae) e *Bordetella pertussis* (B. pertussis), dentre outras. Clinicamente, as infecções brônquicas virais e bacterianas são indistinguíveis (Wannmacher, 2006).

Internações por DAR > 15 e DAR < 60 são subconjuntos dos resultados de DAR, levando em conta apenas os resultados dos menores de quinze anos e maiores de 60 anos respectivamente.

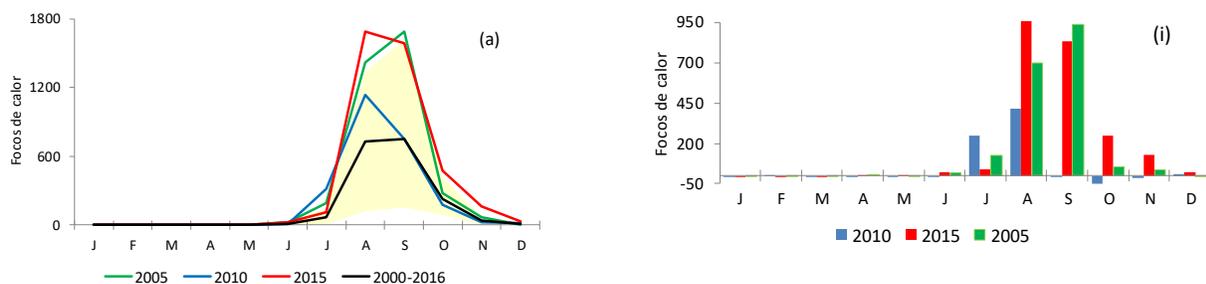
Os dados socioeconômicos, tais como: população e densidade demográfica, foram obtidos do site IBGE Cidades (<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>) que é um banco de dados ligado

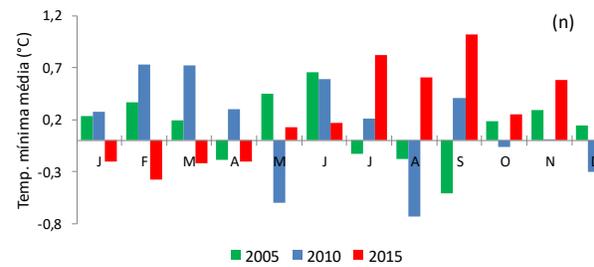
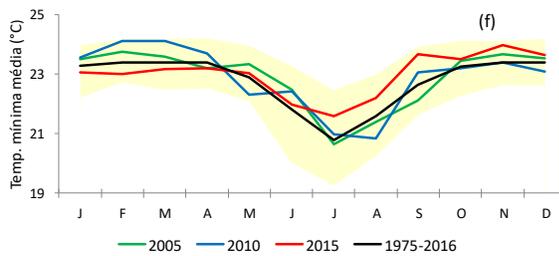
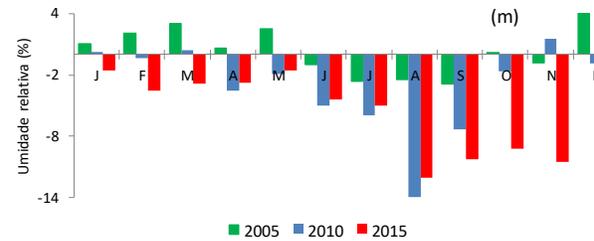
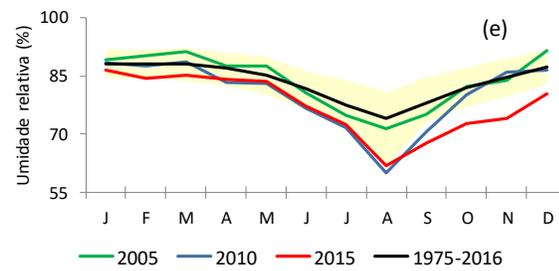
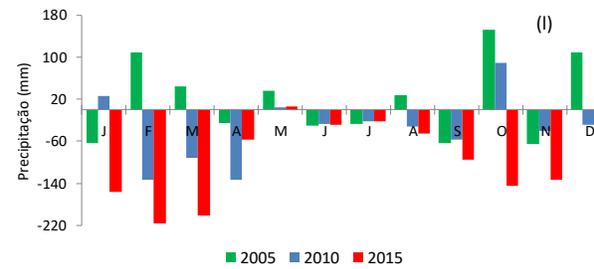
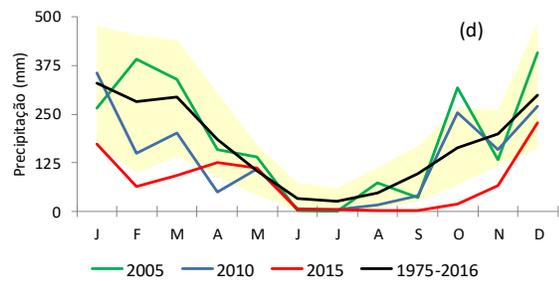
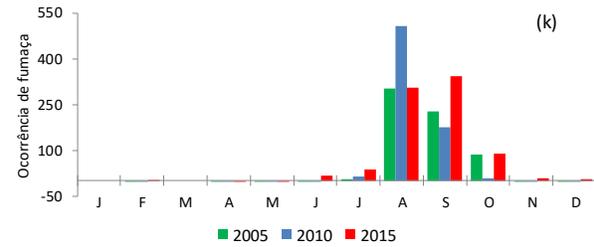
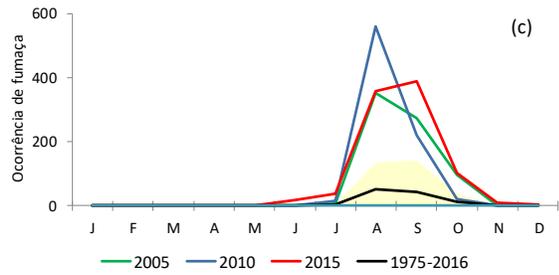
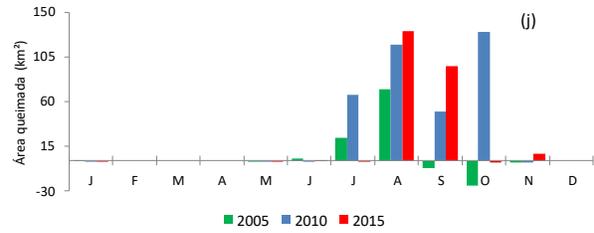
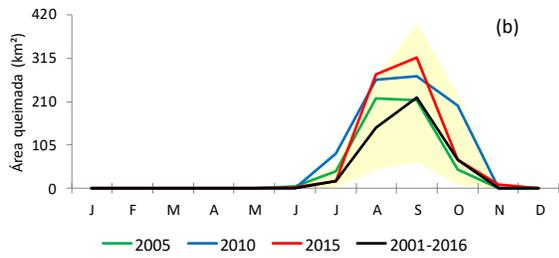
ao governo federal onde estão disponíveis dados a nível estadual e municipal de todos os 5570 municípios brasileiros (IBGE CIDADES, 2016).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Análise intra-anual

Na Figura 5, os gráficos à esquerda representam uma comparação entre cada variável para os anos de 2005 (linhas verdes), 2010 (linhas azuis) e 2015 (linhas vermelhas) com suas séries temporais estendidas (linhas pretas) conforme apresentadas na Tabela 3. As áreas ao fundo em amarelo claro representam os valores mensais do percentil 10 (limite inferior) e percentil 90 (limite superior). Os percentis dividem por ordem crescente os dados em 100 partes aproximadamente iguais. Como exemplo: o percentil 10 determina os 10% menores valores dos dados, o percentil 90 determina os 90% menores valores dos dados e o percentil 50 seria a mediana. Desta forma, é possível explorar as vantagens da visualização gráfica para melhorar o entendimento das interações entre a saúde humana, o ecossistema e as variáveis climáticas (Aragão et al., 2016). Os gráficos à direita apresentam os saldos positivos ou negativos dos resultados de 2005 (barras verdes), 2010 (barras azuis) e 2015 (barras vermelhas) subtraídos da média mensal da série temporal estendida.





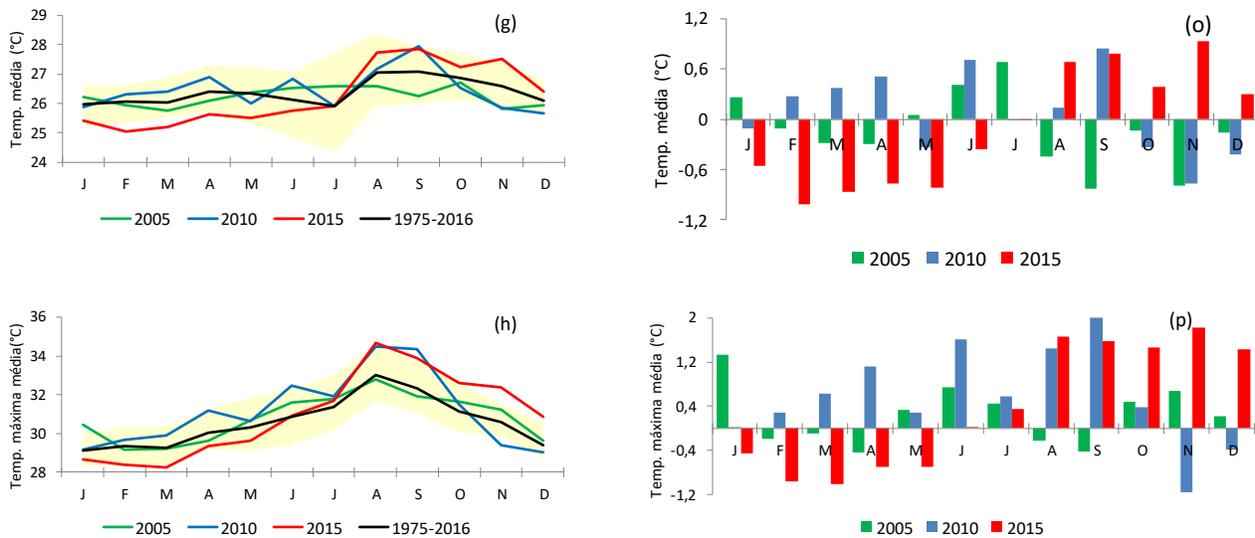


Figura 5. Médias mensais em Porto Velho: focos de calor (a), area queimada (b), ocorrência de fumaça (c), precipitação (d), umidade relativa (e), temperature mínima media (f), temperature média (g) e temperatura máxima média (h). As linhas pretas correspondem as médias das séries temporais estendidas, as linhas verdes correspondem aos resultados do ano de 2005, as linhas azuis correspondem ao ano de 2010 e as linhas vermelhas correspondem ao ano de 2015. Áreas em amarelo correspondem aos percentis 10 (limite inferior) e 90 (limite superior). Os gráficos de (i) a (p) representam o saldo relativo aos anos de 2005, 2010 e 2015 comparados com os resultados da série temporal estendida para as mesmas variáveis representadas nos gráficos (a) a (h) respectivamente.

No período de estudo foram detectados 34662 focos de calor em Porto Velho. Desses, 29286 (84,%) ocorreram no período Julho, Agosto, Setembro (JAS). Além disso, 7807,25 km² de área queimada foram registrados, 6552,43 km² (83,9%) ocorreram no mesmo período. Foram detectadas 4381 ocorrências de fumaça, dessas, 4033 (92%) ocorreram no período JAS. Os anos de 2005, 2010 e 2015 possuem valores bem acima da média da série temporal para este período em ambas as variáveis, alcançando valores acima do percentil 90 para as ocorrências de fumaça.

O ano de 2015 possui em seus doze meses, valores abaixo da média para precipitação (exceto em maio). Os valores de umidade relativa em agosto de 2010 e agosto de 2015 alcançaram 60% e 62% respectivamente; tais valores estão 19% e 17% abaixo da média de 74% de umidade relativa para o mês de maio. Também em 2015 os valores das temperaturas estão acima da média para todo o segundo semestre. Tais resultados, tanto de alto índice de queimadas e baixos níveis de precipitação estão em concordância com diversos trabalhos anteriores (Barnard et al., 2017; Chen et al., 2009; Espinoza et al., 2011; Lewis et al., 2011; Marengo et

al., 2011; Panisset et al., 2016; Potter et al., 2011; Smith et al., 2014; Xue et al., 2016; Zeng et al., 2008).

Devido à relevância do período JAS para as queimadas, foram construídas as Figuras 6 e 7 que apresentam a concentração de focos de calor entre os anos de 2000 e 2016 num raio de 10 km para grande parte do Brasil e da América do Sul. A cada figura, está relacionada à rosa dos ventos da cidade de Porto Velho referente ao mesmo período, calculada como a soma da frequência das ocorrências de ventos em cada direção independente da intensidade do vento. Analogamente, a Figura 7 apresenta para a mesma região os valores do produto MCD 64 para área queimada com resolução de 1 km. A mesma rosa dos ventos é apresentada em cada ano. Não há dados de área queimada referentes ao ano 2000, por isso a série temporal inicia-se em 2001.

Os anos de 2005 (exceto agosto), 2010 e 2015 possuem para o trimestre JAS valores ainda abaixo da média da série de precipitação. As regiões com maior concentração de focos de calor em 2005 estão na parte sul e sudoeste (com grande concentração em Porto Velho) da Amazônia brasileira e na Bolívia com concentração de área queimada no estado do Maranhão (Figura 7). Estes padrões coincidem com estudos anteriores (Panisset et al., 2017; Chen et al., 2009). A porção oeste da Amazônia brasileira e a Bolívia foram os pontos centrais do evento de 2010 conforme já mostrado em trabalhos anteriores (Lewis et al., 2011). Porto Velho, em agosto, apresentou apenas 16,2 mm de precipitação, UR de 60% e 560 registros de fumaça, valor 1120% maior que a média do mês, com grande concentração de área queimada na região oeste e sudoeste da região amazônica. O ano de 2015 apresenta grande concentração de focos em Porto Velho, porém a distribuição espacial dos focos é menor que em 2005 e 2010. Esta incongruência pode ser compreendida pelo fato do pico dos eventos geradores da seca de 2015 ocorrerem em seu último semestre, com ênfase em Novembro (Panisset et al., 2017), mês que apresenta valores acima da média para a temperatura, abaixo do percentil 10 para precipitação (66% abaixo) e UR (10,5% abaixo) ratificando também resultados de estudos anteriores (Panisset et al., 2017; Xue et al., 2016; Barnard et al., 2017; Jiménez-Muñoz et al., 2016).

Algumas partes do sudeste do Pará, norte de Mato Grosso, sul do Maranhão e a Bolívia, estão entre as que mais queimaram no período 2000-2016. O município de Porto Velho (destacado no mapa com um retângulo) possui em alguns anos grande concentração de focos de calor, são eles: 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2010, 2015 e 2016. Anos como 2008, 2009 e 2013 possuem as menores concentrações de focos de calor na Amazônia, assim como em Porto Velho.

Não há grandes concentrações de área queimada (comparadas a outras regiões) em nenhum ano entre 2000 e 2016 em Porto Velho, embora regiões próximas na Bolívia sejam recorrentes durante o período. O ano de 2008 possui o menor índice de área queimada do período. Para Porto Velho os anos de 2006, 2008 e 2016 apresentam os menores índices de área queimada.

Apesar de relacionados e igualmente extraídos por sensoriamento remoto, focos de calor e área queimada são variáveis diferentes. Define-se foco de calor como pontos geográficos na superfície do solo com temperatura acima de 47°C, área mínima de 900 m² (Gontijo et al., 2011). Qualquer registro captado na superfície do solo durante a passagem do satélite é considerado um foco de calor (Antunes, 2000). Muitos focos que são de fato incêndios florestais não são detectados, pois podem começar e terminar durante intervalos da passagem dos satélites (Batista, 2004). Já as mudanças características na cobertura do solo deixadas pela área consumida pelo fogo tem um tempo de permanência maior que o próprio incêndio. Essas mudanças que podem também ser detectadas através de sensoriamento remoto é chamada de área queimada (Batista, 2004).

A comparação entre as Figuras 6 e 7 mostra diversos anos que não são considerados como secos em Porto Velho, mas que possuem grande quantidade de internações. Também é possível ser observado alguns anos secos com poucos casos de internações. Esse fenômeno pode ser compreendido levando-se em conta que os ventos que ocorrem na região com maior ou menor intensidade e direção podem levar a poluição ocorrida na cidade para outros locais bem como trazer a fumaça das queimadas de outras regiões distantes centenas de quilômetros para Porto Velho (Artaxo et al., 2006; Bicudo, 2005).

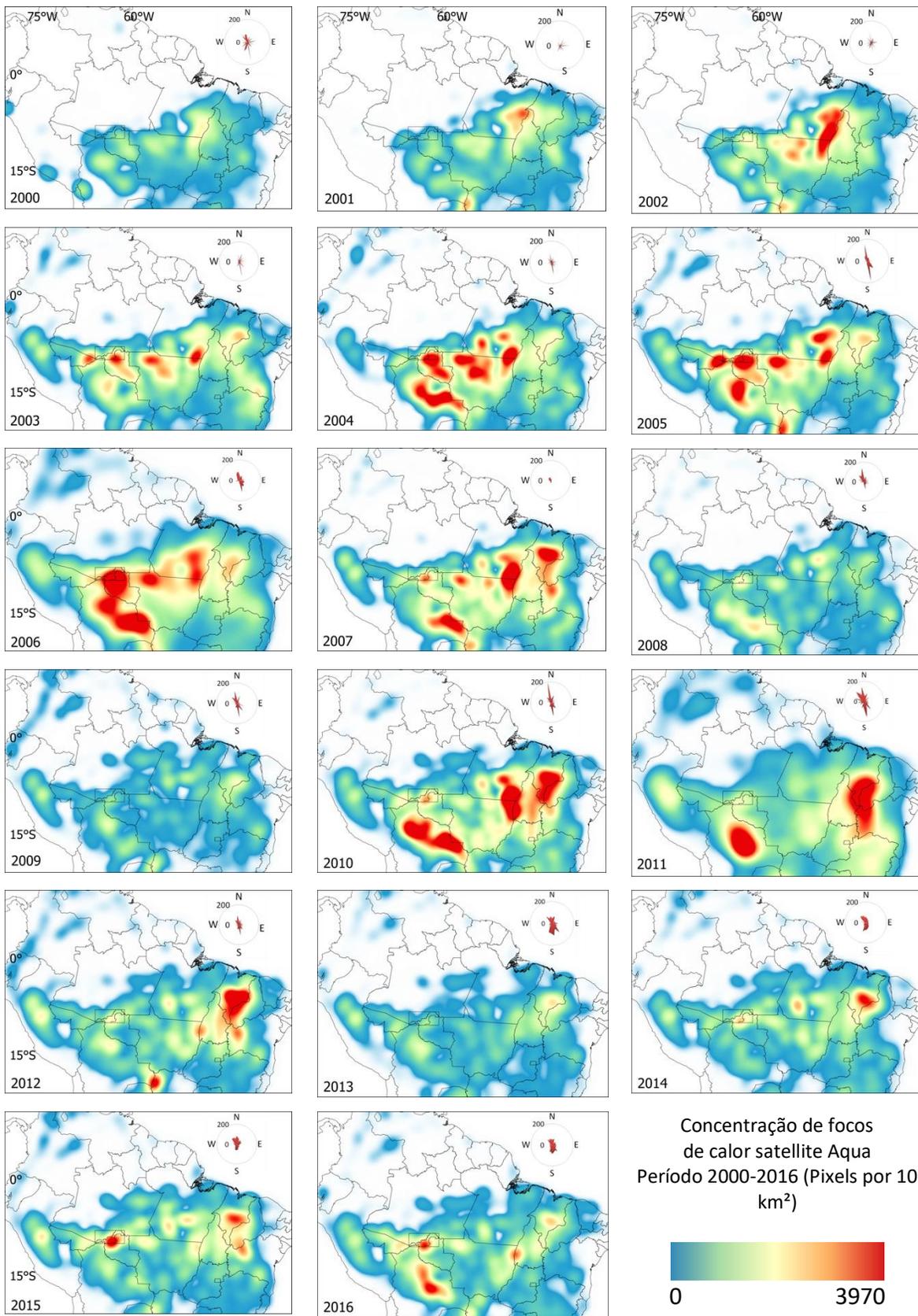


Figura 6. Concentração de focos de calor registrados na América do Sul durante o período 2000-2016 para os meses de Julho, Agosto e Setembro (JAS).

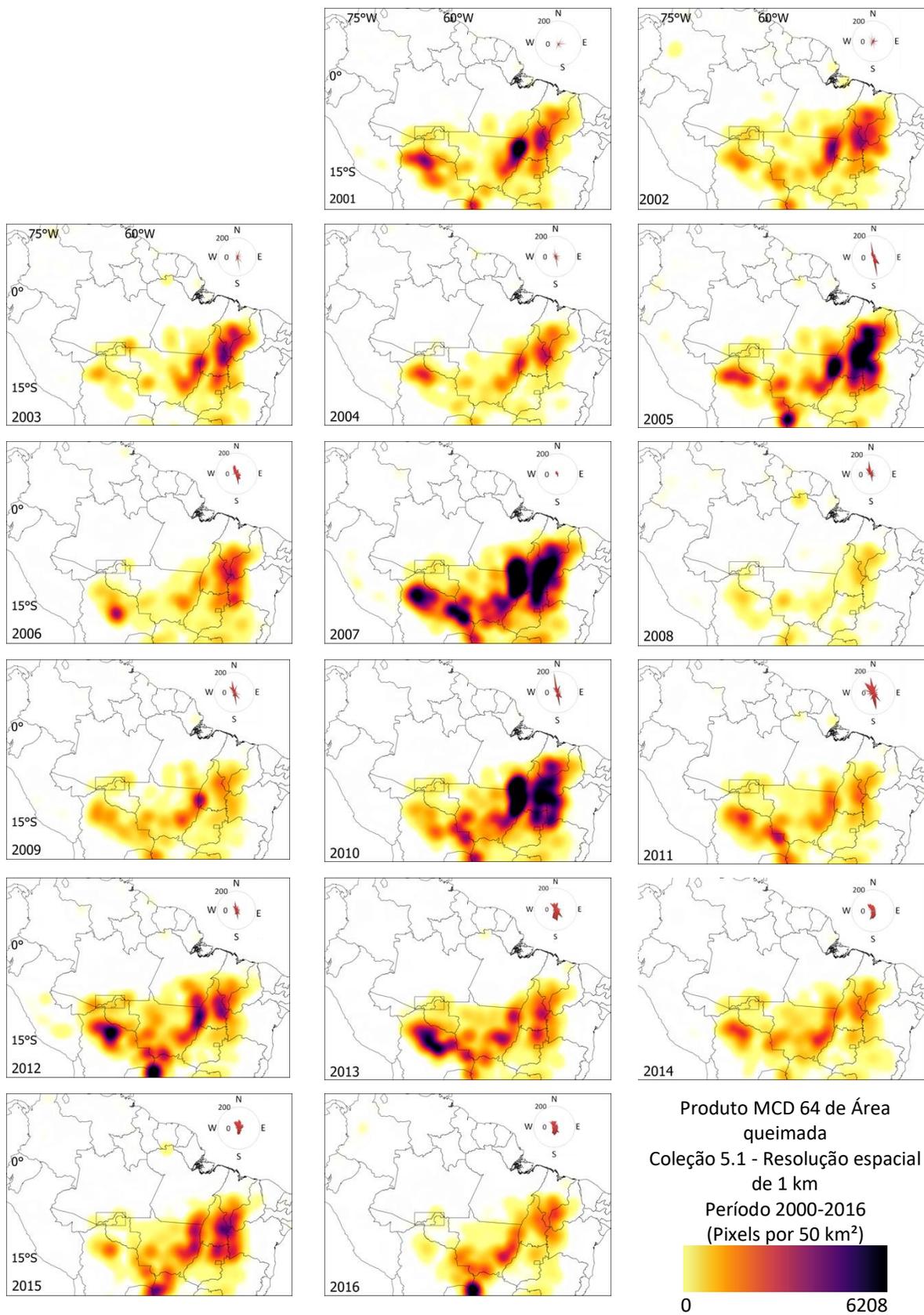


Figura 7. Concentração de área queimada registrada na América do Sul durante o período 2001-2016 para os meses de Julho, Agosto e Setembro (JAS).

A descrição da Figura 8 é análoga a da Figura 5 representando, de forma semelhante, o ciclo anual dos cinco indicadores de saúde: internações por DAR, internações por asma, internações por bronquite, internações por DAR para a população com idade inferior a 15 anos (DAR < 15) internações por para a população com idade superior a sessenta anos (DAR > 60).

Para as internações por DAR, o ano de 2005 (linha verde) possui seu máximo no mês de junho, chegando a 281 internações, 61% acima da média. Seu mínimo ocorre no mês de fevereiro com 99 internações e possui ainda valor abaixo da média em agosto e um mínimo local em setembro com 125 internações, o que representa 30% a menos que a média para este mês. O ano de 2010 (linha azul) possui valores para os meses de junho, julho, agosto e setembro acima da média, coincidindo com o período de queimadas na região. O ano de 2015 (linha vermelha) possui todos os meses com valores acima da média (exceto o mês de setembro). Seu máximo ocorre no mês de março com 327 internações, valor este 92 % acima da média para esse mês e possui ainda um máximo local em novembro. Diferentemente dos outros dois anos, o período seco em 2015 estendeu-se até o final do ano (vide Figura 5 (d), (e), (l) e (k)).

Para as internações por asma, observa-se que o ano de 2005 possui todos os seus meses acima da média do período (exceto o mês de setembro) chegando a 80 internações em maio, 58 em julho e 52 em outubro. O ano de 2010 possui todos os meses abaixo da média de internações (exceto o mês de agosto), embora os valores estejam abaixo da média, é possível notar um crescimento a partir do mês de junho atingindo seu máximo em agosto e um decréscimo até outubro, acompanhando o período de queimadas na região. O ano de 2015 possui todos os meses abaixo da média com um ligeiro máximo para o mês de setembro (13 internações).

As Internações por bronquite mostram que o ano de 2005 possui todos os meses abaixo da média com exceção de seu máximo em junho. É possível notar também um máximo local no mês de setembro. O ano de 2010 exibe um crescimento significativo nas internações a partir do mês de maio, chegando ao máximo em agosto. Os valores de agosto (49 internações) e setembro (38 internações) estão acima do percentil 90 e significam valores 206% e 192%

maiores que suas respectivas médias mensais. O ano de 2015 possui todos os meses com valores acima da média, sendo os três primeiros meses acima do percentil 90 e um máximo local em agosto com 26 internações, 62% acima da média para este mês.

As internações por $DAR < 15$ mostram que o ano de 2005 possui um valor máximo no mês de junho. O ano de 2010 um valor máximo no mês de maio e o ano de 2015 um valor máximo no mês de março. Ambos os anos possuem valores próximos da média para o período de queima, com pequenos máximos locais nos meses de outubro de 2005 e novembro de 2015.

Finalmente para as internações por $DAR > 60$, observa-se que o ano de 2005 possui todos os seus meses com valores abaixo da média (exceto o mês de outubro). O ano de 2010 possui seu valor máximo no mês de agosto com 36 internações, 28% acima da média mensal. O ano de 2015 possui todos os meses com valores acima da média com os sete primeiros meses e o mês de dezembro acima do percentil 90.

Os resultados obtidos para o mês de março, fora do período de seca, podem estar relacionados com o retorno das férias escolares, época de maior contato entre crianças portadoras de microorganismos trazidos do ambiente familiar (Rosa et al., 2008; Nesti e Goilbaum, 2001). Durante o período JAS, cada ano em questão apresentou resultados diferentes. Em 2005, as internações por asma possuem um máximo local em julho. Em 2010, quatro dos cinco indicadores (exceto $DAR < 15$) possuem máximos locais neste período (internações por bronquite acima do percentil 90). Em 2015, existe um máximo local nas internações por bronquite, assim como as internações por $DAR > 60$ que apresentam valores acima do percentil 90 no mês de agosto. O mês de novembro apresenta máximos locais nas internações por DAR e $DAR < 15$, coincidindo com o pico do El Niño 2015-2016 na região (Panisset et al., 2017; Xue et al., 2016; Barnard et al., 2017).

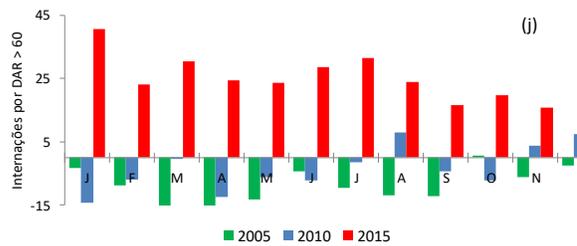
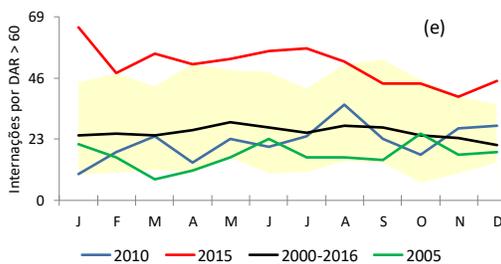
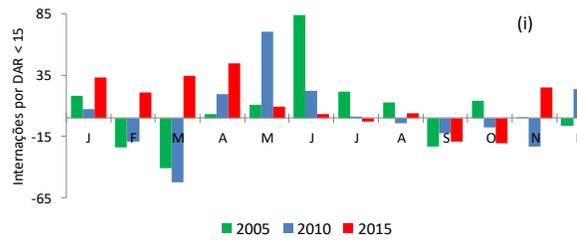
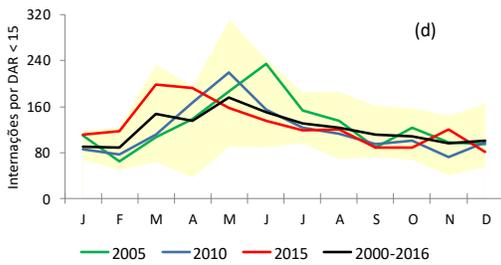
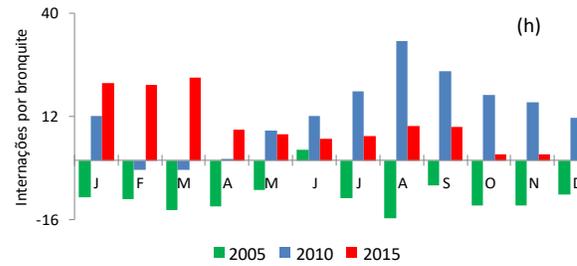
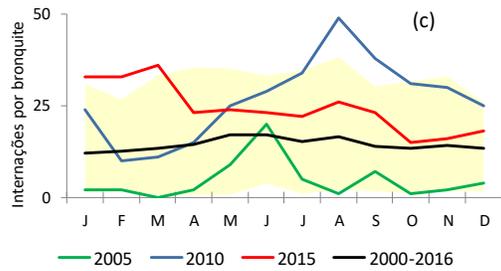
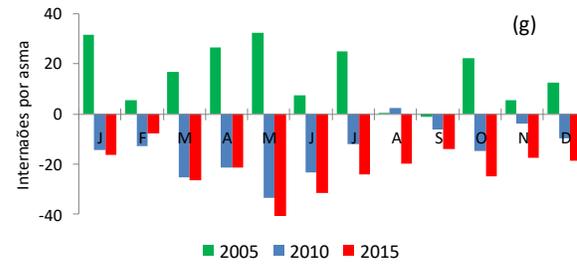
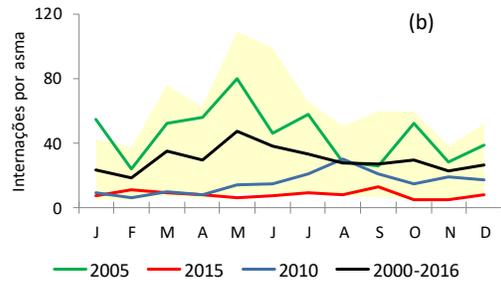
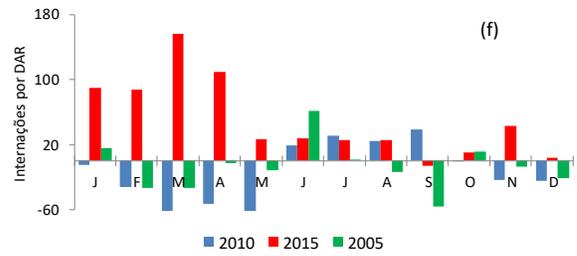
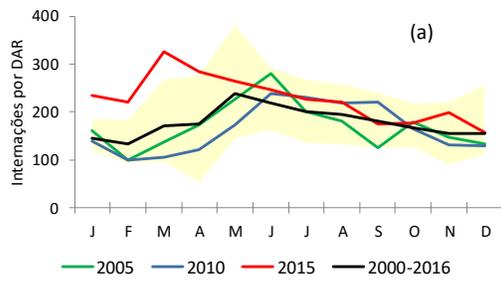


Figura 8. Médias mensais de internações em Porto Velho por: DAR (a), por asma (b), bronquite (c), DAR < 15 (d), DAR > 60 (e). As linhas pretas correspondem as médias das séries temporais estendidas, as linhas verdes correspondem aos resultados do ano de 2005, as linhas azuis correspondem aos resultados do ano de 2010 e as linhas vermelhas correspondem aos resultados do ano de 2015. As áreas em amarelo correspondem aos percentis 10 (limite inferior) e 90 (limite superior). Os gráficos (f) a (j) representam o saldo

relativo aos anos de 2005, 2010 e 2015 comparados com os resultados da série temporal estendida para as mesmas variáveis em (a) a (e), respectivamente.

4.2 – Análise interanual

Na Figura 9 foram calculadas as anomalias padronizadas referentes às médias e desvios-padrão da série entre 2000 e 2016 para cinco variáveis (linhas no gráfico), a saber: focos de calor (linha vermelha), área queimada (linha preta), precipitação (linha verde), umidade relativa (linha amarela) e temperatura média do ar (linha azul). Da mesma forma, a Figura 10 mostra as anomalias padronizadas substituindo-se o valor anual de cada indicador pelo seu valor apenas para o período julho, agosto e setembro (JAS). A anomalia padronizada é calculada através da seguinte equação:

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

Onde Z é o valor da variável normalizada, x é o valor absoluto para a variável específica, \bar{x} é sua média aritmética e σ é o seu desvio padrão (DP). É possível analisar o quanto os valores estão distantes da média aritmética, levando em consideração que estatisticamente temos: a probabilidade dos resultados estarem entre a média e $\pm 1\sigma$ é de 68,26%; entre a média e 2σ é de 95,44% e entre a média e 3σ é de 99,73% (Wilks, 1995).

A seguir, foram utilizadas as taxas por mil habitantes das internações para os cinco indicadores de saúde (barras cinzas no gráfico). As taxas foram calculadas de acordo com a Equação 2. Tal recurso foi desenvolvido devido ao significativo crescimento populacional em Porto Velho. De fato, a população total subiu de 323.867 habitantes em 2000 para 518.987 habitantes em 2016 (+ 60%), os menores de 15 anos foram de 114.239 para 129.763 (+ 13,5%) e os maiores de 60 anos subiram de 12.787 para 30.891 (+ 141,5%).

$$\text{Taxa por 1000 habitantes} = \frac{\text{valor anual do indicador de saúde}}{\text{população total ou do grupo etário para o ano em questão}} \cdot 1000 \quad (2)$$

A Figura 9 apresenta a relação entre as variáveis meteorológicas a os indicadores de saúde durante o período entre 2000 e 2016 evidenciando os anos de 2005, 2010 e 2015 como os anos de máximos para os focos de calor e área queimada que foram classificados e apresentados na Tabela 4 como: seco moderado (2005 e 2010) e seco extremo (2015). Os anos 2000, 2001 e 2014 possuem resultados significativos em pelo menos três dos cinco indicadores. Por fim, as Figuras 9, 10 e a Tabela 4 mostram que 2009 foi o ano com o maior valor do desvio padrão (DP) tanto para precipitação anual (1,69 DP) quanto para a precipitação no trimestre JAS (+4,38 DP). Este ano foi considerado até então a “cheia do século” (Filizola et al, 2014; Marengo e Espinoza, 2016; Sena et al., 2012; Vale et al., 2011).

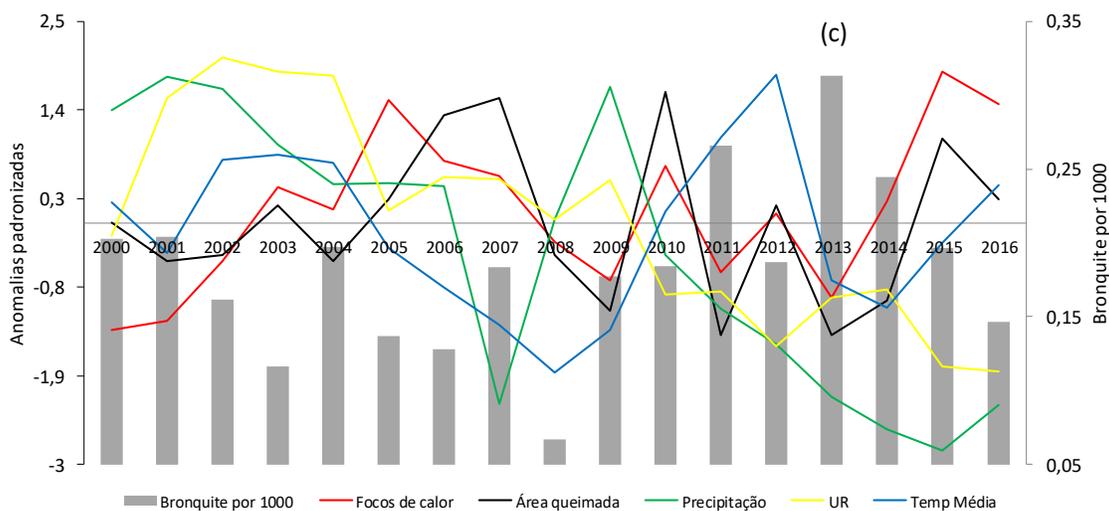
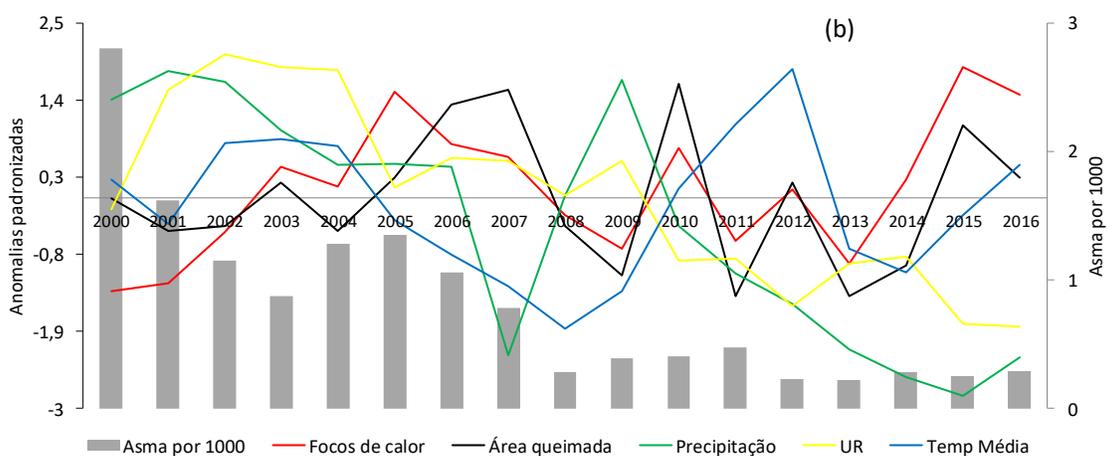
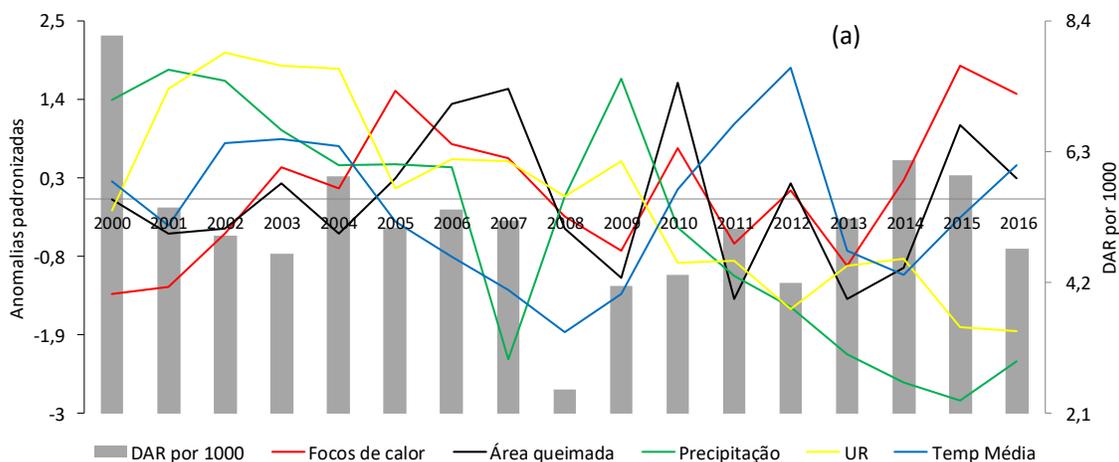
Tabela 4. Classificação da precipitação no trimestre JAS

Classificação	Período	
	Cor	JAS
$DP \geq 2$	úmido extremo	2009
$2 > DP \geq 1$	úmido moderado	2002
$1 > DP \geq 0,5$	úmido leve	2000, 2008
$0,5 > DP > -0,5$	esperado	2001, 2003, 2012
$-0,5 \geq DP > -1$	seco leve	2004, 2013
$-1 \geq DP > -2$	seco moderado	2005, 2010, 2011, 2016
$-2 \geq DP$	seco extremo	2006, 2007, 2014, 2015

Para os focos de calor, os anos de 2005 (1,52 DP), 2010 (0,71 DP), 2015 (1,87 DP) e 2016 (1,47 DP) possuem os maiores valores de anomalias positivas. Para a área queimada temos os anos de 2006 (1,34 DP), 2007 (1,55 DP), 2010 (1,62 DP) e 2015 (1,04 DP) como as maiores anomalias positivas. A precipitação tem seus maiores valores de anomalias positivas em 2000 (1,40 DP), 2001 (1,81 DP), 2002 (1,66 DP) e 2009 (1,69 DP) e os maiores valores de anomalias negativas em 2007 (-2,24 DP), 2014 (-2,55 DP), 2015 (-2,82 DP) e 2016 (-2,26 DP). De modo geral existe uma tendência de queda na umidade relativa durante o período. A anomalia positiva para temperatura possui dois valores acima de 1 DP, um no ano de 2011 (1,06 DP) e outro no ano de 2012 (1,84 DP).

As internações por DAR por 1000 habitantes possuem suas maiores taxas em 2000 (8,17), 2014 (6,16) e 2015 (5,92). Asma por 1000 habitantes possui suas maiores taxas em 2000 (2,80), 2001 (1,62) e 2005 (1,35). As internações por bronquite possuem suas maiores taxas por mil habitantes em 2013 (0,31), 2011 (0,26) e 2014 (0,24). DAR < 15 por 1000 habitantes possui suas maiores taxas em

2000 (19,39), 2014 (13,65) e 2015 (13,42). DAR > 60 por 1000 habitantes possui suas maiores taxas em 2014 (22,52), 2015 (21,04) e 2013 (20,90).



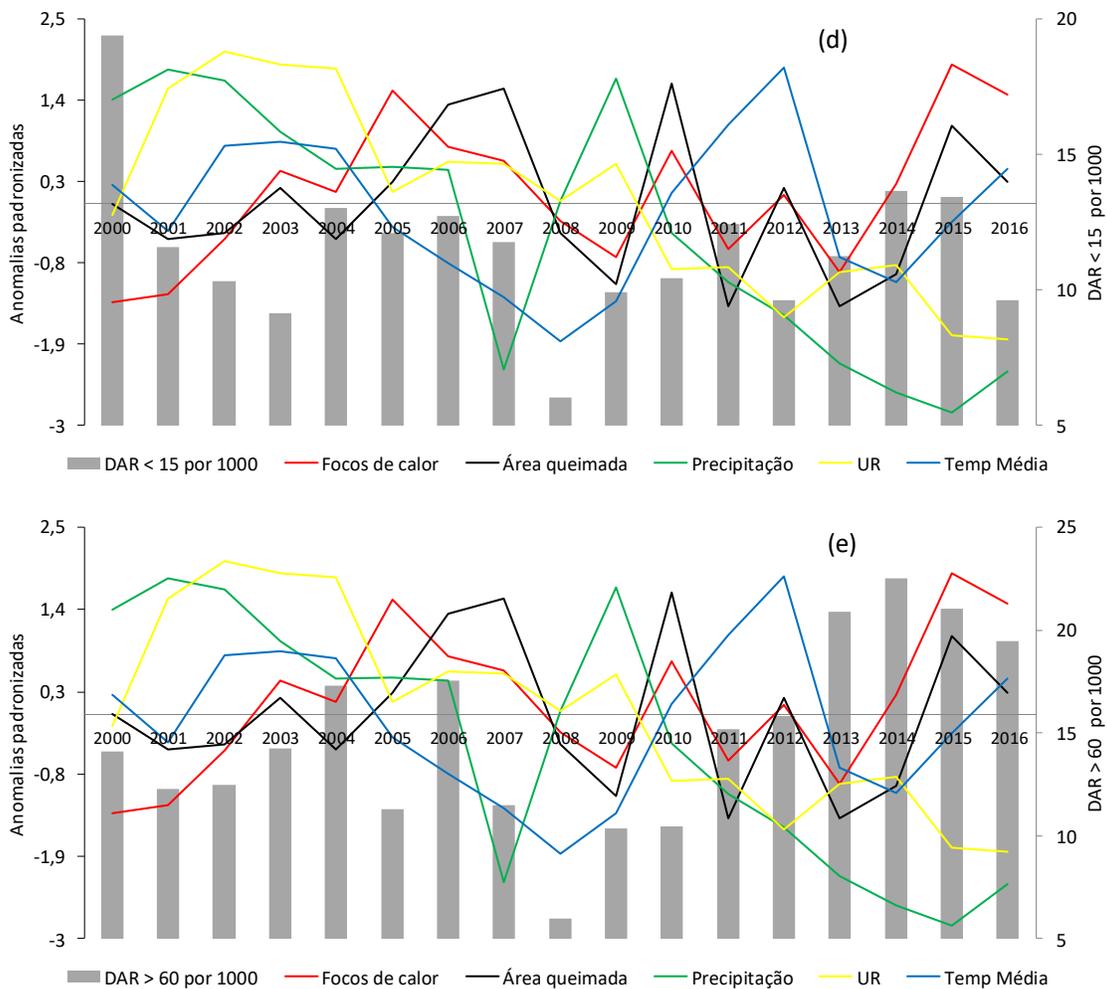
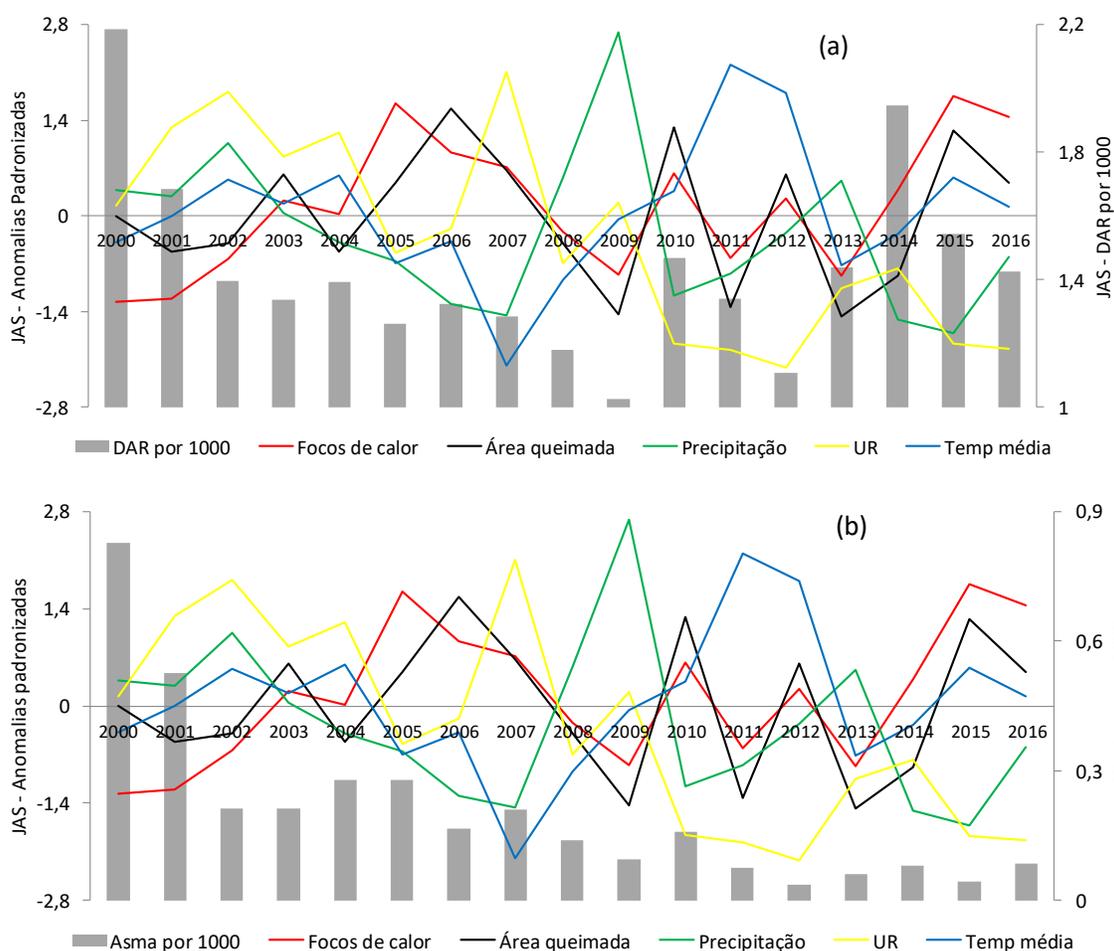


Figura 9. Variação interanual dos valores de focos de calor, área queimada, precipitação, umidade relativa e temperatura média comparados com as taxas anuais por mil habitantes de DAR (a), Asma (b), Bronquite (c), DAR < 15 (d) e DAR > 60 (e).

Os resultados da Figura 10 são específicos para o trimestre JAS que é responsável por 84% dos focos de calor para o período 2000-2016. Para os focos de calor no período seco nota-se que 2005 (1,65 DP), 2015 (1,74 DP) e 2016 (1,45 DP), possuem os maiores valores de anomalias padronizadas. Para a área queimada, os maiores resultados estão em 2006 (1,57 DP), 2010 (1,28 DP) e 2015 (1,24 DP). Os valores de precipitação possuem seus maiores valores de anomalias positivas em 2002 (1,06 DP), 2009 (2,69) e 2013 (0,51) e maiores anomalias negativas em 2007 (-1,46 DP), 2015 (-1,71 DP) e 2014 (-1,51 DP), sendo 2015 o ano mais seco para o trimestre JAS. Semelhante aos resultados anuais nota-se uma tendência de queda nos valores de umidade relativa. As maiores anomalias positivas de temperatura ocorreram em 2011 (2,33 DP) e 2012 (2,27 DP), destaque também para a anomalia negativa do ano de 2007 (-2,18 DP).

As maiores taxas de DAR por 1000 habitantes da Figura 10 para o trimestre JAS ocorreram em 2000 (2,18), 2014 (1,94) e 2001 (1,68). O trimestre JAS do ano de 2009 foi o período mais úmido da série e possui a menor taxa com apenas 1,09 internações por 1000 habitantes. Asma por 1000 habitantes possui suas maiores taxas em 2000 (0,82), 2001 (0,52), 2004 (0,27) e 2005 (0,27). Bronquite por 1000 habitantes exibe suas maiores taxas em 2010 (0,08), 2013 (0,08) e 2014 (0,10). DAR > 15 por 1000 habitantes possui suas maiores taxas em 2000 (5,20), 2001 (3,72) e 2014 (4,63). DAR > 60 por 1000 habitantes possui suas maiores taxas em 2013 (20,90), 2014 (22,52) e 2015 (21,04).



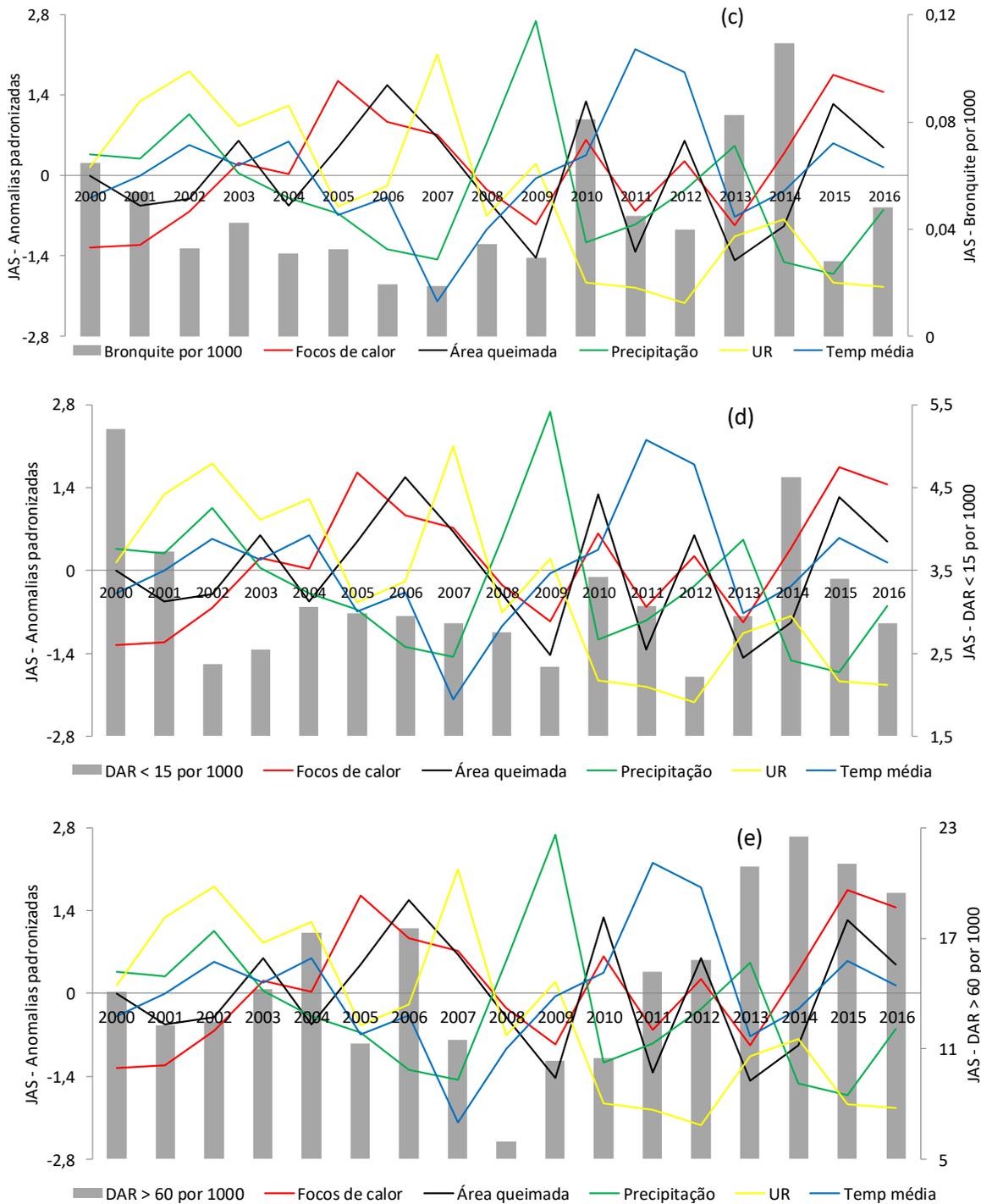


Figura 10. Variação interanual para o trimestre julho, agosto e setembro (JAS) para os valores de focos de calor, área queimada, precipitação, umidade relativa e temperatura média comparados com as taxas anuais do mesmo trimestre por mil habitantes de DAR (a), Asma (b), Bronquite (c), DAR < 15 (d) e DAR > 60 (e).

Tanto para o período anual quanto para o trimestre JAS, anos como 2000, 2001, 2013 e 2014 possuem altas taxas de internações

sem apresentarem altos índices de focos de calor ou de área queimada em Porto Velho. Como dito anteriormente, esse fenômeno pode estar relacionado com o movimento de massas de ar que deslocam os poluentes atmosféricos para regiões distintas daquelas onde ocorrem os incêndios florestais (Artaxo et al., 2006; Bicudo, 2005).

4.3 – Classificação através da precipitação

Com o objetivo de quantificar o quão seco (ou úmido) cada trimestre JAS apresenta-se, foi realizada uma classificação para cada ano da série temporal entre 2000 e 2016 comparado com os valores médios da série temporal de precipitação entre 1975-2016. Os valores na coluna da esquerda e do centro na Tabela 4 representam a classificação de acordo ao desvio-padrão. As cores caracterizam a variação desde o úmido extremo (azul escuro) até o seco extremo (vermelho).

A Figura 11 apresenta a dispersão para cada ano de acordo com as anomalias padronizadas de focos de calor (eixo horizontal) e cada um dos cinco indicadores de saúde (eixo vertical). As cores representam a classificação anual mostrada na Tabela 4. Por fim, o diâmetro de cada círculo da Figura 11 é proporcional ao resultado de sua anomalia padronizada comparada com a média da série temporal 1975-2016, ou seja, quanto maior o círculo que representa o ano, mais anômalo ele pode ser considerado (positivamente ou negativamente).

De acordo com os resultados das anomalias padronizadas da precipitação para cada ano (entre 2000 e 2016) no trimestre JAS entre 1975-2016 obteve-se a classificação anual para o período apresentada na Tabela 4. Nota-se que em Porto Velho, a intensidade do período seco (JAS) tem aumentado, podemos ver que 8 (47%) dos anos estudados, encontram-se nas classificações seco moderado e seco extremo. Por outro lado, apenas 2 (11%) anos estão entre úmido moderado e úmido extremo. Tendência esta, encontrada em resultados anteriores para Amazônia (Costa e Foley, 1999; Dai et al., 2009; Gloor et al., 2013; Trenberth, 2011) de aumento e intensidade das secas na região.

Na Figura 11, as 7 cores representam a classificação que cada ano recebeu na Tabela 4. O diâmetro do círculo é proporcional ao seu resultado de anomalia padronizada de precipitação em relação ao período 1975-2016. A tendência “natural” a ser considerada, seria aquela em que o trimestre JAS em anos mais secos também possuem maiores valores dos indicadores de saúde (concentração de pontos vermelhos e amarelos no quadrante superior direito); analogamente anos mais úmidos teriam valores menores dos indicadores de saúde (concentração de pontos azuis e verdes no quadrante inferior esquerdo). No entanto, observa-se alguns anos não classificados como secos com resultados altos para anomalias padronizadas em diversos indicadores de saúde, sendo o melhor exemplo o ano de 2000. Os resultados das anomalias padronizadas apresentados abaixo estão em função do desvio-padrão (DP).

Para as internações por DAR, o ano 2000 (2,72 DP) foi classificado como úmido leve e mesmo assim possui o maior valor de anomalia padronizada positiva das internações por DAR de toda a série com resultado acima dos anos secos extremos como 2014 (1,85 DP) e 2015 (0,40 DP). Por outro lado, o trimestre JAS de 2009 foi o único classificado como úmido extremo e também possui a maior anomalia negativa das internações por DAR da série (-1,46 DP).

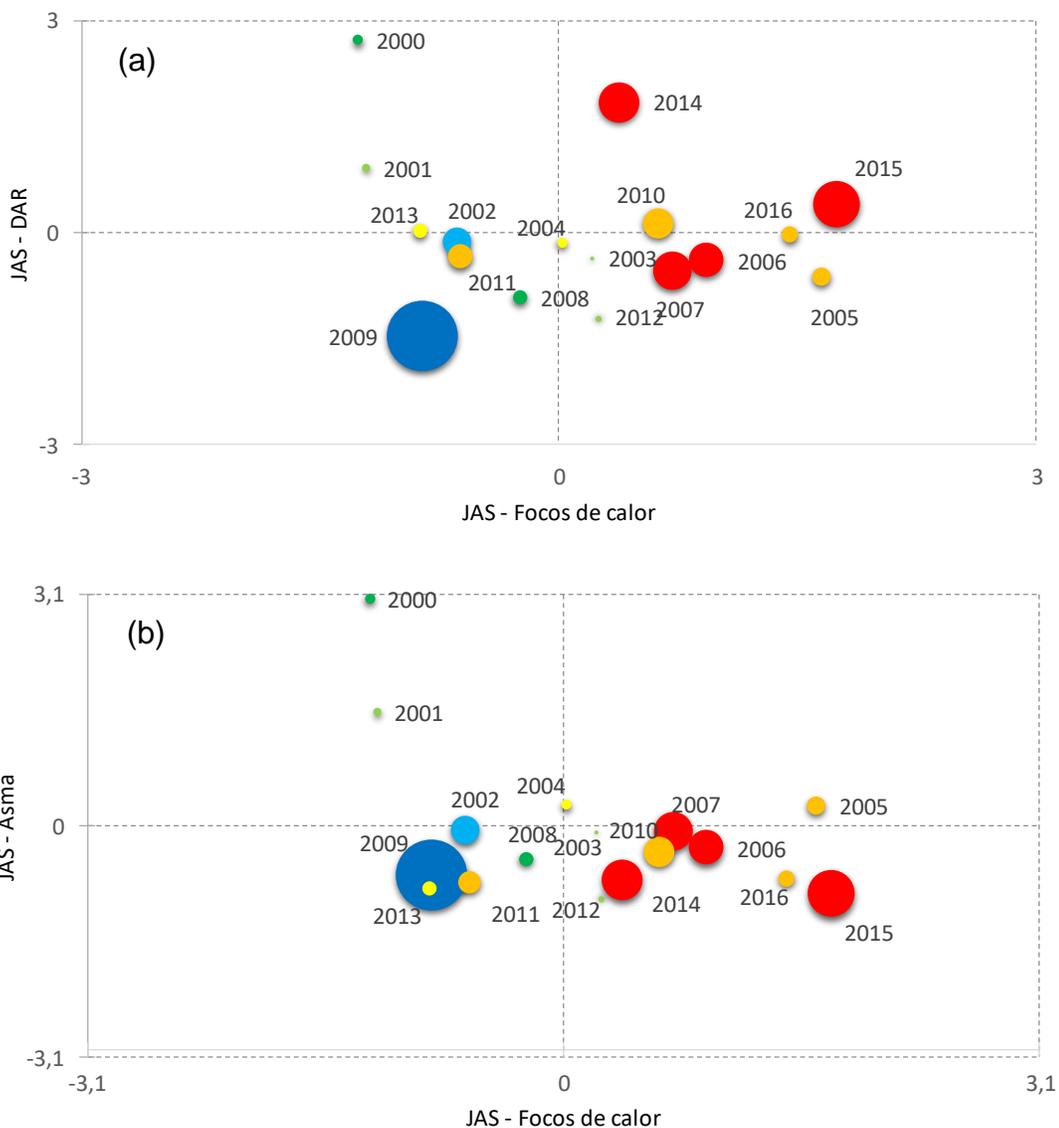
Para as internações por asma o mesmo padrão “irregular” ocorre com as internações no trimestre JAS dos anos 2000 (3,04 DP) e 2001 (1,52 DP). Anos que não foram secos em Porto Velho, porém possuem anomalias significativas também nas internações por asma.

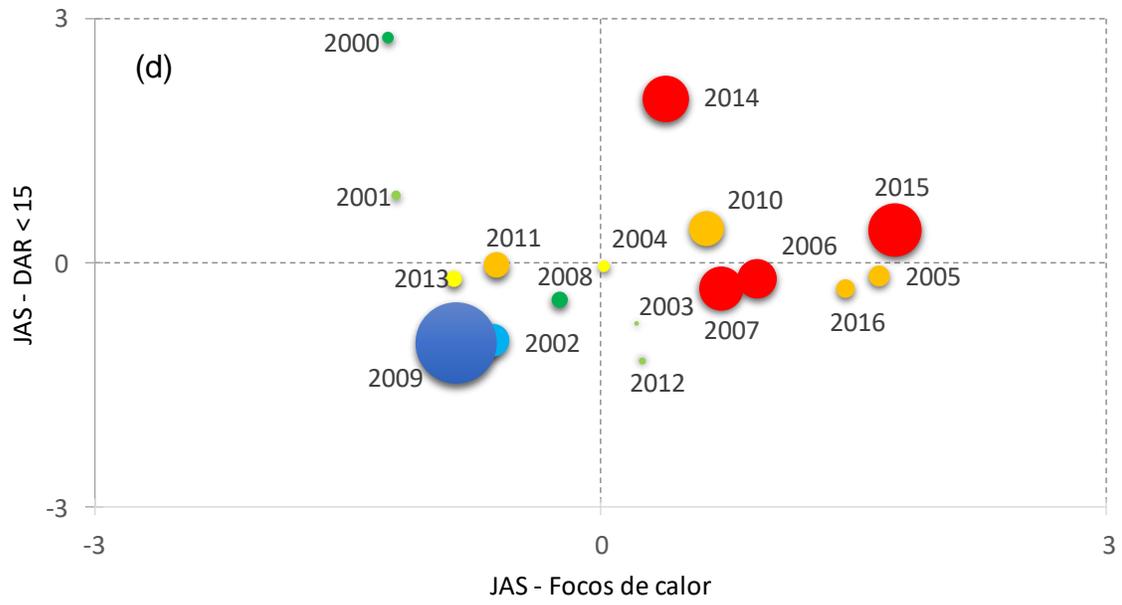
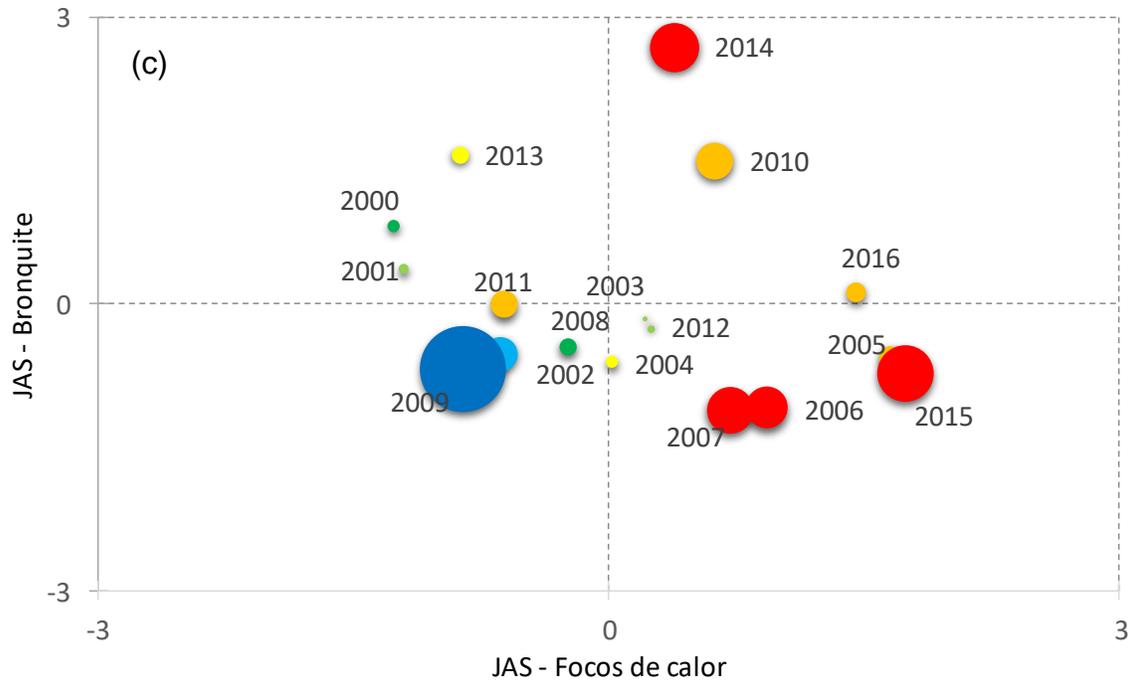
Nas internações por bronquite, os anos de 2010 (1,51 DP), 2013 (1,56 DP) e 2014 (2,69 DP) considerados seco moderado, seco leve e seco extremo respectivamente, apresentam os maiores valores de anomalias padronizadas. Anos de seca extrema como 2007, 2006 e 2015 possuem anomalias padronizadas negativas.

Para as internações por DAR < 15, o ano 2000 (2,76 DP) apresenta mesmo sendo um ano classificado como úmido leve, a maior anomalia das internações, seguido do ano de 2014 (2,01 DP) classificado como seco extremo.

Finalmente para as internações por DAR > 60, os anos de 2013 (1,36 DP), 2014 (1,92 DP), 2015 (1,39 DP) e 2016 (1,20 DP) possuem os maiores valores de

anomalias padronizadas das interações. Os anos de 2014 e 2015, além de estarem classificados com secos extremos, possuem anomalias positivas de focos de calor, assim com o ano de 2016 que está classificado como seco moderado. Já o ano de 2013 possui anomalia negativa para os focos de calor e está classificado com seco moderado.





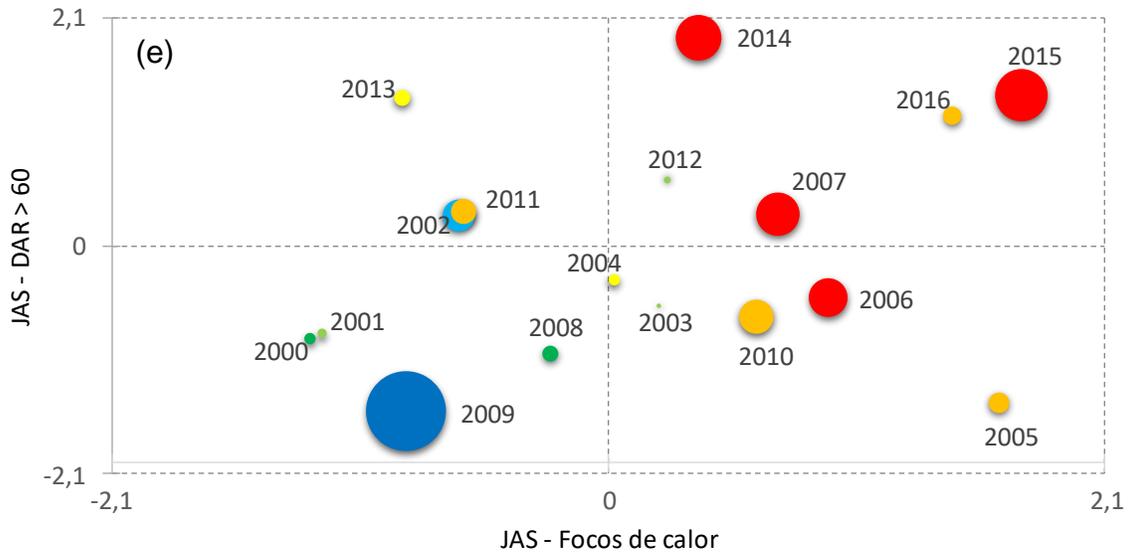


Figura 11. Gráficos de dispersão para o trimestre julho, agosto e setembro (JAS). As cores estão relacionadas com a classificação da precipitação obtida na Tabela 4. O diâmetro de cada ponto está relacionado com o resultado da anomalia padronizada da precipitação. Focos de calor X DAR (a), Asma (b), Bronquite (c), DAR < 15 (d) e DAR > 60 (e).

Na Tabela 5 é apresentada a matriz de correlação linear de Pearson (Wilks, 1995) entre todas as variáveis em questão. Regressões lineares entre variáveis atmosféricas e de saúde foram utilizadas por Aragão et al. (2016) para a construção de modelos estatísticos que representassem a função entre as grandezas, ajudando na melhor compreensão dos resultados. Os valores em negrito representam aqueles que possuem nível de significância (p-valor) abaixo de 0,05. Os valores da diagonal principal são todos iguais a 1, pois são comparações entre variáveis iguais. Os valores acima da diagonal principal em vermelho representam a correlação direta (mês a mês) entre os valores de todas as variáveis para o trimestre JAS. Valores abaixo da diagonal principal em azul representam as correlações entre as variáveis (focos de calor, área queimada, ocorrência de fumaça, precipitação, umidade relativa (UR), temperatura mínima, temperatura média, temperatura máxima e amplitude térmica) do trimestre JAS com os resultados de todas as variáveis para o trimestre posterior outubro, novembro e dezembro (OND). Os resultados em verde representam a correlação entre os cinco indicadores de saúde nos trimestres JAS e OND.

Para os resultados entre as variáveis no período JAS (em vermelho) nota-se que as correlações mais significativas com os indicadores estão na linha umidade relativa: DAR (-0,25), Asma (0,35), Bronquite (-0,54), DAR < 15 (0,08) e

DAR > 60 (-0,40). Todas com significância abaixo de 0.05, ressaltando o valor positivo entre UR x Asma. Resultados mais isolados são encontrados entre: amplitude térmica x DAR (0,38); precipitação x DAR > 60 (-0,31).

Para os resultados do período JAS comparados com os resultados do período OND em azul, as maiores correlações aparecem também na coluna da UR: DAR (-0,05), Asma (0,46), Bronquite (-0,41), DAR < 15 (0,19) e DAR > 60 (-0,30). Todas com níveis de significância abaixo de 0,05.

A matriz indica que tanto na comparação mês a mês, como na comparação com os três meses posteriores, a variável que possui o maior peso nos indicadores de saúde é a umidade relativa. Embora, isso não descarte a relevância das outras variáveis. Outros autores em cidades diferentes da Amazônia utilizando umidade relativa e os mesmos indicadores chegaram a correlações tanto positivas quanto negativas para essa questão (Amorim et al., 2013; Castro et al., 2016). Indicando não haver um padrão único para a região devido a seu tamanho e diversidade natural.

Tabela 5. Matriz de correlação. Resultados em vermelho referentes ao período JAS, resultados em azul são comparações entre as variáveis meteorológicas em JAS e os resultados de todas as variáveis em (OND). Resultados em verde representam a correlação entre os indicadores em JAS e em OND. Resultados em negrito representam correlações com valores de significância (p-valor) abaixo de 0,05.

	Focos de calor	Área queimada	Ocorrência de fumaça	Precipitação	UR	T. min.	T. méd.	T. max.	Amplitude térmica	DAR	Asma	Bronquite	DAR < 15	DAR > 60
Focos de calor	1	0,76	0,69	-0,04	-0,38	0,02	0,33	0,35	0,35	-0,11	-0,29	-0,06	-0,25	0,19
Área queimada	-0,38	1	0,60	0,14	-0,16	0,16	0,34	0,30	0,23	-0,16	-0,06	-0,14	-0,23	-0,01
Ocorrência de fumaça	-0,14	-0,19	1	-0,21	-0,47	-0,14	0,20	0,32	0,41	0,05	-0,08	0,18	-0,11	0,21
Precipitação	-0,06	0,14	-0,28	1	0,28	0,21	0,10	-0,02	-0,13	-0,29	0,02	-0,07	-0,16	-0,31
UR	0,14	0,38	-0,09	0,33	1	0,13	-0,48	-0,71	-0,80	-0,25	0,35	-0,54	0,08	-0,40
T. min.	-0,10	-0,08	-0,19	0,01	0,16	1	0,61	0,31	-0,17	-0,03	0,03	-0,20	-0,08	0,10
T. méd.	-0,29	-0,37	-0,13	-0,05	0,01	-0,01	1	0,88	0,61	0,00	-0,19	0,09	-0,17	0,12
T. máx.	-0,23	-0,35	-0,04	-0,06	-0,12	-0,19	-0,01	1	0,87	0,07	-0,25	0,26	-0,13	0,15
Amplitude térmica	-0,17	-0,29	0,02	-0,06	-0,16	-0,29	-0,05	0,13	1	0,09	-0,28	0,38	-0,09	0,11
DAR	0,04	-0,03	-0,03	-0,24	-0,05	-0,17	-0,21	-0,11	-0,02	1	0,31	0,31	0,72	0,50
Asma	-0,14	0,00	-0,17	-0,04	0,46	0,06	-0,15	-0,20	-0,24	0,36	1	-0,35	0,69	-0,42
Bronquite	-0,09	-0,15	0,01	-0,06	-0,41	-0,18	0,05	0,19	0,29	0,38	-0,35	1	-0,01	0,32

DAR < 15	-0,04	0,04	-0,14	-0,19	0,19	-0,14	-0,24	-0,19	-0,12	0,83	0,68	0,13	1	0,06
DAR > 60	0,06	-0,07	0,10	-0,26	-0,30	0,03	0,04	0,06	0,04	0,44	-0,30	0,46	0,05	1

4.4 – Análise sobre a ocorrência de fumaça

Os gráficos a seguir são exclusivos para os meses em que foram registradas ocorrência de fumaça na estação Governador Jorge Teixeira. Na Figura 12, o tamanho das barras representa a quantidade de ocorrências (eixo vertical). Além disso, são calculadas para cada indicador, a taxa de aumento ou decréscimo no valor absoluto das internações comparadas com a média 2000-2016 para o mês em questão. As cores das barras representam este percentual que varia do vermelho (acima de 30%) até o azul escuro (abaixo de 30%) de acordo com a legenda da Figura 12 (a). Estes gráficos indicam qual a influência da fumaça nas internações. Ao todo, dos 204 meses entre 2000 e 2016, apenas 59 (28,9 %) tiveram registros de fumaça. Todos os gráficos ((a)-(e)) possuem o mesmo formato para as barras verticais, alterando-se apenas o percentual acima de cada barra e sua respectiva cor.

Como pode ser observado, para as internações por DAR os maiores aumentos percentuais seguidos estão representados em vermelho e são correspondentes ao período seco do ano de 2014. Períodos secos de anos específicos com significativas ocorrências de fumaça também possuem aumento no percentual de internações: julho (24%), agosto (23%) e setembro (19%) de 2000; setembro (7%); julho (10%), agosto (9%) e setembro (15%) de 2010; julho (8%) agosto (10%) de 2015; e julho (29%), agosto (26%) e setembro (13%).

Nas internações por asma, os maiores aumentos percentuais estão concentrados no período seco do ano 2000, com resultados acima de 150 % em todo período. Meses como outubro de 2005 (74%) e outubro de 2006 (41%); setembro de 2006 (7%), setembro de 2007 (11%) e agosto de 2010 (8%) possuem altos índices de fumaça e aumento significativo nos índices de internação por asma.

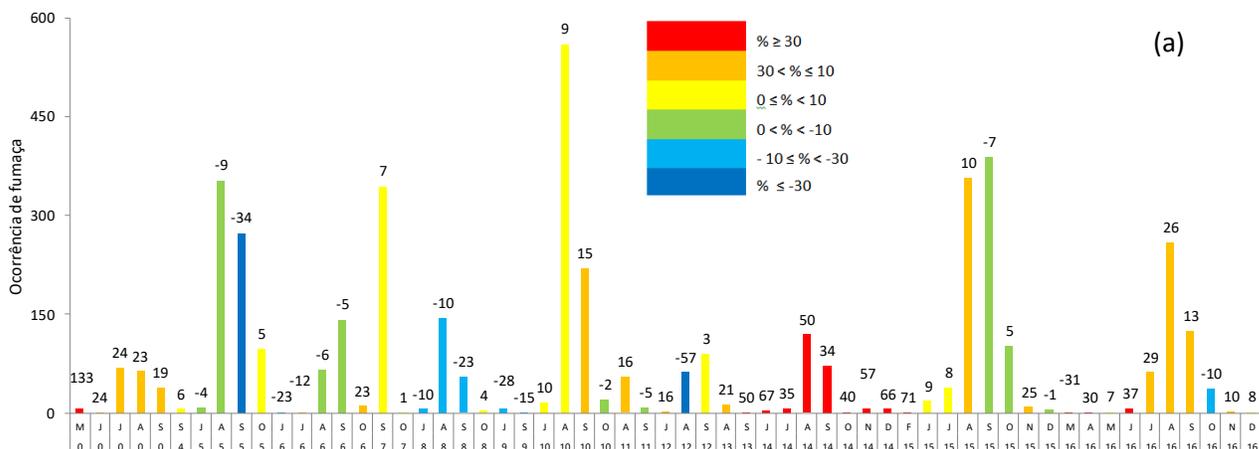
No caso das Internações por bronquite, os maiores aumentos percentuais estão concentrados nos anos de 2008 à 2015. Destaque para os meses com alto índice

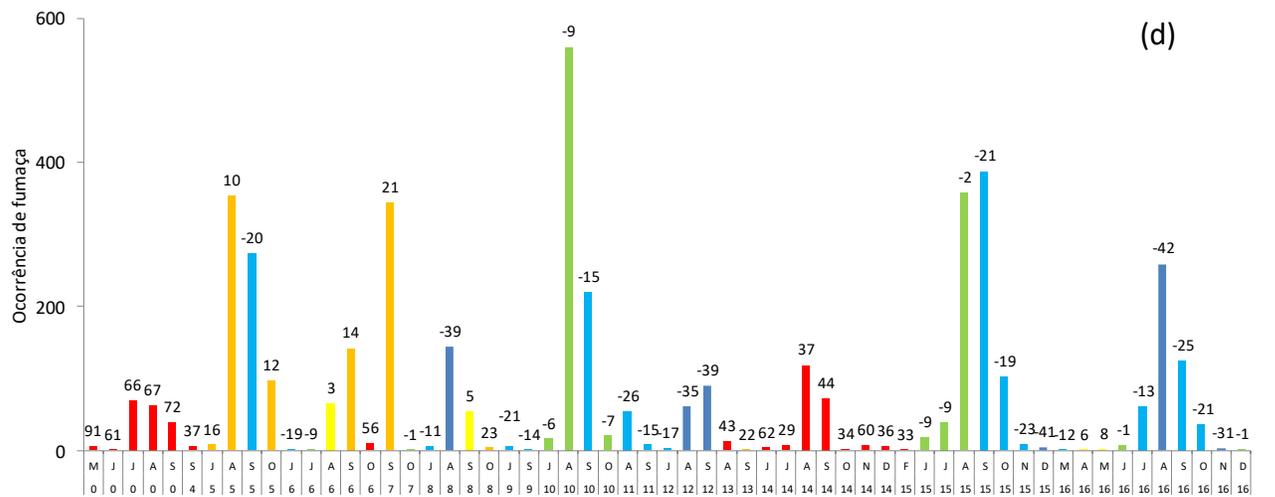
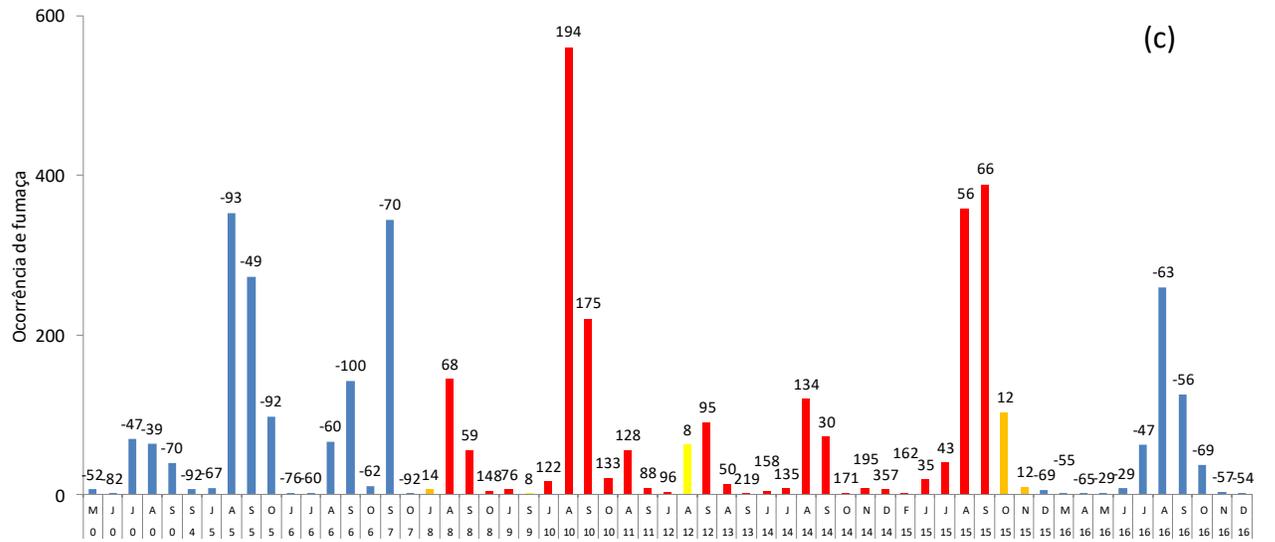
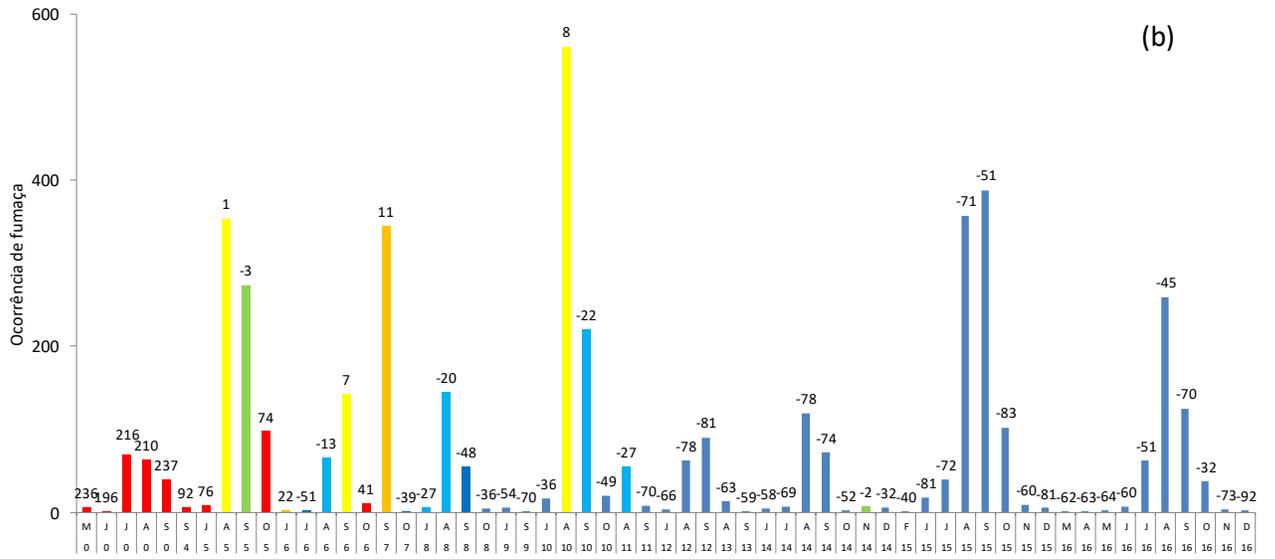
de fumaça: agosto (194%) e setembro (175%) de 2010; agosto (56%) e setembro (66%) de 2015. Por outro lado, meses do período seco de outros anos com muita ocorrência de fumaça apresentaram percentuais muito negativos para as internações por bronquite.

Para as Internações por DAR < 15, os maiores aumentos percentuais estão concentrados nos anos de 2010, 2013 e 2014 com valores acima de 30%. Meses específicos com significativa ocorrência como agosto de 2005 (10%), setembro de 2006 (12%) e setembro de 2007 (21%) possuem aumento relevante no percentual de internações por DAR < 15.

Por fim para as Internações por DAR > 60, os maiores aumentos percentuais estão concentrados nos anos de 2013 a 2016 com valores acima de 30%. Meses isolados como setembro de 2007 (50%), agosto de 2010 (28%), agosto de 2012 (28%) e setembro de 2012 (24%) também possuem significantes valores de internações por DAR > 60.

A alta taxa de internações em meses fora do período de seca observada em vários anos pode ser explicada pelos ventos de baixos níveis e pela circulação regional que traz poluentes derivados das queimadas de regiões bem mais remotas, fato já observado em trabalhos anteriores (Artaxo et al., 2006; Bicudo, 2005), tais poluentes não seriam gerados dentro do município de Porto Velho. Analogamente, os ventos podem dispersar a poluição, fazendo com que a fumaça gerada na região de Porto Velho tenha maior efeito em outras regiões (Artaxo et al., 2006; Silva Dias et al., 2002).





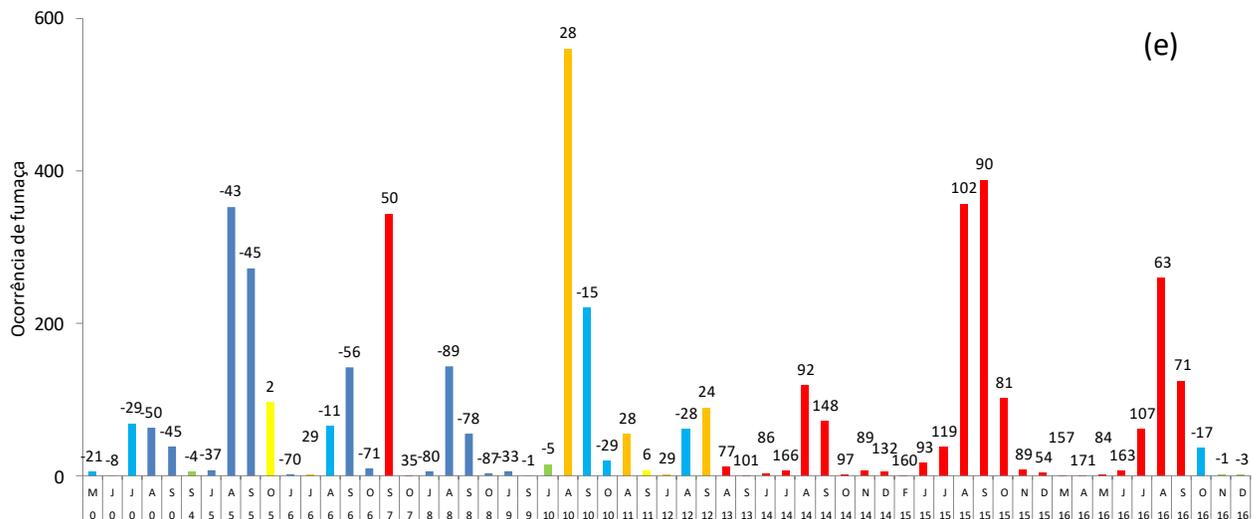


Figura 12. Eixo vertical representa o valor absoluto dos meses em que foram registradas ocorrência de fumaça entre janeiro de 2000 e dezembro de 2016. Os valores acima das barras representam o aumento ou redução percentual nas internações no mês em questão de acordo com a média do período 2000-2016 para: DAR (a), asma (b), Bronquite (c), DAR < 15 (d) e DAR > 60 (e)

Por fim a Tabela 6 apresenta o aumento percentual da taxa de internações por mil habitantes (vide Equação 2) para cada um dos cinco indicadores de saúde para os anos de 2005, 2010 e 2015. Foram utilizadas quatro divisões: o aumento da taxa anual, o trimestre julho-agosto-setembro (JAS), o trimestre agosto-setembro-outubro (ASO) e o trimestre setembro-outubro-novembro (SON). Foram calculadas as taxas médias de internações (utilizando o período 2000-2016) para os quatro períodos e comparadas com as taxas equivalentes nos anos de 2005, 2010 e 2015. Os resultados em vermelho são aqueles que apresentaram aumento percentual.

O ano de 2005 possui um aumento no período anual de aproximadamente 50%, com aumento nos três trimestres acima de 20% para as internações por asma. Em 2010, o aumento anual foi pequeno (3%), porém os resultados para os trimestres estão acima de 70%, chegando a 159% em ASO para as internações por bronquite. Para o ano de 2015 temos dois indicadores com aumentos significativos: internações por DAR < 15 e DAR > 60. As internações por DAR < 15 possuem aumento anual de 15%, com aumentos trimestrais entre 9% e 17%. As internações por DAR > 60 possuem aumento anual de 38%, com aumentos trimestrais acima de 30%. É possível delinear uma dinâmica diferente entre as internações por asma e os demais indicadores. Estas tiveram grande aumento em

2005 e grandes decréscimos em 2010 e 2015. Estudos anteriores mostram que aumentos nas internações por asma estão relacionados aos dias mais frios (Amorim et al., 2013; Lecha, 1998; Rusticucci et al., 2001). De fato, os valores de temperatura mínima em 2005 estão abaixo da média em JAS e a temperatura média e máxima também estão abaixo da média em agosto e setembro (Figura 5 (f),(g),(h)), o que não ocorre nos anos de 2010 e 2015. Este fato proporciona dias mais frios que o normal no período seco de 2005.

Tabela 6. Variação percentual da taxa por 1000 habitantes dos indicadores em 2005, 2010 e 2015. Período anual, julho-agosto-setembro (JAS), agosto-setembro-outubro (ASO) e setembro-outubro-novembro (SON). Períodos em que ocorreram aumento no percentual estão em vermelho.

Taxa por 1000 habitantes	2005				2010				2015			
	Anual	JAS	ASO	SON	Anual	JAS	ASO	SON	Anual	JAS	ASO	SON
DAR	-2,67	-11,91	-7,54	-7,95	-17,05	2,60	1,87	-6,80	13,47	7,84	-12,43	-9,87
Asma	47,71	24,15	36,93	44,19	-55,71	-29,64	-24,84	-34,04	-72,63	-80,47	-73,13	-74,97
Bronquite	-23,07	-28,53	-77,6	-73,70	3,56	79,42	159	129,14	10,77	-38,49	27	12,98
DAR < 15	4,29	-3,60	1,33	-6,08	-10,02	10,48	-11,08	-6,08	15,69	9,92	16,03	16,61
DAR > 60	-25,53	-38,63	-17,87	-10,53	-30,90	-17,41	-12,95	-17,86	38,80	37,33	34,11	31,34

5 – CONCLUSÕES

Assim como toda a bacia Amazônica, Porto Velho também experimenta os efeitos das variações climáticas que geram riscos para o meio ambiente e para os seus habitantes. Adicionado a isto, secas como as de 2005, 2010 e 2015 agravam ainda mais os efeitos deletérios das queimadas. O aprimoramento das técnicas de sensoriamento remoto tem melhorado a localização e a quantificação tanto dos eventos de seca quanto dos incêndios florestais que ocorrem na região.

Com relação ao objetivo do trabalho, os resultados mostram que cada um dos três anos analisados possui um aumento nas taxas de internações, porém em indicadores diferentes: 2005 (internações por asma); 2010 (internações por

bronquite) e 2015 (internações por DAR < 15 e DAR > 60). Estes resultados, em especial para o ano de 2015, estão relacionados não somente as queimadas como também as secas que ocorreram no período compreendido entre os anos de 2014 e 2016. As queimadas e as secas de anos anteriores aos anos de estudo, também podem influenciar nos resultados. Porém, como mostrado nos resultados, apesar de todos os três anos serem classificados como secos, cada um possui uma configuração diferente. A seca do ano de 2005 possui concentração de focos de incêndios em Porto Velho e em regiões circunvizinhas. Para a seca de 2010, não houve uma concentração semelhante à do ano de 2005, mas possui grande concentração ao sul de Porto Velho com ventos consideráveis provenientes das regiões com grande concentração de queimadas localizadas na Bolívia. Finalmente para seca do ano de 2015, além da concentração de focos de incêndios na região de Porto Velho, o campo de vento apresenta uma configuração com ventos fracos e sem uma direção predominante. Os três anos também possuem valores abaixo da média de precipitação (exceto em agosto de 2005) e umidade para o período JAS.

Os resultados das internações por asma em 2005 parecem ter mais relação com as características da seca deste ano do que com o período de queimadas. Já em 2015, os resultados das internações por DAR, DAR < 15, DAR > 60 e bronquite é que parecem estar mais relacionados com a seca desse ano do que com o período de queimadas, visto que quando iniciou-se o período de queima a região já atravessava um período de seca que iniciara em 2014. Por outro lado, eventos isolados e cumulativos também podem influenciar os resultados dos indicadores. Por exemplo, o mês de agosto de 2010 que possui valores quase nulos de precipitação com o menor valor para a UR dos três anos e os níveis mais elevados de internações por bronquite de todos os anos, além de máximos locais nas internações por DAR e DAR > 60. No ano de 2015, o período de seca inicia no mês de agosto e se estende até o mês de dezembro, diferentemente do ano de 2005 e 2010 que têm valores de precipitação acima da média no mês de outubro. Para 2015, o mês de novembro é o que possui os máximos locais nas internações por DAR e DAR < 15.

Em vista dos argumentos apresentados pode-se concluir que sim, queimadas e secas têm influência nas internações por doenças do aparelho respiratório. No entanto, devido à configuração meteorológica diferente de cada ano e o período de seca correspondente, cada evento exerce influência sobre indicadores diferentes, afetando de forma distinta a população da cidade de Porto Velho.

Pela observação dos aspectos analisados na matriz de correlação, fica evidenciado que a variável meteorológica mais relevante para os indicadores de saúde em questão é a umidade relativa. Todavia, as condições meteorológicas raramente podem ser analisadas em separado das condições sociais não avaliadas neste trabalho que podem influenciar os registros das internações.

De fato, pesquisas futuras entre meteorologia e saúde (em especial utilizando eventos extremos), podem incluir um número maior de variáveis meteorológicas e/ou indicadores de saúde, englobando um número maior de faixas etárias da população, partição por gênero, indicador social e também podem incluir outras cidades (ou regiões) tanto da Amazônia quanto de todo o Brasil, levando ao aprimoramento dos efeitos deletérios de tais eventos sobre toda a sociedade.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ackerman A S, Toon O B, Taylor J P, Johnson D W, Hobbs P V, Ferek R J. Effects of aerosols on cloud albedo: Evaluation of Twomey's parameterization of cloud susceptibility using measurements of ship tracks. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 57, p. 2684-2695, 2000.

Amorim J R G, Oliveira A M, Neves D, Oliveira G P. Associação entre variáveis ambientais e doenças respiratórias (asma e bronquite) em crianças na cidade Macapá-AP no período 2008 a 2012. **Planeta Amozônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, v. 5, p 141-153, 2013.

Annesi-Maesano I. Epidemiological evidence of the occurrence of rhinitis and sinusitis in asthmatics. **Allergy**, v. 54, p. 7-13, 1999.

Antunes M A H. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. **Ação Ambiental**, v. 12, p. 24-27, 2000.

Aragão L E O C, Marengo J A, Cox P M, Betts R A, Costa D, Kaye N, Alves L, Smith L T, Cavalcanti I F A, Sampaio G, Anderson L O, Horta M, Hacon S, Reis V L, Fonseca P A M, Brown I F. Assessing the influence of climate extremes on ecosystems and human in southwestern Amazon supported by the Pulse-Brazil Platform. **American Journal of Climate Change**, v. 5, p. 399-416, 2016.

Aragão L E O C, Shimabukuro Y E, Cardoso M, Anderson L O, Lima A, Poulter B. Frequência de queimadas durante secas recentes. **Eventos Climáticoa Extremos**, p. 259-279, 2016b.

Artaxo P, Gatti L V, Leal A M C, Longo K M, Freitas S R, Lara L L, Pauliquevis T M, Procópio A S, Rizzo L V. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amaz**, v. 35, p. 185-198, 2005.

Artaxo P, Oliveira P H, Lara L L, Pauliquevis T M, Rizzo L V, Junior C P, Paixão M A, Longo K M, Freitas S, Correia A L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis bigênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21 (3a), p.168-190, 2006.

Barlow J, Peres C A. Ecological responses to El Nino-induced surface fires in central Brazilian Amazonia: management implications for flammable tropical forests. **Philosophical Transactions of The Royal Society B-Biological Sciences**, v. 359, p.1443,367-380, 2004.

Barnard P L, Hoover D, Hubbard D M, Snyder A, Ludka B C, Allan J, Kaminsky G M, Ruggiero P, Gallien T W, Gabel L, McCandless D, Weiner H M, Cohn N, Anderson D L, Serafin K. A. Extreme oceanographic forcing and coastal response due to the 2015–2016 el Niño. **Nat Commun.** <https://doi.org/10.1038/ncomms14365>, v. 8, p. 14365, 2017.

Batista A C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, v. 34 (2), p. 237-241, 2004.

BD queimadas, CPTEC-INPE. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/> (atualizado para <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>). Acesso em 10 de setembro de 2016.

Bettencourt A R C, Oliveira M A, Fernandes A L G, Bogossian M. Educação de pacientes com asma: atuação do enfermeiro. **J Pneumol**, v. 28 (4), p. 193-200, 2002.

Bicudo F. O mapa dos ventos; correntes de ar levam umidade ou fumaça da Amazônia até a bacia do Prata. **Pesquisa Fapesp**, v. 114, p. 48-51, 2005.

Branco A, Ferrari G F, Weber S A T. Alterações orofaciais em doenças alérgicas de vias aéreas. **Rev Paul Pediatr**, v. 25 (3), p. 266-270, 1999.

Brickus L S R e Neto F R A. A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**, v. 22 (1), p. 65-74, 1999.

Carmo C N, Hacon S, Longo K M, Freitas S, Ignotti E, de Leon A P, Artaxo P. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. **Revista Panam Salud Publica**, v. 27, n. 1, p. 10-16, 2010.

Castro H, Gonçalves K S, Hacon S S. Tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e as queimadas no Estado de Rondônia/Brasil – período entre 1998 e 2005. **Cienc Saude Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2083-2090, 2009.

Castro F R, Bastos D M R F, Luana M M S, Nunes J L S. Impactos das queimadas sobre a saúde da população humana na Amazônia Maranhense. **Ver Pesq Saúde**, v. 17 (3), p. 141-146, 2016.

Chen J L, Wilson C R, Tapley B D, Yang Z L, Niu G Y. 2005 drought event in the Amazon River basin as measured by GRACE and estimated by climate models, **J Geophys Res**. B05404; DOI:10.1029/2008JB006056. p. 114, 2009.

Cochrane M A, Alencar A, Schulze M D, Souza Jr. C M, Nepstad D C, Lefebvre P, Davidson E A . Positive feedbacks in the fire dynamics of closed canopy tropical forests. **Science**, v. 284, n. 5421, p. 1832-1835, 1999.

Cochrane M A, Schulze M D. Fire as a Recurrent Event in Tropical Forests of the Eastern Amazon: Effects on Forest Structure, Biomass, and Species Composition. **Biotropica**, v.31, p. 1, 2-16, 1999.

Coelho C, Cavalcanti I, Ito R, Luz G, Santos L, Nobre C A, Marengo J A, Pezza A B. As secas de 1998, 2005 e 2010. Análise climatológica. In Secas na Amazonia: Causas e Consequencias, De Simone Borma L, Nobre CA (eds). **Oficina de Textos Press**: Sao Paulo, Brasil, p. 89-116, 2013.

Costa M H, Foley J A. Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. **J Geophys Res**, 104(D12), v. 14, p. 189–14, 1999.

Costa M H, Yanagi S N M, Souza P J O P, Ribeiro A, Rocha E J P. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion as compared

to caused by pastureland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, 2007.

Dai A, Qian T, Trenberth K E, Milliman J D. Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2005. **J Clim**, p. 2773–2792, 2009. doi:<http://dx.doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>.

DATASUS. Portal da Saúde. Ministério da Saúde. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>>. Acesso em: 16 set. 2016.

Dominici F, Peng R D, Bell M L, Pham L, McDermott A, Zeger S L, Samet J M. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. **JAMA**, v. 295, n. 10, p. 1127-1134, 2006.

Donaldson K, Stone V, Clouter A, MacNee W. Ultrafine particles. **Occup Environ Med**, v. 58, n. 3, p. 211-216, 2001.

Doughty C E, Metcalfe D B, Girardin C A J, Amézquita F F, Cabrera D G, Huasco W H, Silva-Espejo J E, Araujo-Murakami A, Costa M C, Rocha W, Feldpausch T R, Mendoza A L M, Costa A C L, Meir P, Phillips O L, Malhi Y. Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. **Nature**; London v. 519.7541, p. 78-82L, 2015.

EARTH OBSERVATORY. Disponível em: <http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/45000/45272/brazil_a_mo_2010219_lrg.jpg>. Acesso em: 29 set. 2016.

Espinoza J C, Ronchail J, Guyot J L, Junquas C, Vauchel P, Lavado W, Drapeau G, Pombosa R. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): understanding the exceptional 2010 drought. **Geophys. Res. Lett.** 38(13), 2011.

Ferreira J C, Patino C M. O que realmente significa o valor-p ?. **J. Bras de Pneumol**, v. 41 (5), p. 485-485, 2015.

Fearnside P M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amaz**, v. 36, p. 365-400, 2006.

Filho V S A, Artaxo P, Hacon S S, Carmo C N, Cirino G. Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 2, p. 239-247, 2013.

Filizola N, Latrubesse E M, Fraizy P, Souza R, Guimarães V, Guyot J L. Was the 2009 flood the most hazardous or the largest ever recorded in the Amazon? **Geomorphology**, v. 215, p. 99–105, 2014. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.05.028.

Gloor M R J W, Brienen D, Galbraith T R, Feldpausch J, Schöngart W, Guyot J L, Espinoza J C, Lloyd J, Phillips O L. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophys. Res. Lett.** v. 40, p. 1729-1733; doi: 10.1002/grl.50377, 2013.

Gomes M J M. Ambiente e pulmão. **J Pneumol**, v. 28 (5), p. 261-269, 2002.

Gonçalves F L T e Coelho M S Z S. Variação da morbidade de doenças respiratórias em função da variação da temperatura entre os meses de abril e maio em São Paulo. **Ciência e Natura**, UFSM, v. 32 (1), p. 113-118, 2010.

Gonçalves K S, Castro H A, Hacon S S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17(6), p. 1523-1532, 2012.

Gontijo G A B, Pereira A A, Oliveira E D S, Junior F W A. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR),15., 2011, Curitiba. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p.7966 - 7973. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00056-0. Disponível em <<http://www.ltid.inpe.br/sbsr2011/files/p1587.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2016.

González J, Valdés J B. New drought frequency index: Definition and comparative performance analysis, **Water Resour. Res.**, v. 42, W11421, DOI: 10.1029/2005WR00430, 2006.

Hanigan I C, Johnston F H, Morgan G G. Vegetation fire smoke, indigenous status and cardio-respiratory hospital admissions in Darwin, Australia, 1996-2005: a time-series study. **Environmental Health**, v. 7, p. 1-12, 2008.

IBGE. Banco de dados dos municípios brasileiros. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 16 set. 2016.

ICEA. Banco de dados meteorológicos da Aeronáutica. Disponível em: <<http://clima.icea.gov.br/clima/>>. Acesso em: 6 jun. 2016.

INPE. Programa queimadas monitoramento por satélite. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

IPAM. Arco do Desmatamento. Disponível em: <<http://ipam.org.br/glossario/arco-do-desmatamento/>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

Jenkins H S. Amazon Climate Reconstruction Using Growth Rates and Stable Isotopes of Tree Ring Cellulose from the Madre de Dios Basin, Peru.

Dissertation, Department of Earth & Ocean Sciences, Duke University, Durham, North Carolina, US, 2009.

Jiménez-Muñoz J C, Mattar C, Barichivich J, Santamaría-Artigas A, Takahashi K, Malhi Y, Sobrino J A, van der Schrier G. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Sci Rep**, v. 6(1), p. 33130. 2016 <https://doi.org/10.1038/srep33130>.

Laurance W F, Lovejoy T E, Vasconcelos H L, Bruna E M, Didham R K, Stouffer P C, Gascon C, Bierregaard R O, Laurence S G, Sampaio E. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation. **Conservation Biology**, v. 16,n. 3, p. 605-618, 2002.

Laurance W F, Williamson G B. Positive Feedbacks among Forest Fragmentation, Drought, and Climate Change in the Amazon. **Conservation Biology**, v. 15, n. 6, p. 1529-1535, 2001.

Lecha L B. Biometeorological classification of daily weather types for the humid tropics. **International Journal of biometeorology**, v. 42, p. 77-83, 1998.

Lewis S L, Brando P M, Phillips O L, van der Heijden G M F, Nepstad D. The 2010 Amazon Drought. **Science**. DOI: 10.1126/science.1200807, .; v. 331, p. 554, 2011.

Mar T F, Ito K, Koenig J Q, Larson T V, Eatough D J, Henry R C, Kim E, Laden F, Lall R, Neas L, Stölzel M, Paatero P, Hopke P K, Thurston G D. PM source apportionment and health effects. 3. Investigation of inter-method variations in associations between estimated source contributions of PM_{2.5} and daily mortality in Phoenix, AZ. **Journal of exposure science and environmental epidemiology**, v. 16, p. 311-320, 2006.

Marengo J A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *Int. J. Climatol*, v. 12, p. 853-863, 1992.

Marengo J A, Nobre C A, Tomasella J, Oyama M D, Oliveira G S, Oliveira R, Camargo H, Alves L M, Brown I F. The Drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*. American Meteorological Society. v. 21; p. 495-516, 2008.

Marengo J A, Tomasella J, Alves L M, Soares W R, Rodriguez D A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*. L12703, DOI:10.1029/2011GL047436, v. 38, 2011.

Marengo J A, Espinoza J C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, v. 36, p. 1033-1050, 2016.

Mascarenhas M D M, Vieira L C, Lanzieri T M, Leal A P P R, Duarte A F, Hatch D L. Poluição atmosférica devida à queimada de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. *J Bras Pneumol*, v. 34 (1), p. 42-46, 2005.

Meggers B. Archeological evidence for the impact of Mega-El Niño events on Amazonia during the past twomillennia. *Clim Change*, v. 28, p. 321-338, 1994. doi: 10.1007/BF01104077.

Mendonça M J C, Diaz M C V, Nepstad D, Motta R S, Alencar A, Gomes J C, Ortiz R A. The economic cost of the use of fire in the Amazon. *Ecological Economics*, v. 49, p. 89-105, 2004.

Ministério da Saúde. Sistema Único de Saúde. <http://portalms.saude.gov.br/index.php/sistema-unico-de-saude/sistema-unico-de-saude>; 2016. Acesso 8 de Março 2018.

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (NASA). <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod45.php>. Acesso em 8 de março de 2018.

Nepstad D, Lefebvre P, Silva U L, Tomasella J, Schlesinger P, Solórzano L, Moutinho P, Ray D, Benito J G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Glob. Change Biol.**, v. 10, p. 704-717, 2004.

Nest M M, Goldbaum M. Infectious diseases and daycare and preschool education. **J Pediatr (Rio J)**, v. 83, p. 299-312, 2007. Epub 2007 Jul 13.

Nobre C A, Sellers P J, Shukla J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v. 4,n. 4, p. 957-988, 1991.

Organização Mundial da Saúde (OMS). Indicadores para o estabelecimento de políticas e a tomada de decisão em saúde ambiental [mimeo]. Genebra: OMS, 1998.

Panisset J S, Libonati R, Gouveia C M P, Machado-Silva F, França D A, França J R A, Peres L F. Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. **Int. J. Climatol.**, DOI: 10.1002/joc.5224, 2017.

Phillips O L, Aragao L E O C, Lewis S L, Fisher J B, Lloyd J, Lopez-Gonzalez G, Malhi Y, Monteagudo A, Peacock J, Quesada C A, van der Heijden G, Almeida S, Amaral I, Arroyo L, Aymard G, Baker T R, Banki O, Blanc L, Bonal D, Brando P, Chave J, Oliveira A C A , Cardozo N D, Czimczik C I, Feldpausch T R, Freitas M A, Gloor E, Higuchi N, Jimenez E, Lloyd G, Meir P, Mendoza C, Morel A, Neill D A, Nepstad D, Patino S,

Pefiuela M C, Prieto A, Ramfrez F, Schwarz M, Silva J, Silveira M, Thomas A S, Steege H, Stropp J, Vasquez R, Zelazowski P, Davila E A, Andelman S, Andrade A, Chao K J, Erwin T, Di Fiore A, Honorio E C, Keeling H, Killeen T J, Laurance W L, Cruz A P, Pitman N C A, Vargas P N, Ramfrez-Angulo H, Rudas A, Salamao R, Silva N, Terborgh J, Torres-Lezama A. Drought sensitivity of the Amazona rainforest. **Science**, v. 323, p. 1344-1347, 2009.

Potter C, Klooster S, Hiatt C, Genovese V, Castilla-Rubio J C. Changes in the carbon cycle of Amazon ecosystems during the 2010 drought. **Environ Res Lett**. v. 6, 034024, 2011.

Qiu H, Yu I T, Tian L, Wang X, Tse L A, Tam W, Wong T W. Effects of coarse particulate matter on emergency hospital admissions for respiratory diseases: a time-serie analysis in Hong Kong. **Environmental Health Perspectives**, v. 120, n. 4, p. 572-576, 2012.

Ribeiro H, Assunção J V. Efeito das queimadas na saúde humana. **Revista Estudos Avançados**, v. 16, n. 44, p. 125-148, 2002.

Richey J E, Nobre C A, Deser C. Amazon river discharge and climate variability: 1903 to 1985. **Science**, v. 246, p. 101-103, 1989.

Ronchail J, Bourrel L, Cochonneau G, Vauchel P, Phillips L, Castro A, Guyot J L, de Oliveira E. 2005. Climate and inundations in the Mamoré basin (South-Western Amazon – Bolivia). **J. Hydrol**,v. 302, p. 223-238, 2011.

Rosa A M, Ignotti E, Botelho C, Castro H A, Hacon S S. Respiratory disease and climatic seasonality in children under 15 years old in a town in the Brazilian Amazon. **J Pediatr (Rio J)**, v. 84, n. 6, p. 543-549, 2008.

Rosenfeld, D. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. **Geophysical Research Letters**, v. 26, p. 3105-3108, 1999.

Rusticucci M, Harris M, Acosta E. Relación entre las causas de internación en un hospital general y las condiciones meteorológicas durante el año 1995. Actas VII Congreso Argentina de Meteorología. VII **Congreso Latinoamericano y Ibérico de Meteorología**. Centro Argentino de Meteorólogos, p. 459-460, 2001.

Sena J A, Beser de Deus L B, Fretas M A V, Costa L. Extreme events of droughts and floods in Amazonia: 2005 and 2009. **Water Resour. Manage**, v. 26, p. 1665–1676, 2012. doi: 10.1007/s11269-012-9978-3.

Silva A M C. Quantificação dos efeitos na saúde da exposição à queima de biomassa: uma contribuição ao entendimento dos efeitos da exposição ao material particulado (PM_{2,5}) em grupos populacionais sensíveis na Amazônia Legal [tese]. Fiocruz: Rio de Janeiro; 2010.

Silva A M C, Mattos I E, Ignotti E, Hacon S S. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 2, p. 345-352, 2013.

Silva Dias M A F, Rutledge S, Kabat P, Silva Dias P L, Nobre C, Fisch G, Dolman A J, Zipser E, Garstang M, Manzi A, Fuentes J D, Rocha H, Marengo J, Plana-Fattori A, Sá L, Alvalá R, Andreae M O, Artaxo P, Gielow R, Gatti L V. Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon Region. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. 8072-8092, 2002. doi:10.1029/2001JD000335.

Silva Dias M A F, Cohen J C P, Gandu A W. Clouds, rain and biosphere interactions in Amazon. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 215-222 (in Portuguese), 2005.

Smith L T, Aragão L O C, Sabel C E, Nakaya T. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Nature - Scientific Reports**, v. 4, p. 1-8, 2014. Doi: 10.1038/srep03726.

Sombroek W. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall: consequences for the planning of agricultural occupation and the protection of primary forests. **Ambio**, v. 30(7), p. 388-396, 2001.

Sternberg H. Aggravation of floods in the Amazon River as a consequence of deforestation? **Geogr Ann**, v. 69, p. 201-219, 1987.

Sullivan S, Elixhauser A, Buist S, Luce BR, Eisenberg J. National asthma education and prevention program working group report on cost effectiveness of asthma care. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 154, p. 84-95, 1996.

Tecer L H, Alagha O, Karaca F, Tuncel G, Eldes N. Particulate Matter (PM_{2.5}, PM_{10-2.5} and PM₁₀) and children's hospital admissions for asthma and respiratory diseases: a bidirectional case-crossover study. **Journal of toxicology and environmental health**, parte A, v. 71, p. 512-520, 2008.

Tomasella J, Borma L S, Marengo J A, Rodriguez D A, Cuartas L A, Nobre C A, Prado M C R. The droughts of 1996–1997 and 2004–2005 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem. **Hydrol Processes**, v. 25; p. 1228–1242, 2011. doi: 10.1002/hyp.7889.

Trenberth K. E. Changes in precipitation with climate change. **Clim Res**, v. 47, p. 123–138, 2011.

Uhl C, Kauffman J B. Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the eastern amazon. **Ecology**, v. 71, n. 2, p. 437-449, 1990.

Vale R, Filizola N, Souza R, Schongart J. A cheia de 2009 na Amazonia Brasileira. **Rev. Bras. Geocienc.**, v. 41(4), p. 577–586, 2011

Wannmacher L. Evidências sobre uso de antibacterianos nas infecções respiratórias altas. **Ministério da Saúde**, v. 4 (1), p. 1-6, 2006. . ISSN 1810-0791.

Williams E, Dall'Antonia A, Dall'Antonia V, de Almeida J, Suarez F, Liebmann B, Malhado A C M. The drought of the century in the Amazon basin: an analysis of the regional variation of rainfall in South America in 1926. **Acta Amazonia**, v. 35(2), p. 231-238, 2005. doi:10.1590/S0044-59672005000200013.

Wilks D S. **Statistical methods in the Atmospheric Sciences**. Cornell University Ithaca, New York. Academic Press, p. 44-50, 1995.

Xue Y, Kumar A. Evolution of the 2015/16 el Niño and historical perspective since 1979. **Sci. China Earth Sci**. <https://doi.org/10.1007/s11430-016-0106-9>, 2016.

Yoon J H, Zeng N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Clim Dyn**, v. 34(2-3); p. 249–264; 2010. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0551-6>.

Zeng N, Yoon J H, Marengo J A, Subramaniam A, Nobre C A, Mariotti A, Neelin D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environ. Res. Lett.** 3; 014002; DOI: 10.1088/1748-9326/3/1/014002, 2008.

