



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

GIORDANI RAFAEL CONCEIÇÃO SODRÉ

**FOGO E QUEIMADAS: HISTÓRICO, RISCO E CALENDÁRIO
METEOROLÓGICO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

BELÉM-PA

2019

GIORDANI RAFAEL CONCEIÇÃO SODRÉ

**FOGO E QUEIMADAS: HISTÓRICO, RISCO E CALENDÁRIO
METEOROLÓGICO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

BELÉM-PA

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S679f Sodré, Giordani Rafael Conceição
Fogo e queimadas: histórico, risco e calendário meteorológico na Amazônia Oriental /
Giordani Rafael Conceição Sodré. — 2019.
96 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza de Souza
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Incêndios Florestais. 2. Manejo Florestal. 3. Proteção Ambiental. 4. Educação
Ambiental. I. Título.

CDD 363.377

GIORDANI RAFAEL CONCEIÇÃO SODRÉ

**FOGO E QUEIMADAS: HISTÓRICO, RISCO E CALENDÁRIO
METEOROLOGICO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

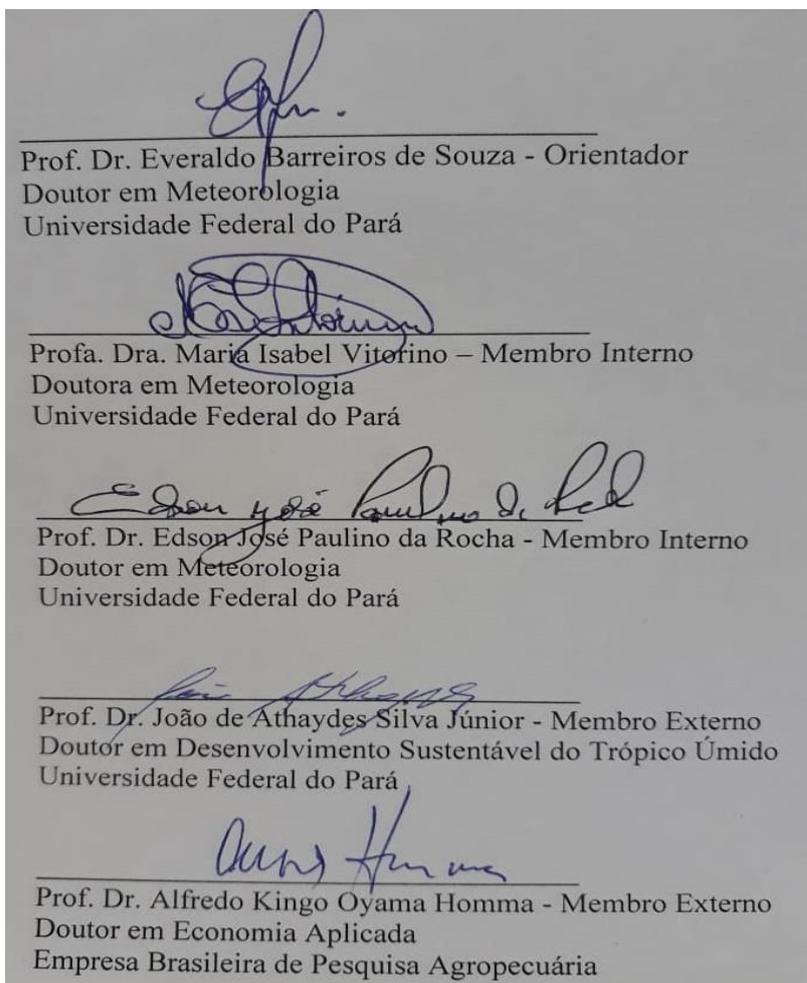
Tese aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Aprovada em: 29/08/2019.

Banca Examinara:



“Importante não é ver o que ninguém nunca viu, mas sim, pensar o que ninguém nunca pensou sobre algo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Tecnológico Vale pela concessão de bolsa de pesquisa e apoio técnico/científico na construção desta pesquisa. A Universidade Federal do Pará que me deu todas as oportunidades acadêmicas e profissionais, por meio da graduação, mestrado, doutorado e atualmente como servidor público na profissão de Meteorologista, resultado dos vários anos dedicados a esta instituição, de excelência, publicamente reconhecida. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA, qual cursei o mestrado e doutorado, pela disposição de um excelente quadro de pesquisadores que possibilitaram o meu desenvolvimento pessoal e profissional. Ao meu orientador Everaldo Barreiros de Souza pela confiança depositada, correções, conselhos e orientações. Aos colegas de classe, amigos e a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente com a pesquisa. Agradeço a minha família por todo apoio moral, financeiro e psicológico ao longo da minha jornada acadêmica, principalmente a minha mãe Francisca de Paula e ao meu pai Antonio Sodré por todo o suporte, dedicação e esforço para a conquista desta vitória sonhada por todos nós. E por fim, dedico esta conquista a minha esposa Márcia e a meu filho Lucas, motivos pelos quais me dediquei e me esforço a cada dia. Agradeço pelo amor, paciência e por acreditarem em mim, na minha capacidade, pelo apoio incessante, sem o qual, não chegaria a este momento.

A todos que estiveram ao meu lado durante toda essa jornada o meu mais sincero obrigado e espero um dia poder corresponder as todas as expectativas e a confiança depositadas a mim.

RESUMO

A utilização de fogo como forma de limpeza do solo está amplamente inserida no processo produtivo da Amazônia, sendo um dos elementos que impulsionam a expansão agrícola na região. Nesta pesquisa foi proposta a análise do quadro geral das queimadas na região Amazônica com o objetivo de abordar a complexidade que envolve este tema, como o mesmo pode ser tratado como um problema social, porém com reflexos sobre a questão climática. Analisamos os parâmetros legais do uso do fogo em práticas agrícolas e foi desenvolvido um calendário meteorológico indicando o momento em que as condições ambientais são mais favoráveis para a utilização desta prática de forma mais segura. Os resultados indicaram que o atual cenário de queimadas na Amazônia pode estar relacionado a uma combinação de escolhas, como a questão das queimadas poderia ter sido tratada e como de fato ela foi. Indicando que as principais ferramentas são voltadas para o combate os efeitos da queima e não a sua origem. Observou que ferramentas como o Índice de Risco de Fogo utilizado pelo INPE possui sua acurácia reduzida, devido o mesmo considerar somente variáveis ambientais, não incluindo à ação do homem como parâmetro, o que torna limitada a eficiência em antecipar a ocorrência de uma queimada. A análise das pesquisas mais recentes apontou para o uso do fogo controlado como a opção mais viável para a mudança do cenário atual, assim, a abordagem principal desta pesquisa foi criar um calendário meteorológico de manejo para o uso do fogo no campo da forma mais segura. A conclusão desta pesquisa mostra que a educação ambiental é a forma mais eficaz de combater o uso excessivo de queimadas, porém, isto é um investimento para o futuro. Para o cenário atual a criação de um calendário de queimadas baseado na variabilidade pluviométrica mensal local, permitindo que as queimadas sejam realizadas em momentos mais propícios a sua não propagação indesejada. Assim, o número de focos de queimadas sem controle pode ser reduzido de forma eficaz e as perdas de biodiversidade e econômicas podem ser menores. Sendo este o caminho a ser percorrido enquanto a educação ambiental não cumpre seu papel em alterar esta cultura dentro da região Amazônica.

Palavras-chave: Queimadas na Amazônia. Risco de Fogo. Manejo Ambiental. Educação Ambiental.

ABSTRACT

The use of fire as a way of cleaning the soil is widely inserted in the productive process of the Amazon, being one of the elements that drive the agricultural expansion in the region. This research aimed to analyze the general scenario of burning in the Amazon region in order to address the complexity that surrounds this theme, as it can be treated as a social problem, but with reflections on the climate issue. We analyzed the legal parameters of the use of fire in agricultural practices and a meteorological calendar was developed indicating when the environmental conditions are most favorable for the safer use of this practice. The results indicated that the current scenario of burning in the Amazon may be related to a combination of choices, how the issue of burning could have been addressed and how it actually was. Indicating that the main tools are aimed at combating the effects of burning and not its origin. He observed that tools such as the Fire Risk Index used by INPE have its reduced accuracy, because it considers only environmental variables, not including the action of man as a parameter, which limits the efficiency in anticipating the occurrence of a burn. Analysis of the latest research has pointed to the use of controlled fire as the most viable option for changing the current scenario, so the main approach of this research was to create a safe weather management calendar for field fire use. . The conclusion of this research shows that environmental education is the most effective way to combat the excessive use of burning, but this is an investment for the future. For the current scenario the creation of a burning calendar based on local monthly rainfall variability, allowing the burning to be performed at times more favorable to its unwanted propagation. Thus, the number of uncontrolled fires can be effectively reduced and biodiversity and economic losses can be reduced. This being the way to go while environmental education does not fulfill its role in changing this culture within the Amazon region.

Keywords: Amazon Burning. Fire Hazard. Environmental Management. Environmental Education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Limites do bioma Amazônico no Brasil.....	30
Figura 2 - A) Distribuição percentual da produção científica sobre queimadas na Amazônia por tema na década de 1990 (A), década de 2000 (B), e entre os anos de 2010 e 2017 (C).	33
Figura 3 - Total de focos de queimadas observados entre os anos de 1999 a 2017 Amazônia Legal (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima), segundo os critérios da Figura 1.	36
Figura 4 - Percentual de contribuição da região Amazônica no total de queimadas no Brasil entre os anos de 1999 a 2017.	36
Figura 5 - A) Localização do município de Paragominas no estado do Pará (Amazônia Oriental); B) Classificação realizada pelo IBGE da cobertura e uso do solo até o ano de 2014; C) Extração das áreas com predominância de Floresta Ombrófila; D) Extração das áreas c) Extração das áreas com predominância de Floresta Ombrófila; D) Extração das áreas com predominância de culturas agrícolas; E) Extração das áreas com predominância de pastagem; F) Área de estudo ajustada para a pesquisa, as zonas com hachuras indicam os locais onde os cálculos foram realizados.	48
Figura 6 - Percentual de focos de queimadas semestrais, considerando o tipo de uso e cobertura do solo em anos Normais, anos de La Niña e anos de El Niño.	54
Figura 7 - Anomalia de focos de queimadas considerando a diferença entre anos com ocorrência de El Niño/La Niña e anos Normais.	56
Figura 8 - A) Percentual de ocorrência dos tipos de alertas de Risco de Fogo para cada tipo de uso e cobertura do solo analisado, de forma semestral, em relação a fase do ENOS predominante; B) Percentual de ocorrência de focos de queimadas por tipo de alerta de Risco de Fogo para cada tipo de uso e cobertura do solo, em relação a fase do ENOS predominante.	57
Figura 9 - A) Localização do município de Paragominas no estado do Pará (Amazônia Oriental); B) Classificação realizada pelo IBGE da cobertura e uso do solo até o ano de 2014; C) Extração das áreas com predominância de Floresta Ombrófila; D) Extração das áreas c) Extração das áreas com predominância de Floresta Ombrófila; D) Extração das áreas com predominância de culturas agrícolas; E) Extração das áreas com predominância de pastagem; F) Área de estudo ajustada	

para a pesquisa, as zonas com hachuras indicam os locais onde os cálculos foram realizados.	69
Figura 10 – Número médio de dias com precipitação durante o período seco entre os diferentes tipos de uso e cobertura do solo considerando a média de cinco anos normais, cinco anos de La Niña e cinco anos de El Niño.....	73
Figura 11 – Variabilidade pluviométrica do período menos chuvoso do município de Paragominas em anos de Normais, La Niña e El Niño. Fonte: MERGE/CPTEC ...	75
Figura 12 – Calendário de manejo referente ao mês de outubro para as áreas de pasto e agricultura para anos normais, de La Niña e El Niño	78
Figura 13 – A) Precipitação observada e período previsto para a queima na área de pastagem no ano de 2017; B) observação e período previsto para a área de agricultura no ano de 2017; C) Precipitação observada e período previsto para a queima na área de pastagem no ano de 2018; D) observação e período previsto para a área de agricultura no ano de 2018.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporção de ocorrência de cada tema nas pesquisas realizadas entre os anos de 1990 a 2017.....	32
Tabela 2 - Total de focos de queimadas observados no período de 15 anos, onde anos normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), de La Niña (2000, 2001, 2008, 2009, 2011), e de El Niño (2003, 2005, 2010, 2016), classificados por tipo de uso e cobertura do solo.	52
Tabela 3 – Grupos de três em três dias para os quais foram calculadas as médias móveis para detecção do padrão de precipitação em anos Normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), com La Niña (2000, 2001, 2008, 2009, 2011) e com El Niño (2003, 2005, 2010, 2015, 2016).	69
Tabela 4 – A) Total de focos de queimadas observados por forma de uso e cobertura do solo em anos Normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), La Nina (2000, 2001, 2008, 2009, 2011) e El Nino (2003, 2005, 2010, 2015, 2016). B) Percentual mensal do total de queimadas ocorridas no período seco em anos Normais, La Nina e El Nino.	72
Tabela 5 – Variabilidade Mensal do Índice MEI (Multivariate Enso Index) para determinação do mecanismo oceano atmosfera atuante em cada ano.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENOS – El Niño Oscilação Sul

ESECAFLOR – Estudo da Seca da Floresta

FP – Fator de Precipitação

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMAZON – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MEI – Multivariate ENSO Index

MMA – Ministério de Meio Ambiente

MP – Ministério Público

LBA – Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in the Amazon

PIB – Produto Interno Bruto

PPL – Produção Primária Líquida

PRODES – Projeto Monitoramento do desmatamento das formações florestais na Amazônia Legal

RB – Cálculo do Risco Básico

RF – Risco de Fogo

SIG – Sistema de Informação Geográfica

Ta – Temperatura do Ar

TSM – temperatura da superfície do mar

Ur – Umidade Relativa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	15
1.1 Introdução	15
1.1.1 Uso do Fogo na Amazônia	17
1.1.2 Funcionamento do Ecossistema Amazônico	20
1.1.3 O Clima da Amazônia e as Queimadas	22
1.2 Justificativa da pesquisa	24
1.3 Objetivo Geral	25
1.3.1 Objetivos Específicos	25
1.4 Estrutura da Tese	26
CAPÍTULO 2 QUEIMADAS NA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE DAS PESQUISAS DESENVOLVIDAS NOS ÚLTIMOS 25 ANOS (1993-2017)	27
2.1 Introdução	28
2.2 Metodologia	30
2.2.1 Critérios para Seleção e Análise dos Dados	30
2.3 Resultados e Discussões	31
2.4 Conclusão	37
CAPÍTULO 3 CÁLCULO DE RISCO E DETECÇÃO DE QUEIMADAS: UMA ANÁLISE NA AMAZÔNIA ORIENTAL	42
3.1 Introdução	43
3.2 Metodologia	45
3.2.1 Localização da Área de Estudo	45
3.2.2 Materiais	45
3.2.2.1 Precipitação	45
3.2.2.2 Temperatura do Ar e Umidade Relativa.....	46
3.2.2.3 Uso do Solo	46
3.2.2.4 Focos de Calor (Queimada).....	47
3.2.3 Métodos	47
3.2.3.1 Ajuste da Área de Estudo para Análise do Risco de Fogo	47

3.2.3.2 Cálculo do Risco de Fogo (RF)	48
3.2.3.3 Análise dos Focos de Queimadas	50
3.2.3.4 Risco de Fogo e Focos de Queimadas	50
3.3 Resultados e Discussão	50
3.4 Conclusão	59
CAPÍTULO 4 CALENDÁRIO DE MANEJO BASEADO NA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA DA AMAZÔNIA ORIENTAL PARA O USO DO FOGO EM PRÁTICAS AGRÍCOLAS	63
4.1 Introdução	64
4.2 Metodologia.....	66
4.2.1 Localização da Área de Estudo	66
4.2.3 Dados de Focos de Calor (Queimada).....	67
4.2.4 Dados de Precipitação	67
4.2.5 Métodos	68
4.2.5.1 Ajuste da Área de Estudo para as Análises da Pesquisa.....	68
4.2.5.2 Construção e Validação do Calendário de Manejo	69
4.3 Resultados e Discussão	71
4.3.1 Número de dias chuvosos	73
4.3.2 Calendário de Manejo.....	76
4.3.3 Validação do Calendário de Manejo	78
4.4 Conclusão	82
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS	89
REFERÊNCIAS	91

CAPÍTULO 1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1.1 Introdução

Toda a prática utilizada pelo homem sofre mudanças ao longo do tempo, sendo que a evolução tecnológica permite o constante aperfeiçoamento dos meios e modos utilizados pelo homem para melhorar, intensificar e tornar mais eficiente todas as atividades por ele desenvolvidas, seja qual for o seguimento profissional praticado. Isto torna a evolução tecnológica indispensável à evolução do homem enquanto sociedade moderna, porém, esta evolução nem sempre é utilizada por todos, seja por razões econômicas ou culturais. Por exemplo, nos meios de produção agrícola a introdução da tecnologia em forma de máquinas e técnicas no processo de aumentar e acelerar a produção de alimentos acabou não sendo disseminado para todos os atores que compõem o meio rural, fato que proporciona certa limitação à atividade ao mesmo tempo que pode resultar em práticas degradantes ao meio ambiente.

Dentre as práticas que mais causam impactos sobre o solo está excesso do uso do fogo no campo, principalmente nos estados que compõem a Amazônia, que segundo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 85% de todos os focos de incêndio registrados no Brasil nos últimos anos ocorrem na região da Amazônia Legal, principalmente nos estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Rondônia, Mato Grosso e Acre, os quais englobam a chamada zona do arco do desmatamento.

Pesquisas têm sido realizadas para o desenvolvimento de novas tecnologias visando diminuir ou se possível eliminar a prática da queima nas atividades rurais. Porém, os esforços empregados desde o início da década de 1980 (SÁ *et al.*, 2000, 2007), ainda não conseguiram resultados positivos, devido principalmente as questões econômicas e culturais que envolvem o uso da prática da queima na Amazônia. Do ponto de vista econômico o uso do fogo apresenta-se para o produtor como uma técnica rápida e barata para a limpeza e fertilização do solo, o que torna necessário o desenvolvimento de uma tecnologia de baixo custo. Do ponto de vista cultural, o uso do fogo está atrelado a questão de práticas agrícolas artesanais, passadas de geração em geração, situação que diminui a aceitação de novas tecnologias que alterem o seu modo tradicional de lidar com a terra. Para tentar compreender a complexidade que envolve a prática de queimadas precisamos analisar por diferentes olhares: sob a ótica política, a ótica acadêmica e a ótica socioeconômica.

Na ótica política, podemos destacar o momento histórico no qual a degradação ambiental da Amazônia tomou impulso e ganhou grandes dimensões, durante os governos militares (1965-1986), a visão sobre a Amazônia era que é preciso “integrar para não entregar”, nesse contexto diversas políticas de exploração, construção de vias, e criação de projetos de ocupação foram incentivados para criar formas de trazer a Amazônia para o cenário econômico do Brasil daquele período. Estas políticas incentivaram o desmatamento de grandes áreas, bem como estimularam as queimadas, uma vez que esse era o método mais viável e eficaz devido à localização geográfica das propriedades rurais (ACKER, 2014; SERRA; FERNÁNDEZ, 2004; SILVA, 2005).

Em meio a esse processo surgem na Europa os primeiros movimentos chamando a atenção para questões ambientais culminando na conferência de Estocolmo em 1972 na qual as primeiras medidas para a preservação do meio ambiente e da importância da sustentabilidade foram discutidas a níveis globais. Foi neste momento que a Amazônia foi descrita como o “pulmão do mundo”, condição posteriormente descartada por vários cientistas (ACKER, 2014; DI MASI, 2004). Este evento serviu para criar pressão sobre o governo brasileiro sobre as questões ambientais, o que futuramente culminaria na criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (MATTOS, 2006). É nesse momento que cresce a atuação de organizações não governamentais (ONG's) e de financiamento estrangeiro em pesquisas que levassem a preservação da Amazônia, o que nos leva a ótica acadêmica. As relações da universidade e centros de pesquisas passam a ter maior cooperação das instituições estrangeiras, tanto científica como economicamente, é nesse momento que o Brasil passa a monitorar a Amazônia e começa a detectar a gravidade da degradação imposta ao meio ambiente (ACKER, 2014; DI MASI, 2004; MATTOS, 2006).

Assim, com a pressão, a tecnologia e o financiamento estrangeiro indicando o sentido a qual as pesquisas deviam ser realizadas criou-se uma visão ambiental onde a floresta deve ser protegida a todo custo, preservando o máximo da sua biodiversidade, produzindo o menor impacto possível ao meio ambiente, visão que no primeiro momento parece ser a lógica, mas ao longo do tempo não pode ser tomada com uma verdade absoluta. Principalmente quando o uso do fogo no campo torna-se um dos principais vilões do meio ambiente, devido o grau de degradação causado pelo mesmo, grande parte das pesquisas buscam substituí-lo a todo custo, sendo que muitas vezes as alternativas propostas fogem ao alcance socioeconômico da população diretamente afetada por esta prática (ACKER, 2014; HOMMA, 1980; HOMMA *et al.*, 1993; MATTOS, 2006).

Neste sentido temos a visão socioeconômica, na qual a população agrícola da Região Norte do Brasil é formada em sua maior parte por pessoas de baixa renda, com baixo grau de escolaridade, situação que compromete a absorção de novas tecnologias e metodologias que possam elevar o potencial agrícola e reduzir o uso de queimadas (ALVAREZ, 2017; XIMENES *et al.*, 2019).

Em meio às questões econômicas e culturais que geram várias discussões, políticas, sociais e científicas, as alternativas até então aplicadas não produziram o efeito esperado, tendo os focos de incêndio mantido altos índices anuais desde o início do trabalho de detecção (meados da década de 1990). Perdas incalculáveis na biodiversidade da Amazônia tornou-se uma realidade que se intensifica a cada ano. Em se tratando de prejuízos ambientais incalculáveis, é preciso falar dos impactos na dinâmica atmosférica decorrente da degradação pelo uso do fogo e sua contribuição na questão da mudança climática regional.

É do conhecimento público que as queimadas contribuem de forma significativa para a emissão de gases que potencializam o efeito estufa, conseqüentemente alterando as características do tempo e do clima local, bem como deixando sua parcela nas mudanças globais. Mensurar o nível destas emissões e a perda da biodiversidade, decorrentes desta forma de degradação, é muito complexo e tem demandado vários esforços do meio científico na busca de respostas cabais e robustas que possam servir como parâmetros para o controle, minimização dos efeitos desta prática para o bem estar social e ecológico.

1.1.1 Uso do Fogo na Amazônia

O fogo, que já era usado em pequenas propriedades por caboclos amazônicos e indígenas (LEONEL, 2000), passou a ser utilizado sem controle em pequenas e médias propriedades, elevando o índice de focos de queimadas, ocasionando a perda de grandes áreas florestais, sua biodiversidade animal e a intensificação do processo de empobrecimento dos solos (FEARNSIDE, 2002; PEDROSO JUNIOR *et al.*, 2008).

A queimada é utilizada para estimular o crescimento de gramíneas forrageiras de pastagens e matar as plantas invasoras lenhosas que invadem estas pastagens. Sem o fogo, certamente os proprietários rurais teriam que investir na compra de máquinas pesadas para remover as árvores caídas e despender tempo roçando com facões as ervas daninhas que invadem as pastagens (ALENCAR *et al.*, 1997; NEPSTAD *et al.*, 1999a, 2001).

Existe assim uma racionalidade inerente ao uso do fogo na Amazônia semelhante àquela existente em outras florestas tropicais úmidas. Nesse sentido, a racionalidade do produtor face à restrição de recursos, tais como baixa oferta de mão de obra, baixa rentabilidade agrícola, inexistência de alternativas economicamente viáveis e baixa qualidade do solo para a agricultura podem explicar a utilização intensa do fogo nas atividades agropecuárias (NEPSTAD *et al.*, 1999a,b, 2001). Devido a todos esses fatores o processo de derrubada e queimada se tornou o instrumento predominante para o preparo do solo na região Amazônica, sobretudo em pequenas e médias propriedades (HOMMA *et al.*, 1993).

O intenso uso desta prática iniciou-se na década de 1970, período em que os incentivos fiscais levaram milhares de pessoas para a região amazônica, principalmente para o estado do Pará onde o desmatamento para a construção de estradas, ocupação por fazendas e instalação das fronteiras agrícolas estimularam a utilização do fogo como forma de limpar rapidamente o solo e prepara-lo para implantação dos empreendimentos (ANDRADE *et al.*, 2012; LOUREIRO; PEDROSO *et al.*, 2008; PINTO, 2005).

Paradoxalmente, o fogo também acarreta prejuízos para os próprios fazendeiros e agricultores quando escapa ao controle, queimando aquilo que não era desejado. Esse risco do fogo sem controle desestimula os investimentos nas propriedades, perpetuando o domínio da pecuária extensiva e da agricultura de corte e queima em detrimento do estabelecimento de sistemas agroflorestais e do manejo florestal sustentável (NEPSTAD *et al.*, 1999a, 2001).

A perda de pastagens pelas queimadas acidentais é um dos principais custos econômicos privados que atingem os proprietários rurais da Amazônia. A elevada inflamabilidade desse tipo de ecossistema afeta os fazendeiros na medida em que uma pastagem queimada acidentalmente obriga o proprietário a encontrar uma área de pastagem substituta para onde possa transferir seu rebanho bovino. O tempo de uso deste pasto substituto chega, em média, a três meses, tempo necessário para que o capim se recupere da ação do fogo (ALENCAR *et al.*, 1997; NEPSTAD *et al.*, 1999a, 2001).

No entanto, alguns pesquisadores defendem que o uso controlado pode evitar perdas maiores de biodiversidade. Quando praticada tradicionalmente em grandes áreas florestadas, com baixa densidade populacional, respeitando os períodos de pousio, a agricultura de corte e queima pode ser manejada de forma ecologicamente sustentável, sem comprometer drasticamente a fertilidade dos solos (KLEIMAN *et al.*, 1995; JOHNSON *et al.*, 2001; MENDOZA-VEGA *et al.*, 2003, PEDROSO JR *et al.*, 2008).

Segundo Adams (2000) é uma prática adaptada, principalmente, a grande parte dos solos de regiões tropicais, que geralmente não são muito férteis ou possuem deficiências de determinados nutrientes.

Na Amazônia, por exemplo, a maioria dos diferentes tipos de solo é pobre, com exceção da terra roxa e de solos antrópicos como a terra preta de índio (DENEVAN, 1996). Dessa forma, o sistema depende da queima da biomassa acumulada durante a recuperação florestal para aumentar as qualidades nutricionais do solo e preparar a área para o cultivo por meio da cinza, que pode, por exemplo, aumentar enormemente a quantidade de potássio, cálcio e magnésio disponíveis nos solos (BRINKMANN; NASCIMENTO, 1973; OLIVEIRA, 2008).

Para demonstrar que o uso do fogo pode ser benéfico, dependendo da forma como ele é manejado, Kim *et al.* (2016) mostraram que o uso consciente do fogo como forma de gestão agrícola pode causar um impacto mínimo no ambiente. Segundo os resultados obtidos da pesquisa, observou-se que a gestão controlada do fogo se mostrou como uma ferramenta de baixo impacto ambiental sobre os principais nutrientes necessários para o crescimento e manutenção da vegetação, carbono e nitrogênio.

Observou-se em seus resultados que no primeiro momento de uma queima controlada, os níveis de carbono e nitrogênio se elevam sobre o solo propiciando as condições para o desenvolvimento vegetal. Ao longo de 9 anos os níveis desses nutrientes sofreram uma redução insignificante comparando com as áreas não queimadas.

Resultado similar já havia sido descrito por Rheinheimer *et al.* (2003) que observou em sua pesquisa que de maneira geral, a queima da vegetação morta enriquece o solo da camada superficial na maioria dos nutrientes, por catalizar o processo da mineralização. Outras pesquisas também já haviam ressaltado esta elevação de nutrientes após uma queima (CEDDIA *et al.*, 1999; GATTO *et al.*, 2003).

Porém, contrastando com as pesquisas citadas, Knicker, (2007) diz que esses efeitos tendem a desaparecer, em médio prazo, na lixiviação dos nutrientes pela ação de chuvas, o que resulta em concentrações que podem ser até inferiores às observadas em solos que não sofreram ação do fogo.

Contudo, esta conclusão não é uma regra geral, pois Parron (2004) realizou uma pesquisa na qual foi observada como a ciclagem de nutrientes se comportava em diferentes

níveis topográficos e de umidade do solo. Os resultados obtidos mostraram que em regiões mais altas, onde a umidade do solo tende a ser menor e índices pluviométricos menos intensos, a taxa de lixiviação tende a ser menor permitindo a permanência dos nutrientes por mais tempo no solo, e em regiões de baixo relevo e com altos níveis de umidade do solo, a lixiviação é mais intensa devido a maior incidência de precipitação.

Assim, nota-se que os resultados, tanto os que mostram grande perda de nutrientes como os que mostram baixa perda, estão corretos, indicando que para cada região que se pretende introduzir o manejo do uso do fogo é necessário primeiro considerar se o ambiente é propício para a prática ou se o seu uso, mesmo que controlado, venha a ser altamente impactante para o solo e para a vegetação.

A partir do cenário exposto, é preciso entender como o bioma amazônico interage diante do intenso uso das queimadas e qual seu grau de resiliência e se de fato o fogo pode ser uma ameaça a sua estrutura e funcionamento.

1.1.2 Funcionamento do Ecossistema Amazônico

A floresta amazônica é um ecossistema autossustentável, ou seja, é um sistema que se mantém com seus próprios nutrientes num ciclo permanente. A grande quantidade de umidade do solo retida pela vegetação, em condições naturais, tonaria teoricamente a floresta amazônica imune às queimadas. A Amazônia possui um importante papel na ciclagem de água e carbono (SAATCHI *et al.*, 2007) e na conservação da biodiversidade do planeta. Houghton *et al.* (2000) estimam que a maior parte da Amazônia tem em média 21,0 kg (C) m⁻², variando entre 14 e 23 kg (C) m⁻². De forma geral estima-se que a Amazônia armazena 86 Pg de carbono (um petagrama equivale a um bilhão de toneladas) na biomassa total [parte aérea, raízes e árvores mortas (SAATCHI *et al.*, 2007)], sendo que aproximadamente 20% da biomassa total corresponde à biomassa abaixo do solo (HOUGHTON *et al.*, 2000).

Em média 50% da precipitação que ocorre na região amazônica é reciclada via transpiração (FISHER *et al.*, 2009; SALATI, 1987). Estima-se que na Amazônia, a produção primária líquida - PPL (tecido novo formado por unidade de tempo: ganho de biomassa em tronco, raízes e galhos, produção de folhas, flores e frutos) oscile ente 0,1 e 0,5 kg(C) m⁻² ano⁻¹ (MALHI *et al.*, 1998). A PPL das florestas tropicais pode ser limitada por vários fatores, incluindo a disponibilidade de nutrientes (VITOUSEK *et al.*, 2010), radiação solar (GRAHAM *et al.*, 2003) e teor de água do solo (WAGNER *et al.*, 2012). Porém, quando

exposta a períodos climáticos anormais, como grandes secas, a floresta mostra-se extremamente vulnerável a ação do fogo (IBAMA, 2009).

Do ponto de vista fisiológico, o aumento de temperatura do ar em condições atuais tende a aumentar a assimilação fotossintética, uma vez que os sistemas fotossintéticos das plantas tendem a se aproximar de seus ótimos de funcionamento. Em conjunto, aumentam também a respiração de manutenção e a respiração de crescimento das plantas (NORBY; LUO, 2004).

Estima-se que nas últimas décadas as florestas tropicais tiveram incrementos na temperatura de 0,026°C por ano e aumento anual de 1,66 ppm na concentração de CO₂ (LEWIS *et al.*, 2009). A temperatura afeta a atividade de enzimas da fotossíntese e a cadeia do transporte de elétrons (SAGE; KUBIEN, 2007). Lloyd e Farquhar (2008) produziram um modelo sobre os efeitos do aumento da temperatura do ar e das concentrações de CO₂ na fisiologia de espécies arbóreas tropicais, o resultado mostrou que pode ocorrer redução nas taxas fotossintéticas com o aumento da temperatura da folha acima de 30 °C, essas reduções são causadas principalmente pelo aumento na respiração e redução da condutância estomática, resultante do déficit da pressão de vapor d'água (umidade) nas folhas.

A principal importância da variabilidade pluviométrica sobre a floresta amazônica está na manutenção de níveis de umidade ótimos para o desenvolvimento natural da floresta e o controle do estresse hídrico. A disponibilidade de água é um dos fatores que mais influencia a fotossíntese e o crescimento das plantas. Pois, o estresse hídrico prolongado acelera a taxa de degradação da clorofila e eventualmente estimula a senescência precoce de folhas (MAFAKHERI *et al.*, 2010). O efeito imediato do estresse hídrico é causar o fechamento dos estômatos (LORETO *et al.*, 2003) e redução na condutância do mesofilo (FLEXAS *et al.*, 2012).

Um dos fatores mais importantes atribuído ao estresse hídrico está sendo analisado no projeto ESECAFLOR (Estudo da Seca da Floresta), o Experimento em Grande Escala da Biosfera – Atmosfera na Amazônia (LBA), onde alguns dos resultados mostraram que a deficiência hídrica afetou, de forma mais intensa, os órgãos reprodutivos (flores/frutos) do que os órgãos vegetativos (folhas e galhos) devido à marcante dependência da fenologia reprodutiva das espécies florestais à sazonalidade hídrica (MATOS; COSTA, 2012). Estes resultados mostram que é possível a diminuição da capacidade de regeneração da floresta

devido a diminuição da capacidade reprodutiva dos vegetais exposto a períodos prolongados de estresse hídrico.

E quando o estresse hídrico provocado pelo período de seca soma-se as queimadas a floresta torna-se ainda mais vulnerável. Segundo Barlow e Peres (2003) esta vulnerabilidade deve-se em função do reduzido número de espécies arbóreas em florestas tropicais capazes de tolerar o estresse térmico e hídrico. A perturbação provocada pela queima afeta a capacidade de regeneração da floresta, uma vez que plantas jovens em estágio de muda são destruídas e o banco de sementes das gerações futuras é danificado. A maioria das espécies de árvores da Amazônia tem uma casca protetora muito fina para o tamanho do tronco em indivíduos adultos e sua resistência ao fogo é mínima.

1.1.3 O Clima da Amazônia e as Queimadas

A região Amazônica, por concentrar uma vasta extensão territorial, possui uma grande variabilidade nos regimes climáticos e hidrológicos que ocorrem em diferentes escalas de tempo e espaço. A Bacia Amazônica é um dos três centros quase permanentes de intensa convecção na zona equatorial no qual as florestas da Amazônia desempenham um papel crítico na regulação do clima regional e global, seu clima tropical úmido torna esta região uma das mais chuvosas do mundo com média de 2193 mm anuais (FISH *et al.*, 1998; NOBRE *et al.*, 2009).

No entanto o volume de precipitação na Amazônia possui uma grande variabilidade anual influenciada principalmente pelas mudanças na circulação atmosférica durante episódios conhecidos como El Niño e La Niña (GONZALEZ *et al.*, 2013; LUDWIG 2014), os mecanismos oceano atmosfera El Niño/La Niña têm em comum a fato de originarem-se no Oceano Pacífico e trazerem consequências para o clima e todo o mundo, embora de formas direferentes (MOREIRA *et al.*, 2018). No Brasil os impactos destes mecanismos são bastante diversificados especificamente na região Amazônica, onde causam mudanças significativas no regime das chuvas local, o que contribui para a ocorrência de períodos de secas, enchentes e alterações nas estações do ano (CUNHA, 2010; GONZALES *et al.*, 2013; SOUZA).

A ocorrência de secas na região Amazônica associadas ao El Niño e também a anomalias de temperaturas no oceano Atlântico têm sido observadas nos últimos anos, como em 1997/1998, 2005, 2010, 2015. Segundo Marengo *et al.* (2011) a maior parte das secas

severs está intimamente associada a eventos de El Niño e que o maior problema que enfrentamos no século XXI é o fato de que as secas extremas seguem uma tendência de intensificação em relação aos padrões observados durante o século passado, este fenômeno pode elevar a ocorrência de incêndio florestal na região Amazônica devido a redução do volume de precipitação e o surgimento de maior quantidade de material orgânico ressecado para combustão.

Como já observado o uso do fogo no campo ocorre todos os anos no período menos chuvoso da região Amazônica, no entanto, em anos onde o período chuvoso é menos intenso ou mais curto, como em anos de El Niño, as queimadas tendem a ser mais intensas, e sabendo que na região da Amazônia a ocorrência de fogo natural é pouco provável, pois nota-se que existe a necessidade de ignição antrópica para a ocorrência de queimadas, mesmo durante secas extremas (MARENGO *et al.*, 2011).

Estudos recentes reportados no IPCC (2014) e no Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) destacam que é muito provável que a temperatura aumente em toda a América do Sul, com o maior aquecimento projetado para o sul da Amazônia. São também projetados aumento da frequência de eventos extremos, podendo ocorrer períodos de intensa seca na região da Amazônia, como a de 2005, aumentando dos atuais 5% (uma forte estiagem a cada 20 anos) para 50% em 2030 e até 90% em 2100. Outra consequência dessa mudança de clima pode ser um alongamento da estação seca, podendo afetar a hidrologia e os ecossistemas da região (MARENGO, 2014; NOBRE *et al.*, 2008).

Este cenário se confirmado pode indicar uma sucessão de eventos cada vez mais intensos de queimadas na Amazônia, condição que pode indicar grandes perdas de biodiversidade, impactos sobre o clima local, e no balanço de umidade que permite a existência de boa parte das chuvas que ocorrem no centro sul do Brasil (SOARE; WEBLER, 2016).

A partir do conhecimento do funcionamento do ecossistema amazônico e suas limitações em relação aos parâmetros hidrológicos e climáticos, é preciso entender como a ação do homem pode estar intensificando os processos naturais que se refletem em um processo de degradação mais rápido que a capacidade de regeneração e resiliência da floresta amazônica.

1.2 Justificativa da pesquisa

Dentre os principais entraves dos projetos de redução das queimadas e prevenção de incêndios florestais estão às regras legais que compõem a regulação do uso do fogo por produtores e nas punições para aqueles que não cumprem tais regras, mesmo com restrições legais aparentemente severas, a sua execução não segue os mesmos preceitos. Segundo Barreto e Mesquita (2009) do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), somente 5% dos casos notificados pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis) chegam a ser julgados, sendo que dentre estes a maior parte são sobre pessoas físicas, resultando em uma arrecadação média de apenas 10% do total de multas aplicadas (BARRETO; BEZERRIL, 2011; MESQUITA, 2009; MISTRY).

Os conflitos entre órgãos fiscalizadores como MP (Ministério Público), MMA (Ministério de Meio Ambiente) e IBAMA com os produtores que utilizam o fogo de forma irresponsável só tem se intensificado ao longo dos anos. Para Mistry e Bezerril (2011) alguns produtores não vêem como crimes esta prática, pois na visão cultural deles o fogo serve para renovar o ambiente e fertilizar o solo, sendo assim algo benéfico e os grandes produtores culpam a dificuldade, os custos e o excesso de burocracia para se adquirir uma licença para a queima controlada. Segundo Barreto e Mesquita (2009), faltam aos órgãos fiscalizadores mostrarem ações educativas e tecnologias efetivas, considerando as características culturais e econômicas, para o não uso do fogo antes de incriminar o uso do mesmo como forma de manejo da terra.

Atualmente uma das ferramentas mais importante no combate a queimadas é o monitoramento realizado via sensoriamento remoto pelo INPE, que mostra uma grande recorrência de queimadas em toda a região amazônica, incluindo áreas de conservação e/ou manejo ambiental (Indígena, Federal e Estadual), com ênfase principalmente na região que engloba o arco do desmatamento, emitidos alertas de risco e previsão. Pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de quantificar as perdas e as consequências decorrentes da degradação ambiental por meio do uso do fogo (ARAÚJO *et al.*, 2013; NEPSTAD *et al.*, 1999; SCHROEDER *et al.*, 2009).

No entanto, todas as políticas adotadas para coibir o uso do fogo não têm apresentado resultados significativos, tendo vista o grande número de focos de queimadas detectados todos os anos. O manejo tradicional, as questões econômicas e as leis e as pesquisas

científicas ainda não conseguiram encontrar um ponto em comum para resolver as questões que envolvem o uso do fogo, em quanto a solução não é encontrada, as perdas de biodiversidade, emissão CO₂ e diversas consequências do mau uso do fogo continuam presentes no cenário atual da Amazônia.

Assim, esta pesquisa visa contribuir na busca para o desenvolvimento de uma ferramenta, dentro do campo da meteorologia aplicada ao meio ambiente, que possa ser de baixo custo e que respeite a questão tradicional e cultural dos produtores e ao mesmo tempo utilize a tecnologia como método de controle, criando mais uma alternativa para que os órgãos de fiscalização e monitoramento possam gerenciar de forma mais efetiva o uso responsável do fogo.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa foi realizar a análise das pesquisas desenvolvidas em relação ao cenário atual de queimadas na Amazônia Oriental e propor a construção de um calendário meteorológico para o manejo responsável do fogo no campo baseado nas condições meteorológicas locais, como uma ferramenta de baixo custo para o controle de queimadas e redução do risco de incêndios florestais.

1.3.1 Objetivos Específicos

1 – Identificar como a condução das pesquisas relacionadas a queimadas na Amazônia contribuiu para a construção do cenário ambiental atual;

2 – Analisar a acurácia das ferramentas de detecção e previsão de queimadas (risco de fogo) e relaciona-las com as variações meteorológicas associadas à ocorrência dos mecanismos oceano atmosfera El Niño e La Niña para o município de Paragominas;

2 – Elaborar um calendário meteorológico de manejo ambiental para o uso do fogo para diferentes formas de uso e cobertura do solo para o município de Paragominas.

2.1 Estrutura da Tese

Este trabalho está estruturado de seguinte forma:

São quatro capítulos, onde, no **Primeiro Capítulo** (1) foi abordada a visão geral do quadro de queimadas no contexto amazônico, como fogo é utilizado e seus principais impactos, o funcionamento e grau de resiliência da floresta Amazônica a queimadas, a questão econômica e as barreiras que as alternativas a queima enfrentam, ao final são apresentados os objetivos da pesquisa.

No **Segundo Capítulo** (2), foi realizado o levantamento histórico das pesquisas desenvolvidas nos últimos trinta anos sobre queimadas na região amazônica e como as mesmas podem ser relacionadas com o atual cenário de queimadas.

No **Terceiro Capítulo** (3), foi analisado o atual sistema de monitoramento e emissão de alertas de queimadas utilizado pelos institutos oficiais de pesquisa e combate a queimadas do governo, qual a função dos mesmos, o grau de acerto e suas limitações.

No **Quarto Capítulo** (4), foi elaborado o calendário meteorológico de manejo do fogo no campo, indicando o momento mais seguro para realização de uma queimada com o objetivo de reduzir impactos indesejados.

Ao final uma breve discussão é apresentada resumindo sucintamente toda a pesquisa desenvolvida.

CAPÍTULO 2 QUEIMADAS NA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE DAS PESQUISAS DESENVOLVIDAS NOS ÚLTIMOS 25 ANOS (1993-2017)

Resumo

A utilização de fogo como forma de limpeza do solo está amplamente inserida no processo produtivo da Amazônia, sendo um dos elementos que impulsionam a expansão agrícola na região. Contudo, seu uso sem controle tem provocado um aumento significativo de focos de queimadas, resultando na expressiva elevação da contribuição da região Amazônica nos últimos 25 anos, passando de 20% para 40% do total de queimadas registradas no Brasil. Considerando este cenário ambiental foi realizada a análise quantitativa e qualitativa das pesquisas publicadas nos últimos vinte e cinco anos (1990 a 2017) sobre uso do fogo no campo na região Amazônica, com o objetivo de entender como o desenvolvimento das mesmas contribuíram no entendimento, controle e combate as queimadas. Os resultados mostraram que houve uma tendência na forma como a questão da queimada foi abordada, focando principalmente sobre impactos ambientais e nas formas de monitoramento, uso controlado, alternativas e impactos econômicos foram abordados em menor proporção. O Atual cenário de queimadas na Amazônia pode estar relacionado a uma combinação de escolhas, como a questão das queimadas poderia ter sido tratada e como de fato ela foi.

Palavras-chave: Queimadas na Amazônia. Abordagem Acadêmica. Educação Ambiental.

Abstract

The use of fire as a way of cleaning the soil is widely inserted in the productive process of the Amazon, being one of the elements that drive the agricultural expansion in the region. However, their uncontrolled use has led to a significant increase in outbreaks of wildfires, resulting in a significant increase in the contribution of the Amazon region in the last 25 years, from 20% to 40% of total wildfires recorded in Brazil. Considering this environmental scenario, a quantitative and qualitative analysis of the research published in the last twenty-five years (1990 to 2017) on the field's use of fire in the Amazon region was carried out, in order to understand how their development contributed to the understanding, control and and fight the wildfires. The results showed that there was a trend in the way the issue of wildfires was addressed, focusing mainly on environmental impacts and the ways in which monitoring, controlled use, alternatives and economic impacts were addressed to a

lesser extent. The current scenario of wildfires in the Amazon may be related to a combination of choices, how the issue of burning could have been addressed and how it actually was.

Keywords: Amazonian wildfires. Academic Approach. Environmental Education.

2.1 Introdução

As queimadas estão amplamente inseridas no processo produtivo da Amazônia, sendo um dos elementos que impulsionam a expansão agrícola na região. Ela já era usada em pequenas propriedades por caboclos amazônicos e indígenas (LEONEL, 2000), passou a ser utilizada sem controle em pequenas e médias propriedades, elevando o índice de focos de incêndios descontrolados, levando a perda de grandes áreas florestais, sua biodiversidade animal e a intensificação do processo de empobrecimento dos solos (FEARNSIDE, 2002; PEDROSO JR *et al.*, 2008).

O uso do fogo é considerado um método barato para preparar a terra para o plantio de culturas e para a limpeza de pastagens, pois, as árvores derrubadas e queimadas produzem cinzas ricas em nutrientes que fertilizam o solo e, no curto prazo, aumentam sua produtividade. O fogo é usado, também, para estimular o crescimento de gramíneas forrageiras de pastagens e matar as plantas invasoras lenhosas que invadem estas pastagens. Sem o fogo, certamente os proprietários rurais teriam que investir na compra de máquinas pesadas para remover as árvores caídas e despende tempo roçando com facões as ervas daninhas que invadem as pastagens (ALENCAR *et al.*, 1997; NEPSTAD *et al.*, 1999a, 2001).

Existe assim uma racionalidade inerente ao uso do fogo na Amazônia semelhante àquela existente em outras florestas tropicais úmidas. Nesse sentido, a racionalidade do produtor face à restrição de recursos, tais como baixa oferta de mão de obra, baixa rentabilidade agrícola, inexistência de alternativas economicamente viáveis e baixa qualidade do solo para a agricultura podem explicar a utilização intensa do fogo nas atividades agropecuárias (NEPSTAD *et al.*, 1999a,b, 2001). Devido a todos esses fatores o processo de derrubada e queimada se tornou o instrumento predominante para o preparo do solo na região Amazônica, sobretudo em pequenas e médias propriedades (HOMMA *et al.*, 1993).

Até a metade da década de 1980 não era disponível as tecnologias via sensorimento remoto por satélites para análises espaciais mais amplas e precisas, assim, grande parte dos estudos eram feitos *in loco* e o uso do fogo no campo geralmente não era o foco da pesquisa, mas era retrado como parte da prática comum de manejo da terra, sempre ressaltando os impactos do excesso do seu uso ao ambiente (ANDRADE, 1980; DIAS FILHO, 1987; FEARNSIDE, 1979, 1980; HARWOOD, 1979; SCHUBART, 1977; SERRÃO, 1984; WISNIEWSKI, 1970). Também das condições socioeconômicas que contribuíam para a difícil alteração desta prática (EMBRAPA, 1974; HOMMA, 1980). E quando a queimada era o foco limitava-se a mostrar como o mau uso ou o excesso poderia trazer um impacto local no sentido de perda da biodiversidade (BRINKMANN; NASCIMENTO, 1973; FALESI, 1980; LIMA, 1958).

Trabalhos sobre mudanças climáticas, emissão de CO₂ eram raros antes de 1988 (ano de criação do Painel internacional sobre Mudanças Climáticas – IPCC), assim, algumas pesquisas que focavam os impactos das queimadas, ressaltavam que não era a prática em si o problema, mas a falta de organização e controle sobre a mesma. Segunda Falesi *et al.* (1980):

O efeito das queimadas sobre o solo e a vegetação é bastante contraditório, isto porque as opiniões são baseadas apenas em fatos históricos, sem medidas precisas. pesquisas dão evidências de que isto se deve a um surper excesso de pastoreio. A queima deve causar perdas de nitrogênio e enxofre, assim como de certos contribuintes orgânicos. Entretanto estas perdas não implicam necessariamente no declínio destes elementos. Com 30 anos de experiência em vários Estados brasileiros, Vicent (1935) provou não terem fundamento as afirmativas de que o fogo seria o responsável pelo empobrecimento do solo com respeito ao *húmus*, *nitrogênio* e redução de Fertilidade. Em sua opinião, a queima usada devidamente e com discrição, traz certas vantagens como a eliminação de ervas invasoras e de pestes parasitas de rebanhos e que o insucesso da prática e os impactos provocados têm sido indevidamente atribuídos ao sistema de cultivo, pois na realidade, trata-se de um problema sócio-econômico. (FALESI et al., 1980, p. 8).

Ao longo da década de 1990, impulsionado pelo cenário de alerta global sobre as mudanças climáticas, mais pesquisas passaram a ser realizadas, principalmente pela iniciativa pública por meio da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e Universidades Federais, para o desenvolvimento de novas tecnologias com a intensão de diminuir ou se possível eliminar a prática da queimada nas atividades rurais (SÁ *et al.*, 2000, 2007). No entanto, os esforços empregados, ainda não conseguiram resultados significativos em termos de redução das queimadas, visto os recorrentes recordes de focos de queima na Amazônia registrados todos os anos.

Nesta pesquisa, avaliamos a produção científica sobre o uso do fogo no campo realizada entre a década de 1990 até o ano de 2017 para entender como as pesquisas foram

desenvolvidas, qual o principal foco, principais resultados gerados e avaliar o conhecimento produzido com cenário atual de queimadas na Amazônia oriental.

2.2 Metodologia

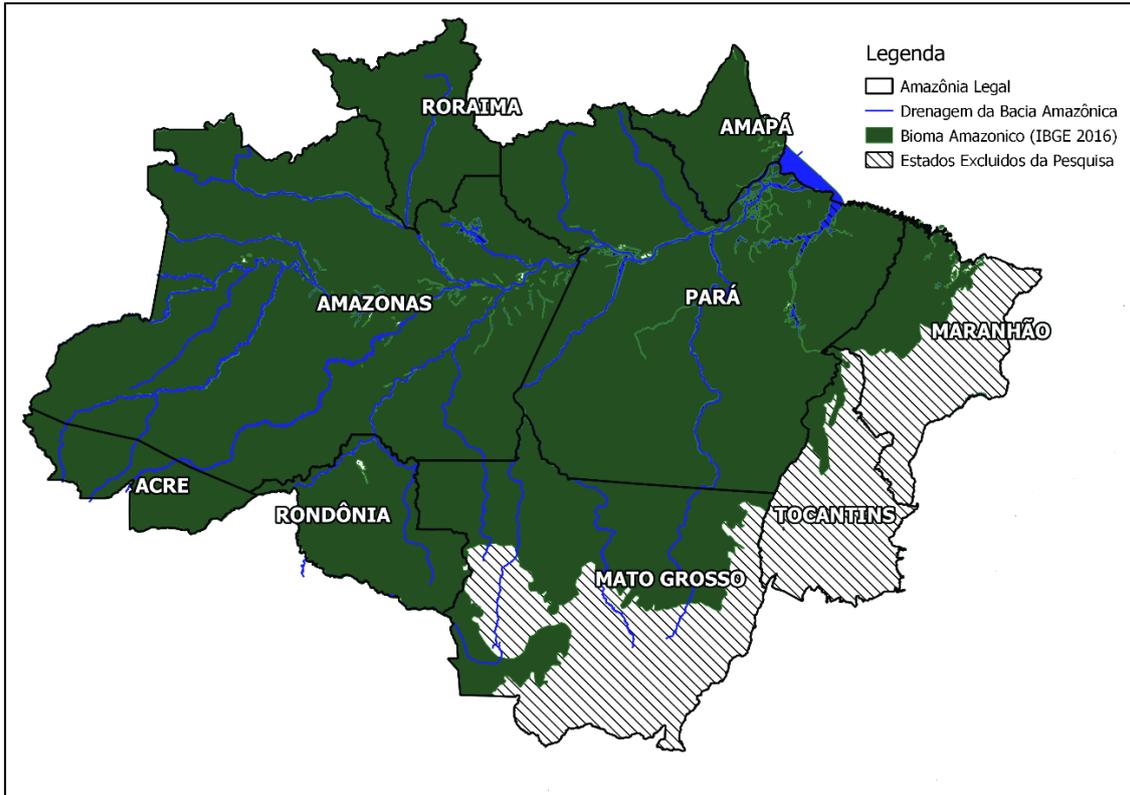
2.2.1 Critérios para Seleção e Análise dos Dados

Para a formação do banco de dados desta pesquisa, foi utilizado a metodologia descrita em Treinta *et al.* (2014), onde optou-se por realizar as buscas das publicações nas duas bases de dados bibliográficos mais utilizados no meio acadêmico (MIRANDA; CARVALHO, 2017) – Google Acadêmico e Portal Periódico CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) – onde as palavras chaves utilizadas foram: “Fogo (Queimadas) na Amazônia”; “Uso do fogo no campo”; “Alternativas as Queimadas” e “Queimadas”. O levantamento de informações por tema foi conduzido até 30º página web de cada banco de dados.

O período selecionado foi do ano de 1990 a 2017, as publicações foram selecionadas ano a ano dentro dos bancos de dados já mencionados. Os arquivos considerados foram: Artigos científicos, livros e produções técnicas (relatórios ambientais oficiais), cujo foco fosse exclusivamente o tema queimadas no território amazônico.

Entenda-se como território amazônico os estados: Amazonas, Pará, Amapá, Roraima, Rondônia e Acre (Figura 1). Não foram consideradas pesquisas desenvolvidas nos estados do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso devido os mesmos representarem zonas de transição entre biomas do cerrado e pantanal, respectivamente, onde as pesquisas sobre queimadas nessas localidades podem não necessariamente estar relacionadas a porção do bioma amazônico pertencente a estas localidades.

Figura 1 – Limites do bioma Amazônico no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi realizada a análise quantitativa com o objetivo de classificar o total de documentos encontrados em cinco grupos: monitoramento; impactos ambientais; alternativas ao uso do fogo; uso controlado e impactos econômicos. Em seguida foi realizada a análise qualitativa para revisão dos principais pontos destacados em cada grupo criado.

2.3 Resultados e Discussões

A partir do processo descrito na metodologia, foram selecionados 226 arquivos: 215 artigos científicos, 3 livros e 8 documentos oficiais (relatórios oficiais sobre grandes queimadas, relatórios EMBRAPA sobre métodos de plantio e alternativas à queimada). Para detalhar melhor os dados da pesquisa, os arquivos foram subdivididos de acordo com sua abordagem de um ou mais temas (Tabela 1). Como a classificação foi feita por temas, alguns arquivos foram repetidos devido abordarem mais de um assunto.

Tabela 1 - Proporção de ocorrência de cada tema nas pesquisas realizadas entre os anos de 1990 a 2017.

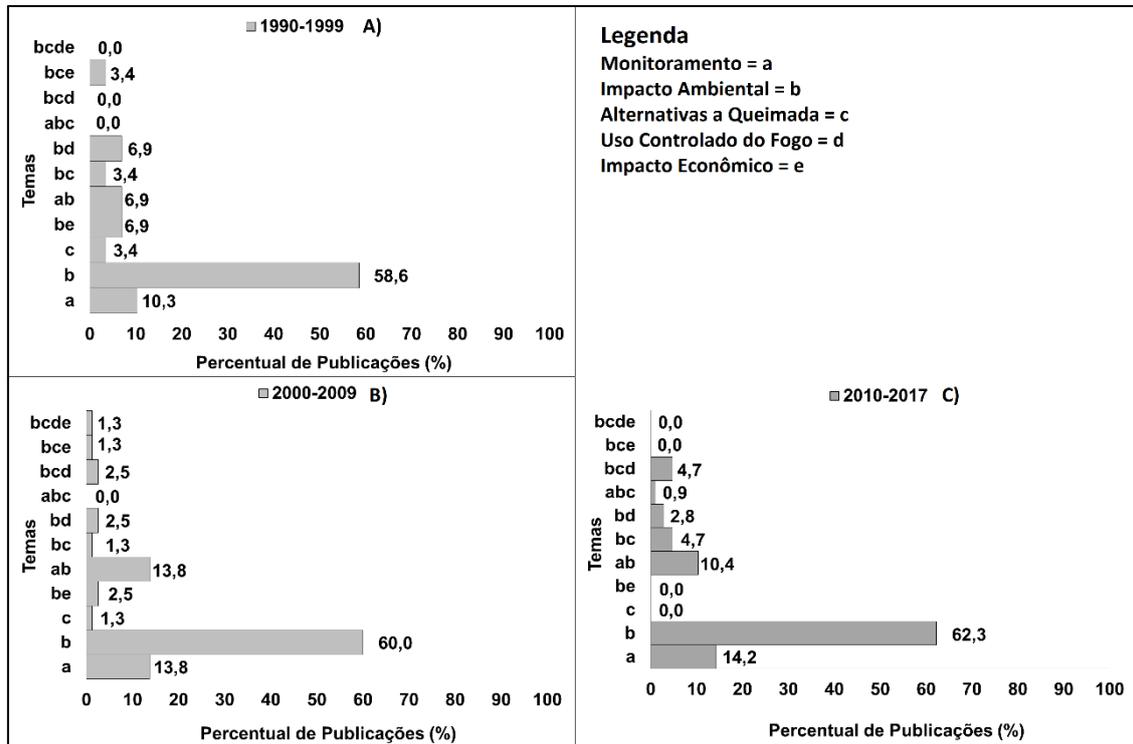
TEMA	PERCENTUAL (%)	TOTAL DE ARQUIVOS
Impactos Ambientais	85,8	194
Monitoramento	24,7	56
Alternativas	9,3	21
Uso Controlado	7,1	16
Impacto Econômico	3,8	8

Observa-se que a maior parte da produção foi voltada aos impactos produzidos pelo uso de queimadas no campo, estando presente 85,8% das produções. Monitoramento foi o segundo, estando presente em 24,7% dos trabalhos produzidos. Os demais temas, se somados, constituem somente 20,2% da produção. Este resultado indica que detecção e avaliação de impactos sempre foi a prioridade na pesquisa sobre as queimadas na amazonia.

Nota-se na tabela 1 que os temas relacionados a: alternativas a queimada, o uso controlado ou mesmo a viabilidade ou a dimensão econômica dos impactos da queima, temas fundamentais para compreensão da complexidade que envolve o uso do fogo no campo, não são explorados com o mesmo entusiasmo pela academia e centros de pesquisa ambientais da Amazonia.

Para melhor compreender a distribuição da produção científica e a prioridade para os temas de impacto e monitoramento, classificamos as mesmas por décadas (Figura 2).

Figura 2 - A) Distribuição percentual da produção científica sobre queimadas na Amazônia por tema na década de 1990 (A), década de 2000 (B), e entre os anos de 2010 e 2017 (C).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a Figura 2, percebe-se que os estudos sobre impactos ambientais provocados pelas queimadas e as formas de monitoramento se destacam, permanecendo como prioridade durante todo o período de estudo, saindo de 58,6% na década de 1990 (Figura 2(A)) para 62,3% até o ano de 2017 (Figura 2(C)), nota-se também que estudos sobre alternativas ao uso do fogo não seguiram o mesmo ritmo de pesquisa como os dois primeiros. Enquanto trabalhos sobre impactos ambientais e monitoramento tenderam a aumentar, o número de pesquisa sobre alternativas reduziu, na década de 1990 era de 3,4% (Figura 2(A)), na década de 2000 reduziu para 1,3% (Figura 2 (B)) das produções, e entre os anos de 2010 a 2017 este assunto deixou de ser abordado individualmente(Figura 2 (C)).

As pesquisas que envolveram os temas Uso Controlado do Fogo (d) e Impacto Econômico (e) fizeram parte da produção científica nas duas primeiras décadas analisadas (1990 e 2000), porém, a tendência decrescente de publicações sobre esses temas (Figura 2), levou praticamente ao desaparecimento dos mesmos a partir do ano de 2010. As atuais pesquisas sobre queimadas na Amazônia, potencializam principalmente as atividades de monitoramento e os impactos produzidos pelo fogo no meio ambiente, as discussões interdisciplinares também buscam relacionar os mesmos temas. Um possível motivo para este cenário pode ter sido a introdução do sensoriamento remoto como ferramenta de

monitoramento e pesquisa de queimadas. Estudos que em sua maior parte eram feitos em microescala, uma fazenda ou pequenas regiões com as informações pontuais (BARBOSA; FEARNSSIDE, 1999; FEARNSSIDE, 1995; HOMMA *et al.*, 1993; MACKENSEN *et al.*, 1996; NEPSTAD *et al.*, 1995; PYNE; GOLDAMMER, 1997). Após a introdução do sensoriamento remoto criando condições para detectar os impactos do fogo com maior precisão, tanto em pequena como em grande escala, a maior parte das pesquisas passaram a focar grandes regiões (ALENCAR *et al.*, 2015; COCHRANE; LAURANCE, 2002; MAEDA *et al.*, 2011; PROCOPIO, 2000; ROY; KUMAR, 2017; SCHROEDER *et al.*, 2008).

Esta nova forma de análise pode ter levado a redução do contato dos pesquisadores com o local impactado, consequentemente a relação socioeconômica, necessária nas primeiras pesquisas devido a proximidade com a comunidade, foram reduzindo a medida que os pesquisadores optavam mais pelo laboratório que o campo, consequentemente houve a redução das abordagens socioeconômicas levando ao quadro atual.

Entender os impactos e desenvolver formas de monitoramento é fundamental para o combate e redução momentânea do problema, mas se as causas não forem discutidas e resolvidas o problema persistirá, e o aparente controle da situação pode não ser duradouro. Segundo Koerich e Erdmann (2003) a visão habitual disciplinar que foi adotada nas pesquisas ambientais, tende a deformar a visão de mundo, o que leva a isolar os problemas do seu contexto, simplificando-os para tentar resolvê-los. Com isso, obtêm-se uma solução parcial e inadequada, dando a impressão que os problemas se repetem, quando na verdade, não foram resolvidos. (BONFIM *et al.*, 2015).

Estas constatações podem ser observadas ao analisar a tendência do número de queimadas ocorridas entre o ano de 1999 a 2017 na região da Amazônica (Figura 3), na qual é possível observar que após a elevação dos focos observados no ano 2000, a ocorrência total de queimadas na Amazônia permaneceu sempre acima dos 60000 focos anuais. O total de focos tende a oscilar em anos onde a condição meteorológica favorece ou desfavorece a ocorrência dos mesmos, como nota-se nos anos de 2005, 2010 e 2015/2016, anos em que também foram marcados por secas extremas em alguns pontos a Amazônia (ARAGÃO *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2019).

A maior parte das secas severas está intimamente associada os eventos de El Niño, tais como os ocorridos em 1982/83, 1986/87 e 1997/98, e consistem no aquecimento das águas do Pacífico equatorial (MARENGO, 1992, 2004; RONCHAIL *et al.*, 2002; UVO *et al.*, 1998).

Outro fenômeno é apontado como causador das secas amazônicas é o aquecimento da superfície das águas do atlântico equatorial norte (MARENGO *et al.*, 2008). A secas ocorridas em 1997, 2005, 2010 e 2015/2016 foram resultado deste dois fenômenos que alteram os mecanismos da circulação atmosférica tropical (EL Niño e aquecimento do Atlântico equatorial norte) (MARENGO *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2019).

No entanto, mesmo com as oscilações anuais do número de focos de calor provocadas pelos mecanismos oceano atmosfera, no quadro geral o quantitativo de queimadas não se altera significativamente, pois mesmo com as interferências climáticas, a atividade antrópica é a maior responsável pelos números observados (LATORRE *et al.*, 2017).

Outro dado que reforça a tese do controle temporário das queimadas na Amazônia, pode ser observado na Figura 4, onde nota-se que no início da década de 2000 a região Amazônica era responsável por aproximadamente 20% do total de queimadas no Brasil. No ano de 2017, dezenove anos depois, a contribuição da Amazônia dobrou, representando atualmente 40% das queimadas em território brasileiro (INPE, 2018).

Segundo Bonfim *et al.* (2015) a interdisciplinaridade ainda é confundida com trabalho em equipe, porém, temos clareza que sem construção de conhecimento não há interdisciplinaridade, apenas justaposição de ações parcelares, que não dão conta de atender às ameaças emergentes ao meio ambiente. Para Jacobi (2003), a postura de dependência e de desresponsabilização da população decorre principalmente da desinformação. Segundo Pádua e Tabanez (1998), somente a educação ambiental propicia o aumento de conhecimentos, mudança de valores e aperfeiçoamento de habilidades, condições básicas para estimular maior integração e harmonia dos indivíduos com o meio ambiente.

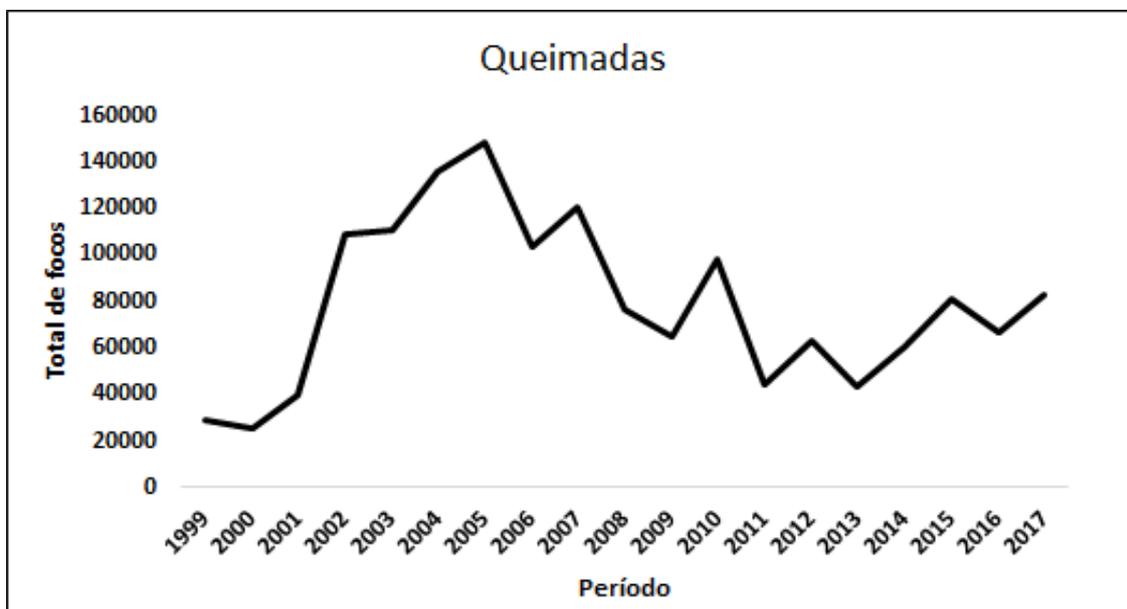
A Lei 9795/1999 que dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental menciona:

Entende-se por Educação Ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade. (Lei 9795/ 1999, Cap. I, Art 1º).

Assim, nota-se a importância de se pesquisar, não somente os impactos e as formas de monitoramento, mas alternativas e o contexto socioeconômico que envolve o problema ambiental, neste caso as queimadas, para que a implementação de controle e restrições sejam

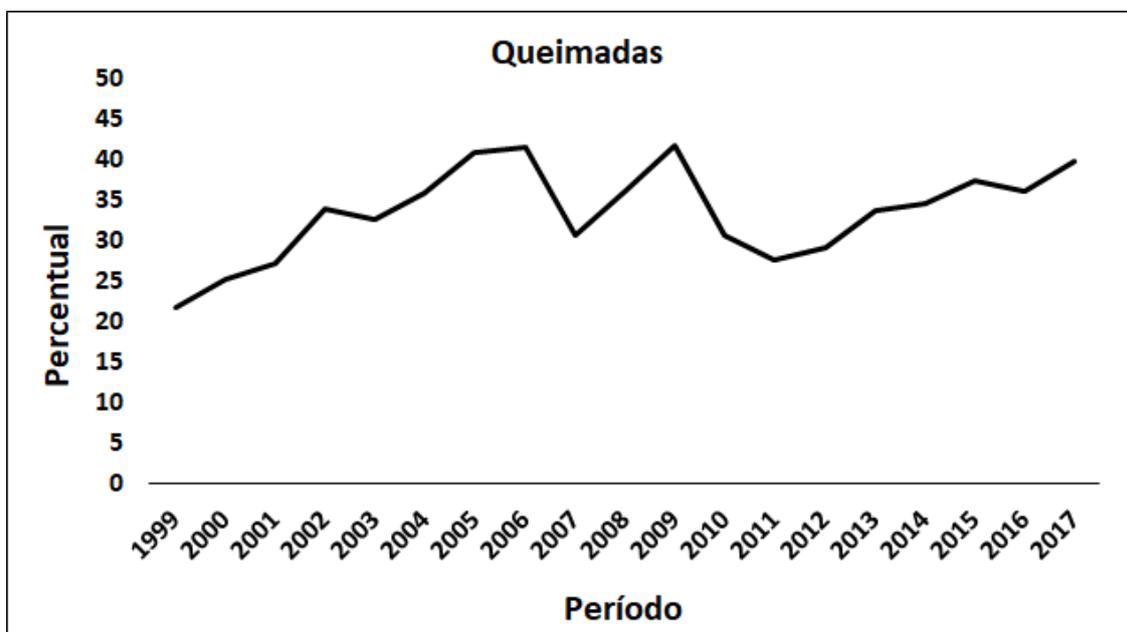
acompanhadas de educação e preparação dos produtores rurais para que os mesmos possam ver nas alternativas o procedimento ideal para o desenvolvimento de suas atividades.

Figura 3 - Total de focos de queimadas observados entre os anos de 1999 a 2017 Amazônia Legal (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima), segundo os critérios da Figura 1.



Fonte: INPE (2018).

Figura 4 - Percentual de contribuição da região Amazônica no total de queimadas no Brasil entre os anos de 1999 a 2017.



Fonte: INPE (2018).

2.4 Conclusão

O foco das pesquisas na Amazônia sobre queimadas realizadas nos últimos 25 anos tenderam a abordar principalmente os temas sobre impactos ambientais e em formas de monitoramento, condição que contribuiu para uma redução momentânea do número de focos de queimadas, porém, esta redução não é gradual, pois parece depender mais de condições ambientais (meteorológicas) do que de fato uma mudança de comportamento.

As queimadas estão atreladas a atividade antrópica o que torna necessário uma abordagem interdisciplinar focada em alternativas de controle e educação ambiental, para que o processo de redução das queimadas passe a ser constante. Os aspectos socioeconômicos precisam ser analisados e compreendidos no mesmo ritmo que as pesquisas de impactos ambientais e monitoramento, pois, compreendendo as condições antrópicas e promovendo a conscientização ambiental no campo, a possibilidade de redução das prática de uso do fogo podem ser mais eficazes.

Pesquisas sobre alternativas e uso controlado do fogo também poderiam auxiliar na redução dos mesmos, pois a criar uma consciência ambiental é um investimento para o futuro, mas no momento atual, a gestão consciente do uso do fogo, como alternativa, poderia reduzir o número recorrente de queimadas sem controle na região Amazônica.

Referências

ALENCAR, A. A.; BRANDO, P. M.; ASNER, G. P.; Pi UTZ, F. E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. *Ecol. Appl.* v. 25, n.6, p. 1493– 1505. 2015.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; SILVA, E.; BROWN, F.; LEFEBVRE, P.; MENDOSA, E.; ALMEIDA, CARVALHO JR, D. O. Uso do fogo na amazônia: estudos de caso ao longo do arco de desmatamento. *World Bank Report*. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2140624>. Acesso em: 3 setembro 2017

ANDRADE, E. B. *Sistemas de produção em policultivo de mandioca, milho e caupi para a microrregião bragantina* – Pará. Belém: Centro de pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, 4, 1980. 27p.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; CUESTA, R. M. R.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O; SHIMABUKURO, Y. E. (2013). Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, v. 34, L07701, 2007. doi:10.1029/2006GL028946.

BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de roraima na passagem do evento “El Niño” (1997/98). *Acta Amazonica*, v. 29, n. 4, p. 513-534, 1999.

BONFIM, D.; PEREIRA, M. J. B.; PIERANTONI, C. R.; HADDAD, A. E.; GAIDZINSKI, R. R. Instrumento de medida de carga de trabalho dos profissionais de Saúde na Atenção Primária: desenvolvimento e validação. *Rev. esc. enferm. USP* [online]. v.49, n.spe 2, p. 25-34, 2015. ISSN 0080-6234. <http://dx.doi.org/10.1590/S0080-623420150000800004>.

BRINKMANN, W. L. F.; NASCIMENTO, J. C. The effect of slash and burn agriculture on plant nutrients in the tertiary region of central Amazonia. *Acta Amazonica*, v. 3, n. 1, p. 55-61. 1973.

COCHRANE, M.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonia forests, *Journal of Tropical Ecology*, v.18, n.3, p. 311-325, 2002.

DIAS FILHO, M. B. *Especíes forrageiras e estabelecimento de pastagens na Amazônia*. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1987. 49p.(Documento, 46).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. *Sugestão ao soerguimento econômico do setor primário no estado do Pará*. Belém: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte. Belém, 1974. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/390093/sugestoes-ao-soerguimento-economico-do-setor-primario-no-estado-do-para#anavigation>. Acesso em: 5 outubro 2017.

FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C.; DUTRA, S. Conseqüências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste paraense. *Boletim de Pesquisa*. EMBRAPA-CPATU, 1980. 49p. (Documento, 14).

FEARNSIDE, P.M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, v.16, n.44, p. 99–123, 2002.

FEARNSIDE, P. M. Previsão da produção bovina da rodovia transamazônica do Brasil. *Acta Amazonica*, v. 9, n. 4, p. 689-700, 1979.

FEARNSIDE, P. M. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia Brasileira: consequências para a sustentabilidade de produção bovina. *Acta Amazonica*, v. 10, n. 1, p. 119-132, 1980.

HARWOOD, J. H. Política florestal e o quadro energético. Supl. *Acta Amazonica*, v. 9, n. 4, p. 179-184, 1979.

HOMMA, A. K. O. Uma tentativa de interpretação teórica do processo extrativo. Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza. Rio de Janeiro. RJ, v. 16, p. 136-141, 1980.

HOMMA, A.K.O.; WALKER, R.T.; SCATENA, F.N.; CONTO, A.J.; CARVALHO, R.A.; FERREIRA, C.A.P.; SANTOS, A.I.M. Redução dos desmatamentos na Amazônia: política agrícola ou ambiental? *Agricultura e Energia: Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola*. Brasília. DF, EMBRAPA-SPI. v. 1, p.120-141, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, INPE. *Portal do monitoramento de queimadas e incêndios*. *Bd Queimadas*. São José dos Campos, 2018. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso em: 20 jun. 2018.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. *Cadernos de Pesquisa*, n. 118, n. 118, p. 189-205, 2003.

- LATORRE, N. S.; OLIVEIRA, L. E.; ARAGÃO, C.; ANDERSON, L. O.; ANDERE, L.; DUARTE, V.; ARAI, E.; LIMA, A. Impactos de queimadas sobre diferentes tipos de cobertura da terra no leste da Amazônia Legal brasileira. *Revista Brasileira de Cartografia, Edição Especial Geotecnologias e Desastres Naturais*, v. 1, n. 69, p. 179-192, 2017. ISSN: 1808-0936.
- LEONEL, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. *Estud. av.*; São Paulo, v. 14, n. 40, p. 231-250, 2000.
- LIMA, R. R. Os efeitos das queimadas sobre a vegetação dos solos arenosos da região da estrada de ferro de Bragança. *Boletim da Inspeção Regional do Fomento Agrícola do Pará*. p. 23-55. 1958
- NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A.; ALENCAR, A. A. *A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia*. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília, Brasil, 1999a. . 202 p.
- NEPSTAD, C. D.; VERSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. (b) Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v. 398, n.6727, p. 505-508, 1999b. Doi: <https://doi.org/10.1038/19066>.
- NEPSTAD, C. D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA JR, U. L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of amazon forests. *Forest Ecology & Mgt.* v. 154, p. 395-407, 2001. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00511-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00511-4).
- NEPSTAD, D. C.; JIPP, P.; MOUTINHO, P.; NEGREIROS, G.; VIEIRA, S. Forest recovery following pasture abandonment in Amazônia: canopy seasonality, fire resistance and Ants. *Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems*. v. 28, p. 333-349, 1995.
- MAEDA, A.; BUZZETTI, S.; BOLIANI, A.; BENETT, C.; TEIXEIRA FILHO, M.; ANDREOTTI, M. Foliar fertilization on pineapple quality and yield. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.41, n.2, p.248-253, 2011.
- MARENGO J. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *Int J Climatol*. v.12, p. 853-863, 1992.
- MARENGO, J. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*. v. 78, p. 79-96, 2004.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; SAMPAIO, G.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, v. 21, p. 495–516, 2008.
- MIRANDA, A. C. C.; CARVALHO, A. V. Análise do uso do portal de periódicos da capes: estudo com egressos do PPGA/UFRN. *Ponto de Acesso*, Salvador, v.11, n.1, p. 60-80, abr. 2017
- PÁDUA, S.; TABANEZ, M. (orgs.). *Educação ambiental: caminhos trilhados no Brasil*. São Paulo: Ipê, 1998. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/1997/01/educacao-ambiental-caminhos-trilhados-no-brasil>. Acesso em: 2 janeiro 2018.

PEDROSO JR. N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi Cienc. Hum.* Belém, v. 3, n. 2, p. 153-174, ago. 2008.

PYNE, S. J.; GOLDAMMER, J. G. The culture of fire: an introduction to anthropogenic fire history. *Sediment records of biomass burning and global change*. American studies department Arizona state univ. West Phoenix, AZ, USA, NATO ASI Series, v. 151, p. 71-114, 1997.

PROCOPIO, A.S.; *Sensoriamento remoto do efeito dos aerossóis nas nuvens devido à queima de biomassa na Região Amazônica*. Dissertação de Mestrado apresentada à Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 2000. Disponível em: http://w2.files.scire.net.br/atrio/ufrrj-pem_upl/THESIS/1549/pemufrrj2000mscalinesarmentoprocopio_2015081715294520.pdf. Acesso em: 2 fevereiro 2019

RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER M.; GUYOT J. L.; GORRETI, A.; GUIMARÃES, V.; DE OLIVEIRA, E. Interannual rainfall variability in the Amazon Basin and sea surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. *Int. J. Climatol.* v. 22, p. 1663–1686, 2002.

ROY, D. P.; KUMAR, S. S. Multi-year MODIS active fire type classification over the Brazilian tropical moist forest biome. *International Journal of Digital Earth*, v. 10, n. 1, p. 54-84, 2017.

SÁ, T. D. A.; KATO, O. R.; DE CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R. O. Queimar ou não queimar?: De como produzir na Amazônia sem queimar. *Revista USP*, n. 72, p. 90-97, 2007.

SÁ, C. P.; SANTOS, J. C.; LUNZ, A. P.; FRANKE, I. L. *Análise financeira e institucional dos três principais sistemas agroflorestais adotados pelos produtores do reca*. Rio Branco, Embrapa Acre, 2000. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/503349/analise-financiera-e-institucional-dos-tres-principais-sistemas-agroflorestais-adotados-pelos-produtores-do-reca>. Acessa em 2 março 2019.

SILVA JR. C. H. L.; ANDERSON, L. O.; SILVA, A. L.; ALMEIDA, C. T.; DALAGNOL, R.; PLETSCHE, M. A. J. S.; PENHA, T. V.; PALOSCHI, R. A.; ARAGÃO, L. E. O. C. Fire Responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian Droughts. *Front. Earth Sci.* v. 7, pp.97. 2019. ISSN=2296-6463. doi: 10.3389/feart.2019.00097

SCHROEDER W.; E. PRINS; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SCHHMIDT, C.; MORISETTE, J.; MORTON, D. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 2711-2726, 2008.

SCHUBART, H. O. R. Critérios ecológicos para o desenvolvimento agrícola das terras-firmes da Amazônia. *Acta Amazonica*, Manaus, INPA, v.7, n. 4, p. 559-567, 1977.

SERRÃO, E. A. S. Pastagens nativas do trópico úmido brasileiro: conhecimentos atuais. Anais do Simpósio do Trópico Úmido, i.; Belém, 1984. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/394795/pastagens-nativas-do-tropico-umido-brasileiro-conhecimentos-atuais>. Acesso em 2 março 2019.

TREINTA, F. T.; FARIAS FILHO, J. R.; SANT'ANNA, A. P.; RABELO, L. M. Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. *Production*, v. 24, n. 3, p. 508-520, ISSN 0103-6513. 2014.

UVO C. R. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S.; KUSHNIR, Y. The relationship between tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate*, v.11, p. 551-562, 1998. Doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<0551:TRBTPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<0551:TRBTPA>2.0.CO;2).

KOERICH M. S.; ERDMANN A. L. Enfermagem e patologia geral: resgate e reconstrução de conhecimentos para uma prática interdisciplinar. *Texto e Contexto*. v. 12, n. 4, p. 528-37, 2003.

WISNIEWSKI A. Prioridade na pesquisa agropecuária na Amazônia. IN: *II Simpósio Internacional de Administração de Pesquisa Agropecuária*. Fl-PP-00632 – Belém, Pa. 1970. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/374608/prioridades-na-pesquisa-agropecuaria-na-amazonia>. Acesso em 5 março 2019.

CAPÍTULO 3 – CÁLCULO DE RISCO E DETECÇÃO DE QUEIMADAS: UMA ANÁLISE NA AMAZÔNIA ORIENTAL¹

Resumo

O sensoriamento remoto e o índice de Risco de Fogo são as formas de detecção e previsão de queimadas utilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais para monitorar a frequência de queimadas no Brasil. No entanto observa-se que a ocorrência de uma queimada nem sempre é prevista pelo índice do Risco de Fogo, em particular na região da Amazônia oriental. Assim, esta pesquisa foi motivada com o objetivo de analisar o padrão espaço/temporal das queimadas detectadas via satélite e a eficiência dos alertas de previsão de queimadas gerados pelo cálculo do Risco de Fogo, considerando a variabilidade dos mecanismos meteorológicos oceano atmosfera que podem influenciar o regime pluviométrico e alterar a ocorrência de focos de queimada, na região da Amazônia Oriental. As análises desta pesquisa consideraram as alterações das condições meteorológicas moduladas pela variabilidade interanual do El Niño/Oscilação Sul ocorridas entre os anos de 2000 a 2017. Os resultados mostraram que em anos menos chuvosos os focos de queimada apresentaram maior frequência ao longo do ano, nos mais chuvosos tenderam a concentrar-se no segundo semestre, em proporção superior a observada nos anos mais secos. A maior parte dos focos de queimada (80%) ocorreu em áreas alteradas pela atividade humana, resultado não captado pelo índice de Risco de Fogo, indicando que devido o mesmo considerar somente variáveis ambientais, não incluindo a ação do homem como parâmetro, a eficiência em antecipar a ocorrência de uma queimada, torna-se limitada.

Palavras-chave: Focos de calor. El Niño/La Niña. Risco de Fogo.

Abstract

Remote sensing and FireRisk Index are forms of detection and prediction of wildfire used commonly by the National Institute of Space Research to monitoring the frequency of fires in Brazil. However, FireRisk Index does not detect the wildfire occurrence in some cases, particularly over the eastern Amazon. Thus, this research was motivated with the objective of analyzing the space / time pattern of the fires detected by satellite and the efficiency of the fire prediction alerts generated by the Fire Risk calculation, considering the variability of the

¹ Artigo publicado: SODRÉ, G. R. C.; DE SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, J. V.; MORAES, B. C. Cálculo de risco e detecção de queimadas: uma análise na Amazônia Oriental. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 1, p. 1-14, 2018.

meteorological phenomena that can influence the rainfall regime and change the occurrence of wildfires in the region of Eastern Amazonia. The analyzes of this research considered the changes in the meteorological conditions modulated by the interannual variability of the phenomenon El Niño / Southern Oscillation occurred between the years of 2000 to 2017. The results showed that in less rainy years the of fires occurred more frequency throughout the year, in over the rainier years tended to concentrate in the second semester, in a higher proportion than observed in the drier years. Among the largest portion of the wildfires (80%) occurred in areas altered by human activity, this result not its perceived in the fire alerts due environmental variables considered in the calculi do not incline human activity as a parameter, limited the accuracy the anticipating of wildfire occurrence.

Keywords: Active fire; El Niño/La Niña; Fire Alerts.

3.1 Introdução

O uso tradicional do fogo por produtores rurais no Brasil é comum. Principalmente nas regiões consideradas mais pobres como Norte e Nordeste. A resistência à assimilação de novas técnicas que desestimulem a prática do uso do fogo entre os produtores rurais tradicionais, tem levado a persistência de recordes de queimadas em todo o País (GONÇALVES, 2005; SCHROEDER *et al.*, 2009).

Os esforços empregados desde o início da década de 1980, ainda não conseguiram resultados positivos, devido às questões econômicas e culturais que envolvem o uso da prática da queima na Amazônia. Do ponto de vista econômico, o uso do fogo apresenta-se para o produtor rural como uma técnica rápida e barata para a limpeza e fertilização do solo, o que torna necessário o desenvolvimento de uma tecnologia de baixo custo. Do ponto de vista cultural, o uso do fogo está atrelado à questão de práticas agrícolas tradicionais, condição que a reduz a aceitação de novas tecnologias que possam alterar o seu modo de uso da terra (SÁ *et al.*, 2007).

A região da Amazônia oriental, constituída pelo nordeste e sudeste do estado do Pará, é a região que mais produz queimadas relacionadas ao desmatamento, a pecuária e a produção agrícola de grande, médio e pequeno porte do norte do Brasil. Como é o caso do município de Paragominas que possui características do ponto de vista físico, geográfico e político que ilustram bem o quadro geopolítico e ambiental da Amazônia. Do ponto de vista físico,

Paragominas não possui estações climáticas bem definidas ao longo do ano, além de sofrer influência das variações térmicas dos oceanos mais próximos, como a variação do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Pacífico equatorial e do Dipolo do Atlântico equatorial, cujos os efeitos alteram os padrões dos mecanismos tropicais da interação oceano-atmosfera e a configuração de precipitação regional (CAPISTRANO, 2012; SODRÉ *et al.*, 2015). O ENOS é caracterizado pela variação dos mecanismos oceano atmosfera, associado às alterações dos padrões normais da TSM (temperatura da superfície do mar) e dos ventos alísios na região do Pacífico equatorial (COSTA, 2017; MORAES NETO *et al.*, 2007), em que, na fase negativa (La Niña), as chuvas na Amazônia são geralmente acima do normal climatológica e, na fase positiva, (El Niño) abaixo do normal (CAPISTRANO, 2012; GRIMM *et al.*, 1998, 2000; MORAES *et al.*, 2015).

Do ponto de vista Geográfico, o município de Paragominas está situado na zona do Arco do Desmatamento, local onde a persistente degradação ambiental levou a supressão de grande parte da vegetação primária e a instalação de diversas formas de uso e ocupação do solo. Tal condição levou Paragominas a ser o primeiro município Amazônico a aderir às políticas federais de conservação ambiental e desenvolvimento sustentável por meio do projeto Município Verde. No entanto, 10 anos após aderir a este projeto e obtendo significativas reduções no desmatamento, a degradação ambiental provocada pelos recorrentes focos de queimada colocam Paragominas entre os municípios mais vulneráveis a ocorrência de incêndios florestais na Amazônia (CARNEIRO; ASSIS, 2015; SANTOS *et al.*, 2017).

Devido à dificuldade de evitar o uso do fogo e as frequentes queimadas que ocorrem todos os anos em diversas localidades do Brasil. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu uma metodologia para o cálculo do Risco de Fogo (RF) sobre todos os biomas brasileiros para previsão por meio de alertas de queimada. No entanto, devido o mesmo ser gerado para todo o território brasileiro e ser baseado nas características de uso e cobertura do solo, torna-se necessário uma análise mais pontual, em alta resolução, para avaliar na escala municipal a precisão da metodologia proposta pelo INPE (SETZER *et al.*, 2017).

Esta pesquisa tem por objetivo analisar o padrão espaço/temporal das queimadas detectadas via satélite e a eficiência dos alertas de previsão de queimadas gerados pelo calcular o Risco de Fogo, considerando a variabilidade dos mecanismos meteorológicos

oceano atmosfera que podem influenciar o regime pluviométrico e alterar a ocorrência de focos de queimada, na região da Amazônia Oriental.

3.2 Metodologia

3.2.1 Localização da Área de Estudo

O município de Paragominas (fundado por meio da Lei estadual nº 3.235 em 4 de janeiro de 1965) situa-se às margens da rodovia Belém-Brasília (BR-010), a 320 quilômetros da cidade de Belém, possui uma área de 1,93 milhão de hectares (1,5% da área do Pará) e abriga uma população de quase 104 mil habitantes (IBGE, 2013) (Figura 5A). Paragominas apresenta clima quente e úmido, com temperatura média do ar diária de 26°C, pluviosidade média anual de 1.800 mm e umidade relativa média do ar de 81%. O município é caracterizado por um período mais chuvoso, entre os meses de dezembro a maio, e outro mais seco entre junho e novembro (INMET, 2013). Originalmente, Paragominas era coberto por floresta tropical, a qual sofreu processos de mudanças ao longo das últimas cinco décadas, sendo que no ano de 2008, em torno de 45% da sua área total estava totalmente desmatadas ou altamente degradadas pela atividade humana, equivalente a 874 mil hectares (PRODES, 2009). O restante (55%) do território permanecia coberto por florestas em diversos estágios de uso e conservação (SANTOS *et al.*, 2017).

As principais atividades econômicas do município são: pecuária, madeireira, produção de carvão, agricultura de pequena, média e grande escala e mineração de bauxita, que em conjunto movimentam os setores da indústria e de serviços, tornando-os as principais fontes do Produto Interno Bruto (PIB) e de empregos do município. Em 2006, Paragominas atingiu o 11º maior PIB do Pará, com uma produção de R\$ 575 milhões a preços de mercado corrente (SANTOS *et al.*, 2017).

3.2.2 Materiais

3.2.2.1 Precipitação

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa pertencem ao banco dados MERGE TRMM, estes dados são gerados e disponibilizados operacionalmente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (CPTEC/INPE) mesclando dados de precipitação e realizando correções no volume pluviométrico, para isso é utilizando a estimativa de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e

Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) (HUFFMAN *et al.*, 2007), e a precipitação observada de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), mais detalhes da metodologia em Rozante *et al.* 2010. Os dados do MERGE TRMM são produzidos continuamente pelo CPTEC, com atualizações diárias e disponibilizados no endereço web: <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/>, disponível a partir de janeiro do ano de 1998 aos dias atuais. O MERGE é disponibilizado em formato binário, possuindo resolução temporal de 3 horas e resolução espacial de 0.25° (~ 27 km), com saídas diárias (acumulado em 24 horas) cobrindo toda a América do Sul (82.8°W-34°W e 52.2°S-12.2°N).

3.2.2.2 Temperatura do Ar e Umidade Relativa

As informações de temperatura do ar e umidade relativa foram obtidos por meio do banco de dados ERA-Interim que pertence ao centro ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), disponibilizados no endereço web: <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/> cujo conjunto de dados é produzido através de um sistema de assimilação consistente que inclui um conjunto de observações diárias distribuídas em todo o mundo (a partir de sensoriamento por satélite, in situ, radiossondas, perfiladores, etc.) abrangendo o período de janeiro 1979 ao presente, sendo que os detalhes encontram-se em Dee *et al.* (2011). Os dados disponibilizados fornecem estimativas de diversas variáveis meteorológicas como: precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, vento, dentre outros. A resolução espacial deste dado é variável, podendo ser opcional escolher entre baixa e alta resolução. As resoluções disponibilizadas pelo Era-Interim são: 3° (~333 km), 2.5° (~277 km), 2° (~222 km), 1.5° (~166 km), 1° (~111 km), 0.5° (~55 km), 0.4° (~44 km), 0.25° (~27 km), 0.12° (~13 km).

3.2.2.3 Uso do Solo

Os dados de uso e cobertura do solo da cidade de Paragominas foram adquiridos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o qual gerencia um projeto sobre formas de uso do solo que tem como objetivo monitorar as alterações na cobertura vegetal do Brasil a cada dois anos. O último levantamento publicado em 2016 mostra as variações ocorridas entre 2012 e 2014, Neste período cerca de 4,6 % do território brasileiro sofreu algum tipo de alteração. Esta taxa de mudança é maior que a observada no período anterior (2010-2012), que foi de 3,5 %. Parte desta diferença deve-se a atualização motivada pela disponibilização de novos insumos, como os novos mapeamentos estaduais de vegetação e de

uso da terra, publicados pelo IBGE, e as imagens de satélite LANDSAT 8, cujo comissionamento ocorreu em 2013. Entretanto, a maior parte desta diferença está diretamente relacionada às alterações nas formas de cobertura e uso da terra (IBGE, 2016).

Assim, foi utilizado neste estudo as definições de uso e cobertura do solo definidas pelo relatório do IBGE (2016).

3.2.2.4 Focos de Calor (Queimada)

Os focos de calor utilizados compreendem o período de 01/01/1999 a 31/12/2016 e foram obtidos junto ao banco de dados de queimadas (BD Queimadas do INPE, 2010). Estes focos foram detectados a partir de métodos operacionais, desenvolvidos pelo INPE, que utilizam imagens de satélites meteorológicos de órbita polares da série NOAA, EOS (TERRA/AQUA - Sensor MODIS) e satélites em órbita geoestacionária, GOES e METEOSAT. Mais detalhes sobre este banco de dados consultar Anderson *et al.* (2005; 2017).

3.2.3 Métodos

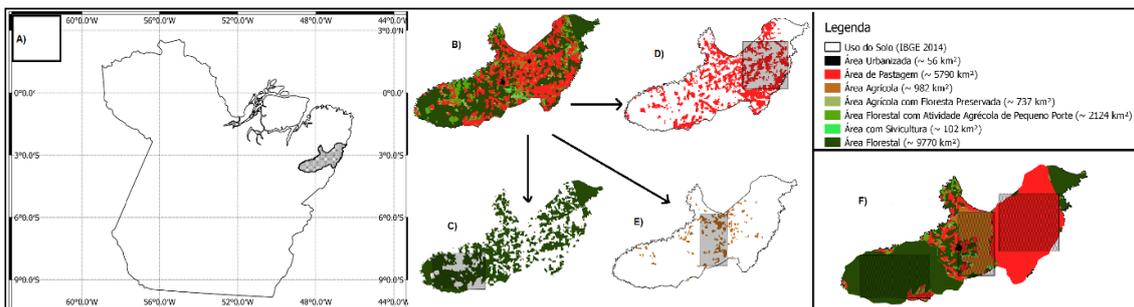
3.2.3.1 Ajuste da Área de Estudo para Análise do Risco de Fogo

As características de cobertura e uso do solo do município de Paragominas foram descritas pelo IBGE em sua análise mais atual publicada em 2016, na qual compreendem as alterações ocorridas entre os anos de 2012 a 2014, conforme ilustração na Figura 5B. Nota-se que o município possui uma grande fragmentação em relação a cobertura e uso do solo, porém, como a classificação do tipo de cobertura solo utilizado pelo INPE abrange somente três categorias, foi realizado uma subclassificação da área de estudo, baseado na metodologia proposta por Rocha *et al.*(2007) que selecionar o tipo de uso e cobertura do solo predominante por pixel e assim adequar a mesma ao objetivo desta pesquisa.

Para realizar os ajustes foi necessária a extração dos tipos de cobertura do solo que serão alvo desta análise. Assim, na Figura 5C tem-se o destaque das áreas de floresta, na Figura 5D as áreas de agricultura e na Figura 5E as áreas de pastagem. Após esta extração, foi selecionada a subárea que apresenta respectivamente maior predominância, resultando na Figura 5F, a qual representa a adaptação da cobertura e uso do solo da cidade de Paragominas, destacando as áreas com predominância de floresta, agricultura e pastagem. As áreas com hachuras indicam o local onde foi realizado o cálculo da média da área para os parâmetros

(usando o software GRADS) delimitando as áreas de acordo com as zonas das hachuras (Figura 5F) e calculando a média da área do total diário de precipitação, da variação diária da umidade relativa e temperatura do ar, necessários para o cálculo do risco de fogo sobre cada uma das três categorias de uso e cobertura do solo.

Figura 5 - A) Localização do município de Paragominas no estado do Pará (Amazônia Oriental); B) Classificação realizada pelo IBGE da cobertura e uso do solo até o ano de 2014; C) Extração das áreas com predominância de Floresta Ombrófila; D) Extração das áreas com predominância de culturas agrícolas; E) Extração das áreas com predominância de pastagem; F) Área de estudo ajustada para a pesquisa, as zonas com hachuras indicam os locais onde os cálculos foram realizados.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.3.2 Cálculo do Risco de Fogo (RF)

O cálculo do RF adotado nesta pesquisa foi desenvolvido pelo INPE, e pode ser encontrado maiores detalhes em Setzer *et al* (2017). O RF é calculado a partir de dados meteorológicos de precipitação, umidade relativa e temperatura do ar. A sequência do cálculo possui a seguinte ordem: 1) fator de precipitação (FP) (equações abaixo); seguindo para o cálculo do número de dias secos (eq. 1.0), 2) cálculo do Risco Básico (Rb) (eq. 1.1); 3) Ajuste da Umidade Relativa (eq. 1.2); 4) Ajuste da Temperatura do ar (eq. 1.3); 5) cálculo do Risco de Fogo Observado (RF)(eq. 1.4).

Principais equações atualizadas:

$$fp1 = e^{-0.14 \times prec^1}$$

$$fp2 = e^{-0.07 \times (prec^2 - prec^1)}$$

$$fp3 = e^{-0.04 \times (prec^3 - prec^2)}$$

$$fp4 = e^{-0.03 \times (prec^4 - prec^3)}$$

$$fp5 = e^{-0.02 \times (prec^5 - prec^4)}$$

$$fp6a10 = e^{-0.01 \times (prec^{10} - prec^5)}$$

$$fp11a15 = e^{-0.008 \times (prec^{15} - prec^{10})}$$

$$\begin{aligned}
 fp16a30 &= e^{-0.004 \times (prec^{30} - prec^{16})} \\
 fp31a60 &= e^{-0.002 \times (prec^{60} - prec^{30})} \\
 fp61a90 &= e^{-0.0001 \times (prec^{90} - prec^{60})} \\
 fp91a120 &= e^{-0.0007 \times (prec^{120} - prec^{90})}
 \end{aligned}$$

Onde fp "n" é o acumulado de precipitação normalizada a partir dos 120 dias que antecedem a data de análise. Assim, fp1 é o acumulado do dia anterior à data de estudo, fp2 e o acumulado do penúltimo dia em relação a data de estudo, e assim por diante até o fp91a120 que seria o acumulado ocorrido 120 dias antes da data de estudo.

$$\mathbf{FP} = 105 \times fp1 \times fp2 \times pf3 \times fp4 \times fp5 \times fp6a10 \times fp11a15 \times fp16a30 \times fp31a60 \times fp61a90 \times fp91a120 \quad (1.0)$$

$$\mathbf{Rb}_{-(n=,17)} = \frac{0,9 \times \left\{ 1 + \text{sen} \left[\left((A_{-n=(1,7)} \times \mathbf{FP}) - 90 \right) \times \left(\frac{3,14}{180} \right) \right] \right\}}{2} \quad (1.1)$$

$$\mathbf{UR} = [\mathbf{UR} \times (-0.006)] + 1,3 \quad (1.2)$$

$$\mathbf{Ta} = (T_{\max} \times 0,02) + 0,4 \quad (1.3)$$

$$\mathbf{RF} = \mathbf{Rb} \times \mathbf{UR} \times \mathbf{Ta} \quad (1.4)$$

Onde,

FP (1.0) é usado para calcular o número de dias secos ocorridos antes da data de análise, considerando os últimos 120 dias;

Rb (1.1) ajusta a quantidade de dias secos com o objetivo de estimar o grau de umidade presente no tipo de uso e cobertura do solo da área de estudo. A constante "A_{n=(1,7)}", que indica o tipo de uso e cobertura o solo, pode assumir os seguintes valores definidos pelo INPE: 1.5 (Ombrófila densa; alagados), 1.7 (Florestas Decíduas e Sazonais), 2.0 (Florestas Contato; Campinarana), 2.4 (Savana Arbórea; Caatinga Fechada), 3.0 (Savana; Caatinga Aberta), 4.0 (Agricultura), 6.0 (Pastagem; Gramíneas).

Ur (1.2) ajusta de forma linear a umidade relativa sobre a área de estudo;

Ta (1.3) ajusta de forma linear a temperatura do ar sobre a área de estudo;

RF (1.4) é o índice de Fogo calculado a partir do resultado obtido da multiplicação de todos os índices anteriores. A escala de risco é definida pelo INPE, onde: Mínimo (RF < 0,15),

Baixo ($0,15 < RF \leq 0,40$), Médio ($0,40 < RF \leq 0,70$), Alto ($0,70 < RF \leq 0,95$) e Crítico ($RF > 0,95$).

3.2.3.3 Análise dos Focos de Queimadas

Para realizar a análise dos focos de queimadas, foram selecionados cinco anos normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), cinco anos de La Niña (2000, 2001, 2008, 2009, 2011), e cinco anos de El Niño (2003, 2005, 2010, 2016). Esta seleção dos anos sob influência de cada mecanismo oceano-atmosfera foi baseada nas anomalias de TSM definidas pelo Multivariate ENSO Index – MEI (WOLTER; TIMLIN, 2011).

Em seguida utilizando ferramentas SIG (Sistema de Informação Geográfica) os focos de queimadas foram organizados por tipo de superfície: agricultura, pastagem e floresta, de acordo com a classificação proposta na área de estudo (Figura 5F).

Foi calculada a média do acréscimo/decrécimo no número de focos de queimada em anos de El Niño e La Niña em relação aos anos normais.

3.2.3.4 Risco de Fogo e Focos de Queimadas

A análise do cálculo do risco de fogo em detectar queimadas, utilizou-se ferramentas SIG para gerar uma classificação com o número total de queimadas ocorrido dentro do tipo de alerta de RF para cada tipo de uso e cobertura do solo. Em seguida foi verificado o tipo de alerta de risco de fogo mais recorrente em relação ao número de focos de queimadas observado, para avaliar a eficiência de detecção dos mesmos. Todas as análises consideraram os períodos de anos normais, de La Niña e El Niño definidos no item anterior.

3.3 Resultados e Discussão

Na análise da distribuição anual da quantidade de focos de queimadas em relação aos tipos de uso e cobertura do solo (Tabela 2), nota-se que as áreas de pastagem apresentam predominância sobre o número de focos de queimadas detectados, essa característica pode estar relacionada a concentração de biomassa disponível para servir de combustível para queima. White *et al.* (2014) afirmam que devido à baixa quantidade de material combustível nos campos cobertos por gramas os incêndios nessas áreas geralmente são de pequeno porte, com queima rápida de todo material combustível, quando comparado com outras vegetações, essa condição favorece os processos de queima sobre este tipo de cobertura vegetal.

Outra característica importante que contribui para as altas taxas de queimadas sobre áreas de pastagem é a variabilidade climática. Segundo Reyes (2017), devido à baixa densidade de biomassa das pastagens a concentração de umidade altera-se mais rapidamente, em relação a outras formas de vegetação mais densas, tornando a pastagem mais sensível as variações meteorológicas. Condição que pode ser observada na Tabela 2, na qual nota-se que tanto em anos normais, quanto em anos sob a influência do El Niño e/ou La Niña, a maior concentração de queimadas ocorre na área de pastagem, sendo que em 17 anos de observações, 47,3% das queimadas registradas no município de Paragominas ocorreram em áreas de pastagem.

As áreas com predominância da agricultura apresentaram a segunda maior concentração dos focos de queimadas, condição relacionada a prática da coivara (MISTRY; BIZERRI, 2011), a qual consiste na roçagem e queima da biomassa na preparação do solo para o plantio. O número inferior de focos observados nessa forma de uso do solo está relacionado ao mesmo princípio analisado na área de pastagem. Devido a concentração de biomassa ser maior em áreas de agricultura, devido a mesma conservar áreas com vegetação mais densa, a concentração de umidade é maior e conseqüentemente necessita de um maior tempo para que a mesma resseque ao ponto de queima. Como pode ser observado no estudo conduzido por Souza, (2015), que observou a suscetibilidade de diferentes tipos de vegetais sofrer combustão. Assim, a concentração do número de focos de queima sobre áreas de agricultura concentrou entorno de 32,8 % do total observado no município de Paragominas em 17 anos.

Seguindo o padrão ambiental das demais formas de uso e cobertura da terra, a área com predominância de floresta foi a que apresentou a menor densidade de focos de queimadas, concentrando 19,9 % do total de focos observados. Segundo Araújo *et al.* (2013) em razão da alta umidade retida pelos vegetais e ambiente, sobretudo no solo e entorno (raízes, resíduos vegetais e lúter), pode-se afirmar que o ecossistema florestal amazônico é dotado de imunidade natural contra queimadas. Todavia, quando exposto a condições climáticas anormais é verificado que esse ecossistema não possui defesas e torna-se vulnerável ao fogo. Ainda segundo os resultados de Araújo *et al.* (2013), florestas primárias tendem a ser mais resistentes a propagação de queimadas do que florestas secundárias ou formações vegetais mais recentes. Assim, o número reduzido de focos de queimadas sobre a área de floresta em Paragominas (Tabela 2), pode estar relacionado à conservação da floresta primária local.

Observou-se também na Tabela 2 que o número de focos de queimadas ocorridos em anos anômalos (El Niño e La Niña) é superior aos anos normais, esta característica será abordada adiante com mais detalhes.

Tabela 2 - Total de focos de queimadas observados no período de 15 anos, onde anos normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), de La Niña (2000, 2001, 2008, 2009, 2011), e de El Niño (2003, 2005, 2010, 2016), classificados por tipo de uso e cobertura do solo.

Evento Meteorológico	Pastagem	Agricultura	Floresta
Normal	602	393	254
La Niña	627	430	272
El Niño	721	530	294
Total	1950	1353	820
%	47,3	32,8	19,9

Observando a Figura 6, nota-se que a variabilidade dos focos de queimadas, quando comparados de forma semestral, apresentam uma dinâmica diretamente relacionada a variação climática no primeiro semestre, sendo o segundo semestre uma consequência do quadro apresentado no início de cada ano. A relação entre primeiro e segundo semestre é inversamente proporcional para todas as formas de uso e cobertura do solo analisado, independente do padrão meteorológico oceano atmosfera que predominou.

Em anos com ocorrência do La Niña, devido a predominância de mais dias de precipitação acima do normal durante o primeiro semestre (ARAÚJO *et al.*, 2013; DE SOUZA *et al.*, 2009), a tendência é a redução do número de focos de queimadas devido a grande concentração de umidade sobre o solo (SOUZA, 2015), ao passo que no segundo semestre, quando a influência do El Niño/La Niña deixa de ser significativa (ARAÚJO *et al.*, 2013), observa-se a elevação do número de focos de queimadas.

Em anos de El Niño, o comportamento é contrário, no primeiro semestre predomina altas taxa de queimadas, devido a redução dos dias de precipitação decorrente deste mecanismo oceano atmosfera (ARAÚJO *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2009), sendo que no

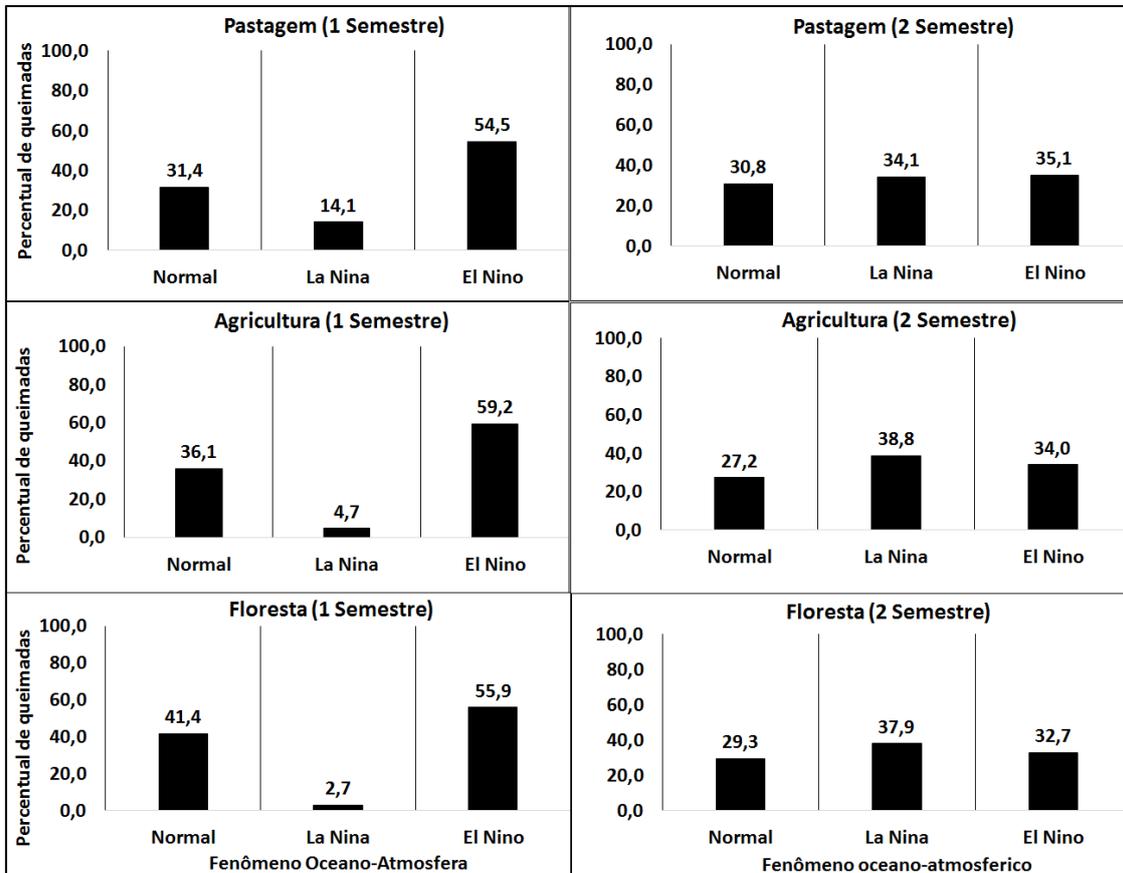
segundo semestre é observado a redução do número de focos de queimadas, ficando abaixo da quantidade de focos observados em anos de La Niña.

Esta característica pode estar ligada a dinâmica de manejo do solo, pois como descrito por Schroeder *et al.* (2009) as florestas primárias e/ou vegetação secundária são cortadas nos primeiros meses da estação seca e a biomassa derrubada é deixada para secar sob o sol por dois a três meses, dependendo do volume da biomassa. Em seguida o fogo é utilizado como um método de baixo custo que propicia a transformação rápida da matéria orgânica seca em fertilizante. Assim, a dependência da concentração de umidade na vegetação a ser queimada passa a ser o fator limitador para os produtores. Condição que leva a relação do número de focos de queimada com a ocorrência do El Niño e/ou La Niña. Assim, em anos de El Niño, quando o volume pluviométrico fica abaixo do normal, a taxa de umidade sobre o ambiente a ser queimado é menor e os focos de queimada tendem a aumentar.

Em anos de La Niña, com maior índice de pluviosidade a taxa de umidade eleva-se acima do normal inibindo o ambiente de sofrer queimadas, reduzindo o número de focos observados. No entanto, a partir do segundo semestre, seja em anos de La Niña ou El Niño, a configuração do número de queimadas passa a ser modulado somente pela atividade antrópica (PRADO; COSTA, 2017). O que explica a taxa de elevação em anos de La Niña aos anos de El Niño, pois como não foi possível queimar o material orgânico no primeiro semestre, em anos de La Niña, as áreas que deveriam ter sido queimadas no primeiro semestre passam a serem queimadas no segundo juntamente com as demais áreas o que ocasiona a elevação do número de focos.

Em anos de El Niño, como é possível elevar a quantidade de áreas a serem queimadas, no segundo semestre queima-se apenas o remanescente do território, condição que leva a aparente redução do número de focos de queimada na segunda metade dos anos mais secos.

Figura 6 - Percentual de focos de queimadas semestrais, considerando o tipo de uso e cobertura do solo em anos Normais, anos de La Niña e anos de El Niño.



Fonte: Elaborado pelo autor

As características descritas acima podem ser melhor compreendidas ao observar a Figura 6 com os anos de El Niño apresentando acréscimo de ocorrência de focos em relação aos anos normais durante os dois semestres, indicando a distribuição proporcional do número de queimadas ao longo do ano. Percebe-se que a área de pastagem é a que sofre a menor elevação do número de focos durante o primeiro semestre, sendo que as áreas agricultáveis e de florestas são as que apresentam a maior concentração de queimadas no primeiro semestre durante os anos de El Niño. A partir do segundo semestre a área de pastagem concentra o maior número de queimadas seguido da área de agricultura. Em anos de La Niña, percebe-se que a anomalia de focos de queimada é negativa durante todo o primeiro semestre, elevando-se significativamente no segundo semestre, principalmente sobre as áreas agricultáveis, em concordância com as análises anteriores.

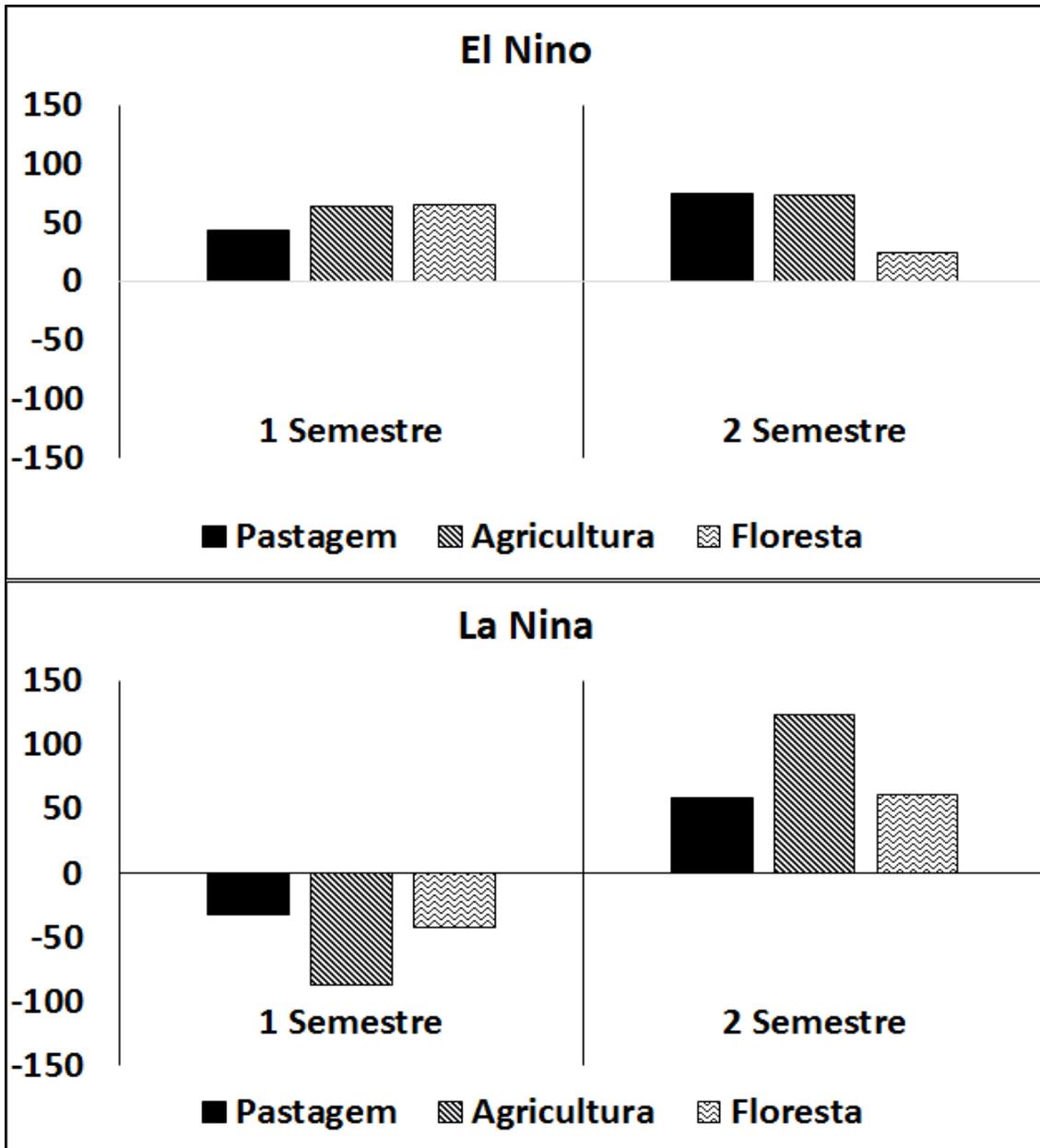
Uma importante alteração observada ocorre na área de floresta: tanto em anos de El Niño como nos anos de La Niña, a ocorrência de queimadas parece estar sendo influenciada pela atividade humana das áreas agricultáveis, uma vez que quando há o aumento do número

de queimadas sobre a área de agricultura há também um aumento sobre a área de floresta, o que não se observa quando o número de focos sobre a área de pastagem sofre variação. Essa característica pode estar relacionada ao efeito de borda, o qual foi analisado por Costa (2012), este observou que áreas florestais que sofrem cortes seletivos, fragmentando a vegetação, acabam por criar áreas com grande concentração de serapilheira funcionando como combustível no momento de uma queimada, podendo atingir áreas acima de 100 metros a dentro da floresta.

A fragmentação florestal é um dos fenômenos mais marcantes e graves do processo de expansão da fronteira agrícola no Brasil, provocando o isolamento de trechos de floresta de diferentes tamanhos, em meio a áreas perturbadas, ficando a periferia do fragmento mais exposta à insolação e à modificação do regime dos ventos. Essas mudanças provocadas pelos limites artificiais da floresta são chamadas efeito de borda e têm enorme impacto sobre os organismos que vivem nesses ambientes fragmentados (ALVAS *et al.*, 2006; COSTA, 2012; MURCIA, 1995; VIANA *et al.*, 1992). Assim, a área onde predomina a agricultura, fragmentos florestais estão amplamente presentes, favorecendo o efeito de borda (COSTA, 2012; VIANA *et al.*, 1992), o que pode estar relacionada a anomalia de queimadas positiva mais elevada no primeiro semestre e a significativa redução no segundo, pois a área da floresta sob efeito de borda já foi reduzida devido as queimadas do primeiro semestre reduzindo a área passível do mesmo efeito no decorrer do ano.

Em conformidade com essa condição, observa-se que no segundo semestre do ano de La Niña a anomalia de focos de queima sobre a área de floresta é superior ao ocorrido em anos de El Niño, concordando com as análises apresentadas, pois com o significativo aumento no número de focos em áreas agrícolas o efeito de borda sobre os fragmentos florestas será maior e conseqüentemente o número de queimadas na área de floresta será maior. Estes resultados apontam que o segundo semestre dos anos de La Niña precisa de maior atenção por parte dos órgãos fiscalizadores, pois, diferentes de anos Normais e de El Niño, os quais apresentam uma distribuição das queimadas ao longo do ano, em anos de La Niña o que se observa, são as limitações naturais do primeiro semestre, uma alta concentração de focos de queimadas somente neste período do ano, levando a números superiores ao mesmo período dos anos menos úmidos, o que pode vir a contribuir para a ocorrência de incêndios florestais.

Figura 7 - Anomalia de focos de queimadas considerando a diferença entre anos com ocorrência de El Niño/La Niña e anos Normais.

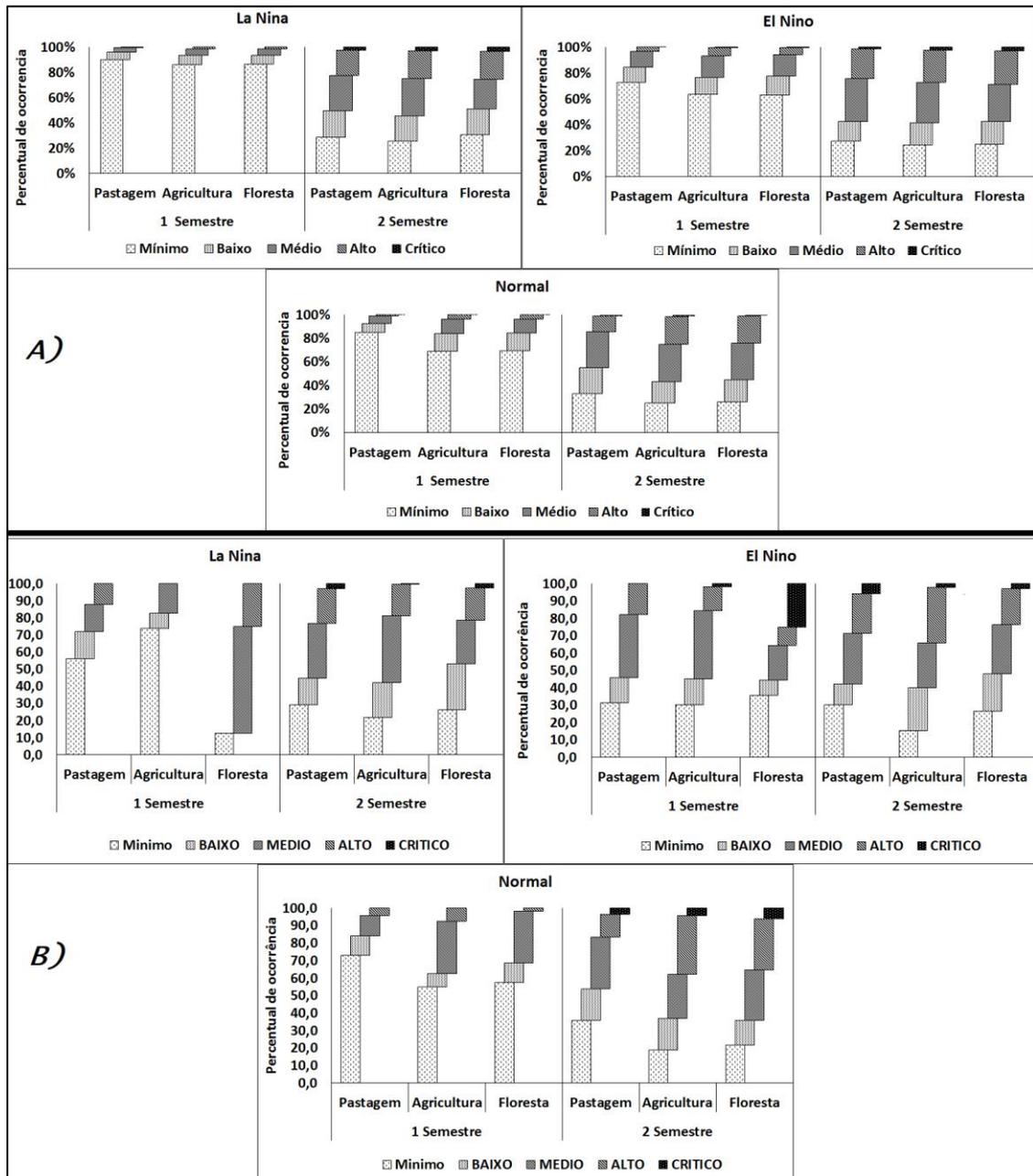


Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado obtido pelo cálculo do risco de fogo semestral, considerando os tipos de uso e cobertura do solo e da fase do ENOS atuante (Figura 8A), mostra que no primeiro semestre, tanto nos anos normais como nos anos anômalos, há a predominância do alerta mínimo, indicando que devido ao período chuvoso a taxa de umidade permanece elevada neste período. Nota-se também que em anos sob influência do El Niño o número de alertas mínimo apresenta redução e os outros alertas passam a ter maior representatividade, concordando com os resultados apresentados, que mostram anomalias positivas de focos de

queimadas em anos de El Niño. No segundo semestre o percentual de alertas observado praticamente não se altera entre os anos normais e anos de El Niño ou La Niña.

Figura 8 - A) Percentual de ocorrência dos tipos de alertas de Risco de Fogo para cada tipo de uso e cobertura do solo analisado, de forma semestral, em relação a fase do ENOS predominante; B) Percentual de ocorrência de focos de queimadas por tipo de alerta de Risco de Fogo para cada tipo de uso e cobertura do solo, em relação a fase do ENOS predominante.



Fonte: Elaborado pelo autor

Tais condições ocorrem devido o cálculo do Risco de Fogo medir o grau de suscetibilidade do ambiente em sofrer combustão, seja ela natural ou antrópica. No entanto, observou-se que devido este índice ter sido concebido para seguir a variabilidade pluviométrica diária condicionando a concentração de umidade como fator limitante para a

ocorrência de queimadas, possui uma tendência a capitar principalmente a condição natural para a ocorrência do fogo sem, contudo, ser suficiente para antecipar uma queimada atribuída a atividade humana, como será analisado na Figura 8B.

Analisando a precisão do cálculo de risco de fogo em relação ao número de focos detectados (Figura 8B), observou-se que o tipo de risco não representa diretamente o número de ocorrência de queimadas. Nota-se que em anos normais no primeiro semestre a maior parte das queimadas observadas ocorreram quando o alerta era mínimo para todos os tipos de uso e cobertura do solo analisados.

Em anos com a ocorrência de La Niña, o padrão observado em anos normais se repete, com exceção apenas para áreas de floresta, onde o alerta de maior ocorrência de focos de queimada passa a ser o médio. Para anos sob a influência do El Niño o padrão de focos por alertas foi semelhante, tanto entre os semestres, quanto em relação as formas de uso e cobertura do solo, o qual evidencia que o tipo de alerta identificado não permite afirmar se, de fato, ocorrerá ou não uma queimada sobre a região de interesse.

Como já descrito anteriormente, o cálculo do risco de fogo indica o grau de suscetibilidade quando o ambiente sofre uma queimada, no entanto não prever a atividade humana, assim, percebe-se nesta análise que devido os altos níveis de umidade e chuva que caracterizam a região Amazônica e que normalmente previnem a ocorrência de fogo natural (GOLDAMMER, 1990; RAY *et al.*, 2005; UHL; KAUFMANN, 1990), levam o RF detectar a possibilidade de ocorrer um evento principalmente por ações antrópicas e não naturais.

Segundo Sorrensen (2004) o processo de queimadas na Amazônia inicia-se tipicamente por meio do corte da floresta ou vegetação predominante nos primeiros meses da estação seca. A biomassa derrubada é deixada para secar sob o sol por dois a três meses, dependendo do volume da biomassa, conteúdo inicial de umidade e condições do tempo. E a partir da percepção do produtor, se o material está apto a ser queimado ou não, o fogo é utilizado como um método de baixo custo que propicia a transformação rápida da matéria orgânica seca em fertilizante.

Esse método é utilizado principalmente no processo de desmatamento por pequenos fazendeiros e produtores agrícolas de subsistência. O mesmo processo é usado para converter tanto florestas jovens quanto florestas em estágio avançado de sucessão, conhecidas

localmente como “Capoeiras”, no processo de rotação de cultivo usado por proprietários rurais na Amazônia brasileira (SORRENSEN, 2004).

3.4 Conclusão

O cálculo da distribuição semestral dos focos de queimada em função dos mecanismos oceano-atmosfera mostrou que os mesmos contribuem nos números totais de queimadas anuais, levando a mudanças na frequência com que os focos de queimadas são observados.

Em anos de La Niña o segundo semestre apresenta uma intensa ocorrência de queimadas, com índices superiores ao mesmo período em anos de El Niño, principalmente nas áreas predominantemente agrícolas, evidenciando a ligação direta da atividade humana com a frequência dos focos de queimadas. Este fator, não considerado nas equações de risco, acaba por reduzir a precisão da mesma.

Na região Amazônica, em específico para o município de Paragominas, devido os focos de queimadas possuírem uma origem onde predomina a atividade humana, o cálculo do risco de fogo realizado atualmente deve ser limitado como sendo somente um indicativo ambiental e não como alerta ou previsão.

Referências

- ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, v.35, n. 4, p. 445 – 456, 2005. ISSN 0044-5967. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000400009>.
- ANDERSON, L. O.; CHEEK, D.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERE, L.; DUARTE, B.; SALAZAR, N.; LIMA, A.; DUARTE, V.; ARAI, E. Development of a point-based method for map validation and confidence interval estimation: a case study of burned areas in Amazônia. *Journal of remote sensing and GIS*, v. 6, n. 193, p. 1-9, 2017. Doi: 10.4172/2469-4134.1000193, 2017.
- ALVES JUNIOR, F. T.; BRANDÃO, C. F. L. S.; ROCHA, K. D.; MARANGON, L. C.; Ferreira, R. L. C. Efeito de borda na estrutura de espécies arbóreas em um fragmento de floresta ombrófila densa, Recife, PE. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.1, n. único, p.49-56, 2006.
- ARAÚJO, R.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A. C.; KAYANO, M. SOUZA, R. A influência do ENOS e Atlântico equatorial na precipitação sobre a região norte e nordeste da América do Sul. *Acta Amazonica*. v. 43, n. 4, p. 469-480, 2013.

CARNEIRO, M. S.; ASSIS, W. S. O controle do desmatamento na Amazônia como um processo de modernização ecológica: a experiência do projeto Município Verde. *Repocs*, v.12, n.24, p. 53-75, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.18764/2236-9473.v12n24p53-76>

CAPISTRANO, V. B. *Precipitação na América do sul associada às variabilidades de baixa frequência na TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico*. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, 2012. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/INPE_8503be7aa1bbb09cc6258b97a2951086. Acesso em: 20 março 2019.

COSTA, C. D. F. *Vulnerabilidade ao fogo de florestas intactas e degradadas na região de Sanatrem – Pará*. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais — Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém, Brasil, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/6832>. Acesso em: 2 fevereiro 2018

COSTA, J. A. C. *Variabilidade decenal dos tipos de ENOS e sua associação com modos de variabilidade climática de baixa frequência*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, Manaus, Brasil, 2017. Disponível em: <https://bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/2370>. Acesso em 5 março de 2018.

DEE, D. P.; UPPALA, S. M.; SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A. C. M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A. J.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S. B.; HERSBACH, H.; HOLM, E. V.; ISAKSEN, L.; KALLBERG, P.; KOHLER, M.; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A. P.; MONGE-SANZ, B. M.; MORCRETTE, J. J.; PARK, B. K.; PEUBEY, C.; DE ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THEPAUT, J. N.; VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* v. 137, p. 553– 597, doi:10.1002/Qj.828, 2011

DE SOUZA, E. B.; LOPES, M. N.G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o regcm3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, p. 111-124, 2009.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; Gomes, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v. 11, p.2863-2880, 1998.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v.13, p.35-58, 2000.

GOLDAMMER, J. G. Fire in tropical biota: Ecosystem processes and global challenges, Springer-Verlag, *Berlin-Heidelberg-New York*. 1990. 497pp.

GONÇALVES, J. S. *A prática da queimada no saber tradicional e na concepção científica de risco: estudo sobre o uso do fogo por pequenos produtores rurais do norte do estado de Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Viçosa, Curso de Pós-graduação em Extensão Rural, 2005. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9957>. Acesso em 6 jan 2018.

- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F. ; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K.P.; HON, Y.; STOCKER, E. F. ; WOLFF, D. B. The TRMM multi-satellite precipitation analysis: quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *J. Hydrometeorol.* v. 8, p. 1, pp. 38-55, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. *Pesquisa de informações básicas municipais*. Rio de Janeiro. RJ, 2013. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidades>>. Acesso em 1 de set. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. *Pesquisa de informações ambientais / uso e cobertura do solo*. Rio de Janeiro. RJ, 2016. Disponível em: http://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/cobertura_e_uso_da_terra/mudancas/documentos/mudancas_de_cobertura_e_uso_da_terra_2000_2010_2012_2014.pdf. Acesso em 28 de jul. 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET, Brasília. DF, 2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em: 30 Ago. 2017.
- MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por que é importante entender as inter-relações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? *Biodiversidade Brasileira*. v. 1, n. 2, p. 40-49, 2011.
- MORAES NETO, J. M.; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 11, n.1, pp. 61-66, 2007.
- MORAES, B. C.; SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S.; VENTURA, J. O. Sensoriamento remoto como ferramenta para a determinação da estação chuvosa na Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.8, n.5. p. 1374-1382, 2015. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.5.p1374-1382>.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, Oxford, v.10, n.2, p.58-62, 1995.
- PRADO, N. V.; COSTA, C. S. M. S. Estudo da variabilidade temporal da profundidade óptica do aerossol utilizando dados de sensoriamento remoto sobre a região de transição entre a floresta amazônica e o cerrado. *Rev. bras. meteorol.* São Paulo , v. 32, n. 4, p. 649-658, 2017.
- PROJETO DE MONITORAMENTO DO DESFLORESTAMENTO DA AMAZÔNIA, PRODES, 2009. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. Acesso em: 25 de jun.2017.
- RAY, D.; NEPSTAD, D.; MOUTINHO, P. Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested Amazon landscape. *Ecological Applications*, v.15, n. 5, p. 1664-1678, 2005.
- REYES, R. R. *Avaliação do comportamento do fogo em áreas de pastagem e cerrado submetidas a queimas controladas*. Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins, Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, 2017. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/585>. Acesso em 5 jan 2018.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ESTANQUEIRO, R.; SOUSA, P. M. Classificação de uso do solo urbano através da análise linear de mistura espectral com imagens de satélite. *Finisterra*, v. 42, n. 83, p. 47-62, 2007.

- ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, D. A. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America. *Weather and Forecasting*, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010.
- SÁ, T. D. A.; KATO, O. R.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R. O. Queimar ou não queimar? De como produzir na Amazônia sem queimar. *Revista USP*, São Paulo, n.72, p.92-97, 2007.
- SANTOS, M. E.; SANTOS, F. A. A.; GOMES, M. V. C. N.; SANTOS, V. C.; NEVES, R. R. Análise espacial das ações do programa “municípios verdes”: Estudo de caso no município de Paragominas- PA. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 11, n.1, p.21-35, 2017.
- SCHROEDER, W.; ALENCAR, A.; ARIMA, E.; SETZER, A. The spatial distribution and interannual variability of fire in Amazônia. *Book: Change. Amazonia And Global Change. Section I: People and Land.* (LBA), 2009. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009GMS...186...43S/abstract>. Acesso em 10 janeiro de 2018.
- SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A.; MARTINS, G. *Metodologia do cálculo do risco de fogo do programa queimadas do Inpe - Versão 10*, Junho/2016. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PNK9TH>. Acesso em 21 de outubro de 2017
- SODRÉ, G. R. C.; MORAES, B. C.; FERREIRA, D. B. S.; VENTURA, J. O SOUZA, E. B. Teleconexões oceânicas nos padrões climatológicos da Amazônia oriental: análises dos últimos 40 anos (1974-2103). *Revista Brasileira de Climatologia*. v.17, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/38113>. Acesso em: 10 janeiro 2018.
- SORRENSEN, C. Contributions of fire use study to land use/cover change framework: Understanding landscape change in agricultural frontiers, *Human Ecology*, v.32, n. 4, p. 395-420, 2004.
- SOUZA, M. A. *Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, UnB, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/18997>. Acesso em 12 janeiro 2018.
- WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T. Caracterização do material combustível superficial no Parque Nacional Serra de Itabaiana – Sergipe, Brasil. *Ciência Florestal*. v. 24, n. 3, p. 699-706, 2014.
- WOLTER K, TIMLIN M. S. El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Int J Climatol*. v. 31, n. 7, p. 1074–1087, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.2336>
- 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.
- VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J.; MARTINEZ, J. L. A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v. 4, n. único, parte 2, p. 400-407, 1992.

CAPÍTULO 4 CALENDÁRIO DE MANEJO BASEADO NA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA DA AMAZÔNIA ORIENTAL PARA O USO DO FOGO EM PRÁTICAS AGRÍCOLAS

Resumo

Desde a criação do primeiro Código Florestal Brasileiro buscou-se coibir o uso do fogo no campo com a criação de órgãos fiscalização, multas, e outras penalizações. No entanto, pesquisas recentes mostram que o caminho para a redução de incêndios florestais e as consequências dos mesmos para a sociedade e o meio ambiente passa pela gestão do uso consciente do fogo. Assim, esta pesquisa foi motivada pelo objetivo de desenvolver uma ferramenta, dentro do campo da meteorologia, que possa ser utilizada em conjunto com os demais métodos de controle de queimadas pelos órgãos de fiscalização. Para isso analisamos os mecanismos e fenômenos meteorológicos que podem influenciar o regime pluviométrico na região da Amazônia Oriental, considerando as alterações das condições meteorológicas moduladas pela variabilidade interanual do El Niño Oscilação Sul ocorridas entre os anos de 2000 e 2016, calculamos a média móvel espacial para cada três dias para detectar a ocorrência de um volume médio pluviométrico seguro para criar um calendário de manejo indicando o momento mais seguro dentro de cada mês para o uso do fogo no campo. Observou-se que o maior número de queimadas varia de acordo com o tipo de uso e cobertura do solo e o padrão do mecanismo oceano atmosfera atuante, sendo os meses de outubro e novembro os mais significativos. Na validação do calendário de manejo notou-se que de fato a precipitação ocorreu como indicado pelo calendário de manejo, indicando a eficiência do mesmo para o controle de queimadas.

Palavras-chave: Código Florestal. El Niño/La Niña. Manejo Ambiental.

Abstract

Since the creation of the first Brazilian Forest Code, efforts have been made to curb the use of fire in the countryside by creating inspection bodies, fines, and other penalties. However, recent research shows that the path to reducing forest fires and their consequences for society and the environment is through the management of conscious fire use. Thus, this research was motivated by the objective of developing a tool, within the field of meteorology, that can be used in conjunction with the other methods of fire control by the inspection agencies. For this we analyze the mechanisms and meteorological phenomena that can influence the rainfall in

the eastern Amazon region, considering the changes in weather conditions modulated by the interannual variability of the phenomenon El Niño Southern Oscillation occurred between the years 2000 and 2016, we calculated the moving average space every three days to detect the occurrence of a safe average rainfall to create a Management Calendar indicating the safest time within each month for field fire use. It was observed that the largest number of burns varies according to the type of use and cover of the soil and ocean atmosphere acting mechanism, being the months of October and November the most significant. In the validation of the management calendar it was noted that the precipitation occurred in fact as indicated by the Management Calendar, indicating its efficiency for the control of burns.

Keywords: Forest Code. El Niño / La Niña. Environmental management.

4.1 Introdução

Falar sobre queimadas na Amazônia remete-se a um tema que tem sua origem científica entre as décadas de 1980 e 1990, principalmente devido a introdução do sensoriamento remoto via satélites. Historicamente associado ao fator cultural e econômico de preparo e limpeza do solo, as queimadas produzem cinzas ricas em nutrientes que fertilizam o solo e, no curto prazo, aumentam sua produtividade, mas também provocam diversos impactos ambientais, econômicos e sociais (ALENCAR *et al.*, 1997; NEPSTAD *et al.*, 1999a, 2001).

As leis que regulam o uso do fogo no campo estão presentes desde o primeiro Código Florestal criado 1934, que segundo Cabral *et al.* (2013) proibiu o uso do fogo em qualquer tipo de vegetação e considerou a prática como crime florestal. Sua criação foi norteadada em um contexto baseado na expansão cafeeira na região sudeste do Brasil onde o uso do fogo foi proibido para inibir a destruição das áreas verdes próximas dos centros (OEKO, 2014).

O Código Florestal aprovado em 1965 (Lei nº 4.771) continuou a coibir o uso do fogo, porém, passou a admitir exceções, pois devido o uso de lenha ter perdido espaço para a introdução dos combustíveis fósseis, o desenvolvimento da pecuária e a expansão sobre o território Amazonico, novos critérios foram estabelecidos como no Artigo 27, o qual reconhece que devido a peculiaridades locais o uso do fogo pode ser empregado em práticas agropastoris (CABRAL *et al.*, 2013).

No ano de 1998 o artigo 27 do Código Florestal foi transformado no Decreto Nº 2661/98 no qual regula e conceitua a queimada, introduzindo os termos queimadas controladas e incêndio florestal, passou a permitir o uso do fogo controlado em práticas agropastoris devidamente autorizadas pelos órgãos competentes. A partir do Código Florestal aprovado no ano de 2012 (Lei Nº 12.651/12), atualmente em vigor, o entendimento sobre o uso do fogo controlado permanece, porém estabelecendo que é preciso justificar o emprego do fogo junto ao órgão competente, cabendo a este a liberação (CABRAL *et al.*, 2013).

Contudo, os meios de controles governamentais são escassos em recursos humanos, resultando em uma fiscalização deficiente, levando a falta de controle e o mau uso do fogo no campo, acarretando prejuízos para os fazendeiros, agricultores e para sociedade em geral, além da dispersão de grande quantidade de fumaça e aerossóis que podem contribuir na ocorrência de problemas de saúde (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002; CASTRO *et al.*, 2016). O uso de forma indiscriminada em pequenas e médias propriedades tem elevado o índice de focos de incêndios florestais, levando a perda de grandes áreas vegetadas, impactando a biodiversidade e intensificando o processo de empobrecimento dos solos (FEARNSIDE, 2006; PEDROSO *et al.*, 2008).

Sabe-se que a maior parte das queimadas detectadas na região amazônica derivam da atividade antrópica, que segundo Cabral *et al.* (2013), ocorre devido o uso do fogo na região Amazônica ser tradicional e de difícil substituição, por se tratar de um método barato e acessível aos locais mais remotos da região. A atual política de queimadas que consiste em: proibir, monitorar, combater e multar, até o atual momento não surtiu os efeitos esperados, pois mesmo após décadas de legislações e regulações, a região Amazônica ainda concentra 40% dos focos de queimadas detectados anualmente, indicando a ineficiência do atual modelo de gestão para esta região (SODRE *et al.*, 2018).

Para mudar o atual cenário é preciso criar mecanismos para gerenciar de forma responsável o uso do fogo e, para isso, este estudo propõe uma análise do clima local e como o mesmo pode ser usado como uma ferramenta de baixo custo no controle e combate ao uso do fogo no campo. As queimadas, mesmo possuindo uma origem predominantemente antrópica, são moduladas pela variabilidade climática da Amazônia, sendo notória a interferência dos mecanismos oceano atmosfera (El Niño e/ou La Niña) no quantitativo e principalmente sobre o momento em que a queimada será realizada (SODRE *et al.*, 2018). Estes mecanismos atuam inibindo ou intensificando, respectivamente, as condições

ambientais para a ocorrência de precipitação, fator limitante para a ocorrência das queimadas (SODRÉ *et al.*, 2018).

Assim, o objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento de um calendário meteorológico para a gestão consciente do fogo e redução de incêndios florestais, sendo esta uma ferramenta de baixo custo para órgãos de fiscalização, produtores rurais e que respeita as leis vigentes, criando mais uma alternativa para uma gestão mais efetiva para o uso responsável do fogo no campo.

4.2 Metodologia

4.2.1 Localização da Área de Estudo

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi selecionado o município de Paragominas (Figura 9A), devido o mesmo possuir características diversificadas de uso do solo, um histórico de desmatamento e queimadas significativo bem como por ter sido o primeiro município a aderir a uma política ambiental mais restritiva em relação aos demais municípios do estado do Pará.

O município de Paragominas (fundado por meio da Lei estadual nº 3.235 em 4 de janeiro de 1965) situa-se às margens da rodovia Belém-Brasília (BR-010), a 320 quilômetros da cidade de Belém, possui uma área de 1,93 milhão de hectares (1,5% da área do Pará) e abriga uma população de quase 104 mil habitantes (IBGE, 2013). Paragominas apresenta clima quente e úmido, com temperatura média do ar diária de 26°C, pluviosidade média anual de 1.800 mm e umidade relativa média do ar de 81%. O município é caracterizado por um período mais chuvoso, entre os meses de dezembro a maio, e outro mais seco entre junho e novembro (INMET, 2013). Originalmente, Paragominas era coberto por floresta tropical, a qual sofreu processos de mudanças ao longo das últimas cinco décadas, sendo que no ano de 2008, em torno de 45% da sua área total estava totalmente desmatadas ou altamente degradadas pela atividade humana, equivalente a 874 mil hectares (PRODES, 2009). O restante (55%) do território permanecia coberto por florestas em diversos estágios de uso e conservação (SANTOS *et al.*, 2017).

As principais atividades econômicas do município são: pecuária, madeireira, produção de carvão, agricultura de pequena, média e grande escala e mineração de bauxita, que em conjunto movimentam os setores da indústria e de serviços, tornando-os as principais fontes do Produto Interno Bruto (PIB) e de empregos do município. Em 2006, Paragominas atingiu o

11º maior PIB do Pará, com uma produção de R\$ 575 milhões a preços de mercado corrente (SANTOS *et al.*, 2017).

4.2.2 Dados de Uso do Solo

Os dados de uso e cobertura do solo da cidade de Paragominas foram adquiridos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o qual gerencia um projeto sobre formas de uso do solo que tem como objetivo monitorar as alterações na cobertura vegetal do Brasil a cada dois anos. O último levantamento publicado em 2016 mostra as variações ocorridas entre 2012 e 2014, Neste período cerca de 4,6 % do território brasileiro sofreu algum tipo de alteração. Esta taxa de mudança é maior que a observada no período anterior (2010-2012), que foi de 3,5 %. Parte desta diferença deve-se a atualização motivada pela disponibilização de novos insumos, como os novos mapeamentos estaduais de vegetação e de uso da terra, publicados pelo IBGE, e as imagens de satélite LANDSAT 8, cujo comissionamento ocorreu em 2013. Entretanto, a maior parte desta diferença está diretamente relacionada às alterações nas formas de cobertura e uso da terra (IBGE, 2016).

Assim, foi utilizado neste estudo as definições de uso e cobertura do solo definidas pelo relatório IBGE (2016).

4.2.3 Dados de Focos de Calor (Queimada)

Os focos de calor utilizados compreendem o período de 1999 a 2016 e foram obtidos junto ao banco de dados de queimadas (BD Queimadas do INPE, 2010). Estes focos foram detectados a partir de métodos operacionais, desenvolvidos pelo INPE, que utilizam imagens de satélites meteorológicos de órbita polares da série NOAA, EOS (TERRA/AQUA - Sensor MODIS) e satélites em órbita geostacionária, GOES e METEOSAT. Mais detalhes sobre este banco de dados consultar Anderson *et al.* (2005; 2017).

4.2.4 Dados de Precipitação

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa pertencem ao banco dados MERGE gerados e disponibilizados operacionalmente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (CPTEC/INPE), por meio da técnica que consiste em mesclar dados de precipitação, realizando correções no volume pluviométrico, para isso é utilizando a estimativa de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) e a precipitação observada de

estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), mais detalhes da metodologia em Huffman *et al.* 2007 e Rozante *et al.* 2010. O MERGE é disponibilizado em formato binário, possuindo resolução temporal de 3 horas e resolução espacial de 0.25° (~ 27 km), com saídas diárias (acumulado em 24 horas) cobrindo toda a América do Sul (82.8°W a 34°W e 52.2°S a 12.2°N).

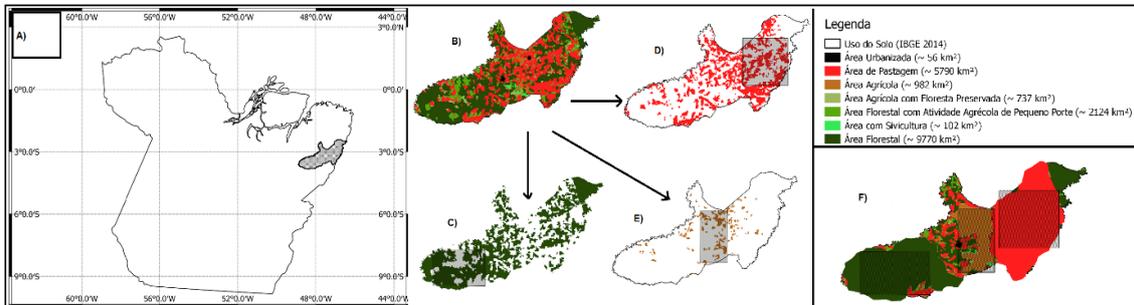
4.2.5 Métodos

4.2.5.1 Ajuste da Área de Estudo para as Análises da Pesquisa

As características de cobertura e uso do solo do município de Paragominas (Figura 9A) foram descritas pelo IBGE em sua análise mais atual publicada em 2016, na qual compreendem as alterações ocorridas entre os anos de 2012 a 2014, conforme ilustração na Figura 9B. Nota-se que o município possui uma grande fragmentação em relação a cobertura e uso do solo, porém, como a classificação do tipo de cobertura solo utilizado pelo INPE abrange somente três categorias, foi realizado uma subclassificação da área de estudo, baseado na metodologia proposta por Rocha *et al.*(2012) que selecionar o tipo de uso e cobertura do solo predominante por pixel e assim adequar a mesma ao objetivo desta pesquisa.

Para realizar os ajustes foi necessária a extração dos tipos de cobertura do solo que serão alvo desta análise. Assim, na Figura 9C tem-se o destaque das áreas de floresta, na Figura 9D as áreas de agricultura e na Figura 5E as áreas de pastagem. Após esta extração, foi selecionada a subárea que apresenta respectivamente maior predominância, resultando na Figura 9F, a qual representa a adaptação da cobertura e uso do solo da cidade de Paragominas, destacando as áreas com predominância de floresta, agricultura e pastagem. As áreas com hachuras indicam o local onde foi realizado o cálculo da média da área para os parâmetros delimitando as áreas de acordo com as zonas das hachuras (Figura 9F) e calculando a média da área do total diário de precipitação, bem como o número de focos de queimadas ocorridas sobre cada uma das três categorias de uso e cobertura do solo.

Figura 9 - A) Localização do município de Paragominas no estado do Pará (Amazônia Oriental); B) Classificação realizada pelo IBGE da cobertura e uso do solo até o ano de 2014; C) Extração das áreas com predominância de Floresta Ombrófila; D) Extração das áreas com predominância de culturas agrícolas; E) Extração das áreas com predominância de pastagem; F) Área de estudo ajustada para a pesquisa, as zonas com hachuras indicam os locais onde os cálculos foram realizados.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.5.2 Construção e Validação do Calendário de Manejo

Para criação do Calendário de manejo das queimadas foi necessário o cálculo da média de área da precipitação sobre cada forma de uso e cobertura do solo considerada nesta pesquisa, em seguida foi calculada a média móvel para grupos de três dias (Tabela 3), com o objetivo de encontrar os dias que concentram a média pluviométrica necessária para controle de uma queimada. A média móvel foi utilizada por permitir identificar a variabilidade temporal da variável dejesada, o período de três dias foi definido com o objetivo de criar um período, não tão longo e nem tão curto, para ser usado como margem de segurança para o uso do fogo, reduzindo a ocorrência de possíveis imprecisões. Assim, 29 grupos foram criados contemplando os meses com até 31 dias, para meses com 28 ou 29 dias o calendário é gerado considerando somente até os grupos 25 e/ou 26, respectivamente. Para meses de 30 dias o calendário é construído até o grupo 28.

Tabela 3 – Grupos de três em três dias para os quais foram calculadas as médias móveis para detecção do padrão de precipitação em anos Normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), com La Niña (2000, 2001, 2008, 2009, 2011) e com El Niño (2003, 2005, 2010, 2015, 2016).

Grupo	Dias	Grupo	Dias	Grupo	Dias
1	1_3	11	11_14	21	21_24
2	2_5	12	12_15	22	22_25
3	3_6	13	13_16	23	23_26
4	4_7	14	14_17	24	24_27
5	5_8	15	15_18	25	25_28
6	6_9	16	16_19	26	26_29
7	7_10	17	17_20	27	27_30
8	8_11	18	18_21	28	28_30
9	9_12	19	19_22	29	29_31
10	10_13	20	20_23		

O limiar de precipitação necessário para o controle de uma queimada foi calculado baseando nos resultados obtidos por Mariano (2016) e Carmo *et al.* (2019). Onde, Mariano (2016) realizou um experimento para determinação da quantidade mínima de água para o controle de uma queimada, seus resultados indicaram uma quantidade de 20 mil/litros por Hectare (100 x100), equivalente a uma precipitação de 2 mm. No entanto, devido os dados de precipitação gerados pelo CPTEC utilizam informações derivadas de estimativas por satélite (ROZANTE *et al.*, 2010), Carmo *et al.* (2019) considerando orientações da *International Meteorological Vocabulary* (WMO) para o uso de dados constituídos por informações via satélites, criou três classes para identificar a intensidade da chuva a partir do volume precipitado, assim: classe 1 – chuva intensa (acima de 60 mm/dia); classe 2 – chuva moderada (entre 5 e 60 mm/dia) e classe 3 - chuva fraca/não chuva (menor do que 5 mm/dia).

Para efeito de organização do calendário de manejo, e considerando a média de três dias os limiáres serão designados como Chuva Intensa: “Alerta (Úmido)” (15mm a 20 mm), para a classe Chuva Moderada subdivimos em : “Favorável” (5mm a 10 mm) e “Recomendado” (10mm a 15mm) e Chuva Fraca/Não Chuva: “Alerta (seco)”.

Para validar o Calendário de Manejo vamos considerar os meses do período seco dos anos de 2017 e 2018, observando quais mecanismos oceano atmosfera atuaram nos respectivos anos, a seleção dos anos sob influência do El Niño ou La Niña foi baseado nos resultados do Multivariate ENSO Index (MEI), no qual a variação de valores positivos está relacionada com o El Niño, valores negativos com o La Niña, sendo necessário pelo menos três meses consecutivos de resultados de mesmo sinal para indicar a ocorrência dos mesmos (ASHOK *et al.*, 2007; WOLTER; TIMLIN, 2011). Este índice foi selecionado devido ser o que apresenta o maior conjunto de variáveis que caracterizam a região de ocorrência do ENOS, possuindo uma boa acurácia na detecção dos fenômenos El Niño/La Niña (LOPES, 2006).

A partir deste ponto selecionamos o calendário mensal correspondente ao mecanismo atuante e avaliar o grau de acerto do mesmo em relação período de três dias de maior acumulado pluviométrico considerando as diferentes formas de uso e cobertura do solo alvos desta pesquisa.

4.3 Resultados e Discussão

A distribuição média mensal dos focos de queimada nos diferentes tipos de uso e cobertura do solo no município de Paragominas foram analisados por Sodre *et al.* (2018), onde observou que o número de queimadas que ocorrem no período seco (junho a novembro) variaram de acordo com a condição oceano-atmosfera que modulou o período chuvoso que o antecedeu. Na tabela 4 detalhamos mensalmente o número de focos de queimadas ocorridos somente o período seco, na qual nota-se peculiaridades na distribuição das queimadas entre as formas de uso e cobertura do solo, onde, na área de pastagem e na de floresta observa-se uma tendência de crescimento dos focos ao longo dos meses mais secos, padrão que na área de agricultura é observado somente em anos de La Niña, pois em anos Normais e de El Niño a dinâmica mensal das queimadas apresenta uma característica aleatória, no entanto, são os dois últimos meses do período seco que apresentam o maior número de focos, observa-se que o mês de novembro é o mais expressivo em termos percentuais, chegando a concentrar mais de 60% dos focos ocorridos no período seco em anos de ocorrência do El Niño. (tabela 4 (A);(B)).

Segundo Mochiutti *et al.* (1997), Morello e Ferreira (2012) e Telma (2009), diferente das áreas agricultáveis a pastagem produz biomassa com maior fator de combustão, acumulando-se ao longo do período seco, resultando na queima para limpeza do solo e renovação da vegetação no final do mesmo, obedecendo o ciclo, onde no início do período seco o pasto novo ainda úmido é consumido pelo gado, com o avanço do período seco e a escassez das chuvas e com um solo com baixo teor de infiltração o pasto transforma-se em uma biomassa ressecada e assim a queima é realizada para limpeza e renovação desta vegetação.

Na área de agricultura, o fogo não é usado somente como fechamento de um ciclo e renovação da vegetação, mas como uma forma de gestão e preparação para o plantio e fertilização do solo, assim, a medida que a necessidade da criação de uma nova área para cultivo surge, a queimada é utilizada como principal ferramenta (CABRAL *et al.*, 2013; MESQUITA, 2008). Está condição que pode ser o motivo do padrão mensal aleatório do número de focos de queimadas especificamente nesta área (Tabela 4(A)), com exceção dos anos de La Niña, os demais meses não apresentam uma grande amplitude entre o total de focos observados, sendo o mês de novembro o mais significativo, indicando que as queimadas ocorrem de forma aleatória, quando as condições ambientais são favoráveis. Apesar do mês

de novembro ser ligeiramente superior, em números de focos de queimadas, o valor mais expressivo ocorre no mês de outubro em anos de La Niña, o qual corresponde a mais de 40% do total de focos do período seco Tabela 4(B). Sodré *et al.* (2018) avalia que esta característica ocorre devido o maior volume pluviométrico no primeiro semestre característico de anos de ocorrência deste mecanismo oceano-atmosfera, os produtores passam a realizar a queima somente no segundo semestre, a medida que o ambiente vai ressecando, caracterizando a tendência crescente das queimadas que culmina em uma concentração mais rápida de queimadas em relação aos demais anos.

Ainda na tabela 4(A), observa-se que a área de floresta é um reflexo do padrão encontrado principalmente na área da agricultura, apresentando uma dinâmica com características similares ao comportamento médio observado nesta, ou seja, se o quantitativo de queimadas eleva-se nas áreas adjacentes a região de floresta responde positivamente e vice-versa, como pode ser observado na Tabela 4(B), onde em anos de La Niña o mês de outubro concentra mais 40% dos focos registrados, acompanhado o mesmo padrão da área de agricultura. Esta característica evidencia o efeito de borda amplamente abordado na literatura (BRASIL *et al.*, 2013; CORRÊA *et al.*, 2011; FERRAZ, 2011; MULLER *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Tabela 4 – A) Total de focos de queimadas observados por forma de uso e cobertura do solo em anos Normais (2002, 2004, 2006, 2007, 2013), La Nina (2000, 2001, 2008, 2009, 2011) e El Nino (2003, 2005, 2010, 2015, 2016). B) Percentual mensal do total de queimadas ocorridas no período seco em anos Normais, La Nina e El Nino.

			JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
A)	Pastagem	Normal		15	54	49	77	187
		La Nina	0	2	38	46	105	213
		El Nino	10	19	41	39	56	277
	Agricultura	Normal	46	34	45	53	43	84
		La Nina		14	58	53	129	57
		El Nino	73	66	43	44	42	101
	Floresta	Normal	12	4	20	29	29	69
		La Nina		3	20	22	90	87
		El Nino	10	30	28	45	54	43
B)	Pastagem	Normal	2.3	3.8	13.8	12.5	19.7	47.8
		La Nina	0.0	0.5	9.4	11.4	26.0	52.7
		El Nino	2.3	4.3	9.3	8.8	12.7	62.7
	Agricultura	Normal	15.1	11.1	14.8	17.4	14.1	27.5
		La Nina	1.0	4.5	18.5	16.9	41.1	18.2
		El Nino	19.8	17.9	11.7	11.9	11.4	27.4
	Floresta	Normal	7.4	2.5	12.3	17.8	17.8	42.3
		La Nina	0.0	1.4	9.0	9.9	40.5	39.2
		El Nino	4.8	14.3	13.3	21.4	25.7	20.5

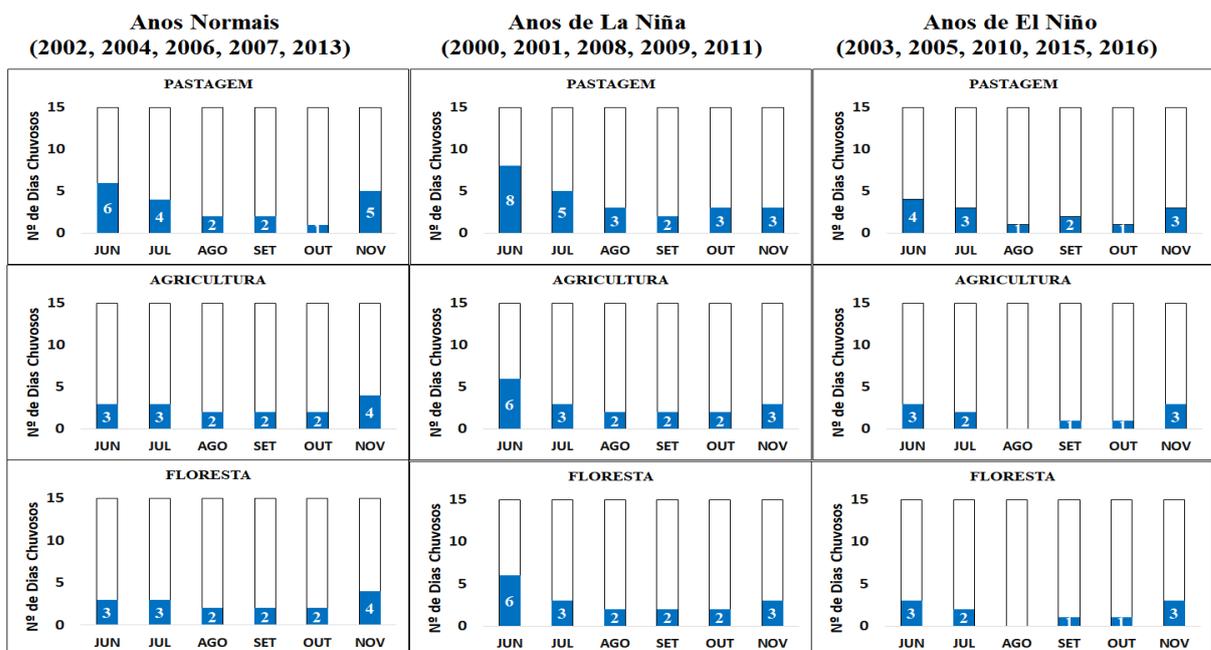
Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.1 Número de dias chuvosos

O número de dias com precipitação variam entre as três formas de uso e cobertura do solo analisadas neste estudo, essa variação pode ser tanto devido a localização geográfica quanto devido a intensidade do mecanismo oceano atmosfera que modulou a variabilidade pluviométrica de cada ano. Segundo Amanajás e Braga (2012) a região onde está localizado o município de Paragominas os meses mais secos são: junho, julho e agosto com precipitação média mensal ≤ 100 mm e os meses de outubro e novembro a precipitação média mensal é superior aos 100 mm. No entanto, nota-se na tabela 4(B) que a maior concentração de queimadas, ocorre nos meses de outubro e novembro e não nos meses climatologicamente mais secos.

Na Figura 10, observa-se o número de dias com ocorrência de precipitação por tipos de uso e cobertura do solo, nota-se que a área de pastagem apresenta a maior quantidade de dias chuvosos, sendo que em anos normais e de La Niña, tendem a apresentar quase o dobro dos observados nas áreas de agricultura e floresta. Nestas áreas observa-se a mesma quantidade de dias chuvosos, variando simultaneamente entre os anos modulados pela variabilidade do La Niña ou El Niño.

Figura 10 – Número médio de dias com precipitação durante o período seco entre os diferentes tipos de uso e cobertura do solo considerando a média de cinco anos normais, cinco anos de La Niña e cinco anos de El Niño.



Fonte: Elaborado pelo autor

Amanajás e Alves (2012) e Moraes *et al.*(2015) analisando a variação do início e do fim da estação chuvosa e o padrão da precipitação na região amazônica, indicam que o município de Paragominas possui pelo menos duas zonas homogêneas de precipitação, sendo que a área de pastagem está localizada em uma zona onde o período chuvoso dura até o mês de agosto, enquanto que para as áreas de agricultura e floresta o regime de chuvas tende a reduzir entre os meses de junho e julho, condição que pode ser observada na Figura 11. Baseado nos resultados de Amanajás e Alves (2012), podemos concluir que esta condição ocorre devido ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para o hemisfério norte e da gradual redução da intensidade da sua zona de influencia sobre a Amazônia oriental, como a área de pastagem está localizado mais ao norte do município (Figura 9A), esta região apresenta uma maior duração dos efeitos deste sistema.

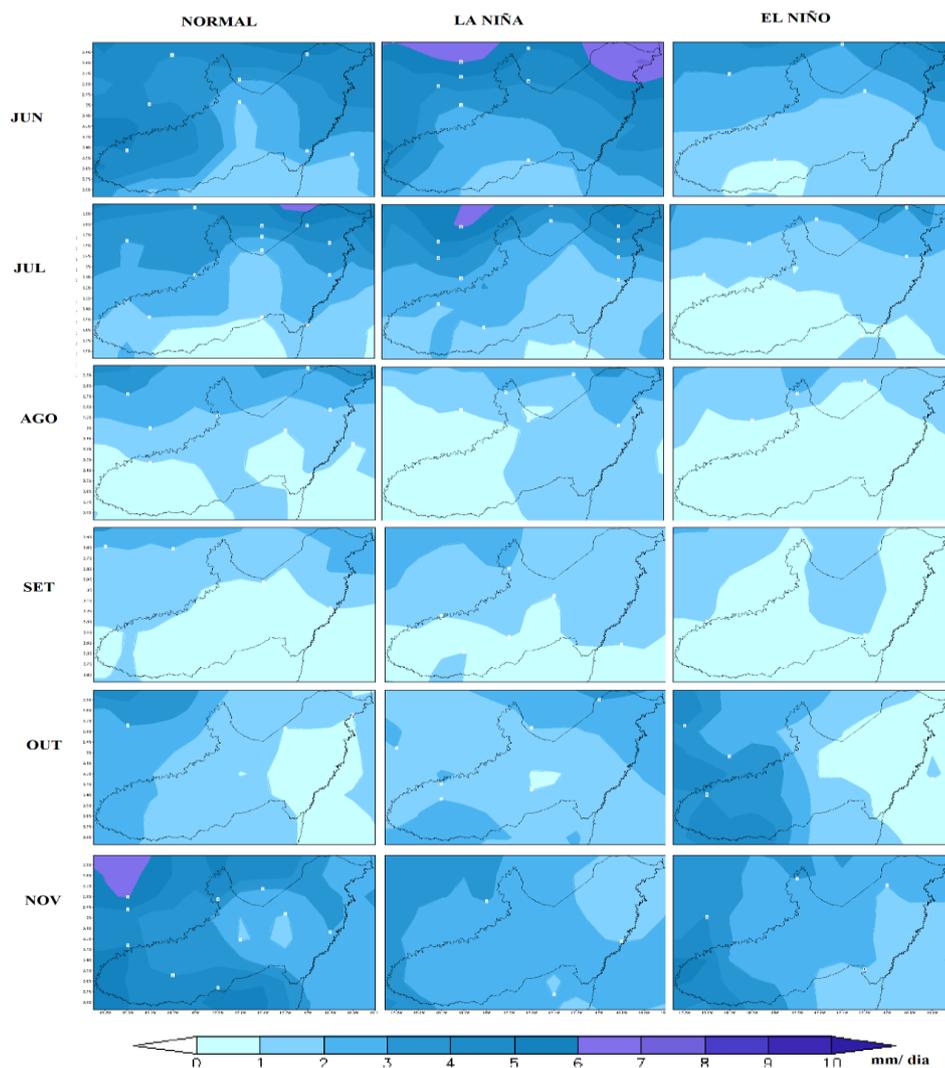
A variabilidade pluviométrica do período seco da Amazônia oriental é pouco estudada, devido este período ser caracterizado pela ausência de grandes sistemas meteorológicos, segundo Souza *et al.*(2017) trabalhos científicos com abordagem específica para o regime seco são escassos e se restringem a estudos de casos e de modelagem numérica acerca dos sistemas convectivos que contribuem para a ocorrência de chuva na forma de pancadas localizadas, tais como a manifestação das LI e Aglomerados ou Complexos Convectivos (FISCH *et al.*, 1998; LOPES *et al.*, 2013). Outros trabalhos avaliaram a influência de sistemas extratropicais, ou seja, dos sistemas frontais advindos do sul do Brasil que intensificam a atividade convectiva tropical e provocam precipitação especialmente na porção sul/sudeste da Amazônia (AMORIM NETO *et al.*, 2015).

Lopes *et al.* (2013) calcularam uma climatologia (1978/2007) e mostraram que os índices pluviométricos abaixo de 100 mm é a característica principal do período seco no estado do Pará. Cohen *et al.* (1989) e (1995) comprovaram que devido a manifestação de sistemas locais e de meso escala a circulação de brisa dispara a formação de Linhas de Instabilidade costeiras e que se propagam continente adentro, tal que este sistema corresponde a cerca de 45% da precipitação no leste paraense. Souza *et al.*(2017) concluíram que os aglomerados convectivos e linhas de instabilidade, assim como a incursão sinótica das frentes frias propagando-se pelo nordeste brasileiro e organizando a convecção amazônica, são os principais sistemas do regime seco.

No entanto, outro fenômeno relativamente novo conhecido como “circulação não convencional” pode ser uma das principais causas que explicam a variabilidade de

precipitação entre as formas de uso de cobertura do solo no período seco. Este fenômeno foi descrita pela primeira vez por Roy e Avissar (2002), que usando modelos meteorológicos, detectaram o aumento da nebulosidade nas áreas mais afetadas pelo desmatamento, sugerindo a presença de uma circulação local derivada da heterogeneidade na vegetação, principalmente no estado de Tocantins. Posteriormente Fearnside (2005) observou a presença da mesma característica de circulação definida por Roy e Avissar (2002), o qual notou que a “circulação não convencional” surge a partir do gradiente térmico gerando aquecimento diferencial entre a superfície vegetada e a não vegetada (ou com vegetação rasteira), essa circulação força a ascensão da umidade transportada da floresta para a área de menor densidade vegetal aumentando o potencial convectivo e a respectiva formação de nuvens.

Figura 11 – Variabilidade pluviométrica do período menos chuvoso do município de Paragominas em anos de Normais, La Niña e El Niño. Fonte: MERGE/CPTEC



Fonte: Elaborado pelo autor

Sodré *et al.* (2015) observou a relação entre variáveis meteorológicas e a características de cobertura do solo, detectando que o aquecimento diferencial entre áreas vegetadas com áreas pouco ou não vegetadas geram um contraste térmico que provoca uma circulação atmosférica local a qual influencia diretamente na formação de sistemas convectivos de diferentes intensidades, os quais podem provocar chuvas intensas na sua região de origem. Assim, a maior quantidade de dias chuvosos na região de pastagem pode estar associada a este fenômeno gerado a partir das características superficial. Indicando que as áreas de floresta e agricultura, que possui maior densidade vegetal, acabam por perder umidade para a área mais descampada, no caso, a área de pastagens, condição que favorece a formação de nuvens e a maior concentração da precipitação nesse local.

Estes resultados são importantes para a consolidação do calendário de manejo de queimadas para o município de Paragominas, pois sabendo que a maior parte das queimadas tende a ocorrer entre os meses de outubro e novembro (tabela 4B) e que o número médio de dias chuvosos nos respectivos meses pode variar de 1 a 5, considerando todas as formas de uso e cobertura do solo e padrão de interação oceano atmosfera (figura 10), tem-se a base para detectar o padrão médio diário da precipitação e selecionar o momento mais seguro do ponto de vista meteorológico para a realização de queima.

4.3.2 Calendário de Manejo

Segundo Soglio e Kublo (2009) e Bursztyn e Bursztyn (2014) a gestão ambiental é o primeiro passo para a sustentabilidade, processo resultante de uma educação ambiental baseado em práticas modernas, ferramentas adequadas e do conhecimento necessário para atualiza-los. Para tanto é necessário um ponto de partida, onde a simples organização de práticas culturalmente estabelecidas pode tornar-se um passo crucial para o sucesso de futuras políticas ambientais.

Neste contexto, tem-se o uso do fogo como uma prática culturalmente estabelecida em toda a região amazônica, prática intensamente combatida pelos órgãos fiscalizadores, porém, com pouco sucesso (NAEA, 2017; SODRÉ, 2018). A utilização do fogo está entrelaçada na produção agropastoril Amazônica, coibir o uso do mesmo, como os órgãos de proteção governamental buscam há algumas décadas não proporcionou o efeito desejado, apenas tirou do governo a oportunidade de controle das queimadas, determinando quando e onde elas poderiam ocorrer, dando oportunidade de planejamento das comunidades locais, evitando

acidentes, problemas de saúde, favorecendo economicamente os produtores bem como podendo evitar a grande perda de biodiversidade com a redução dos focos sob seu controle.

A mudança de paradigmas culturais é lenta e consiste no abandono da prática pelo convencimento em paralelo as alternativas mais vantajosas, principalmente do ponto de vista econômico. Assim, a criação de um calendário de manejo do fogo no campo pode ser o passo fundamental para a organização do cenário atual e da gradual alteração das práticas de uso do solo pelos agricultores.

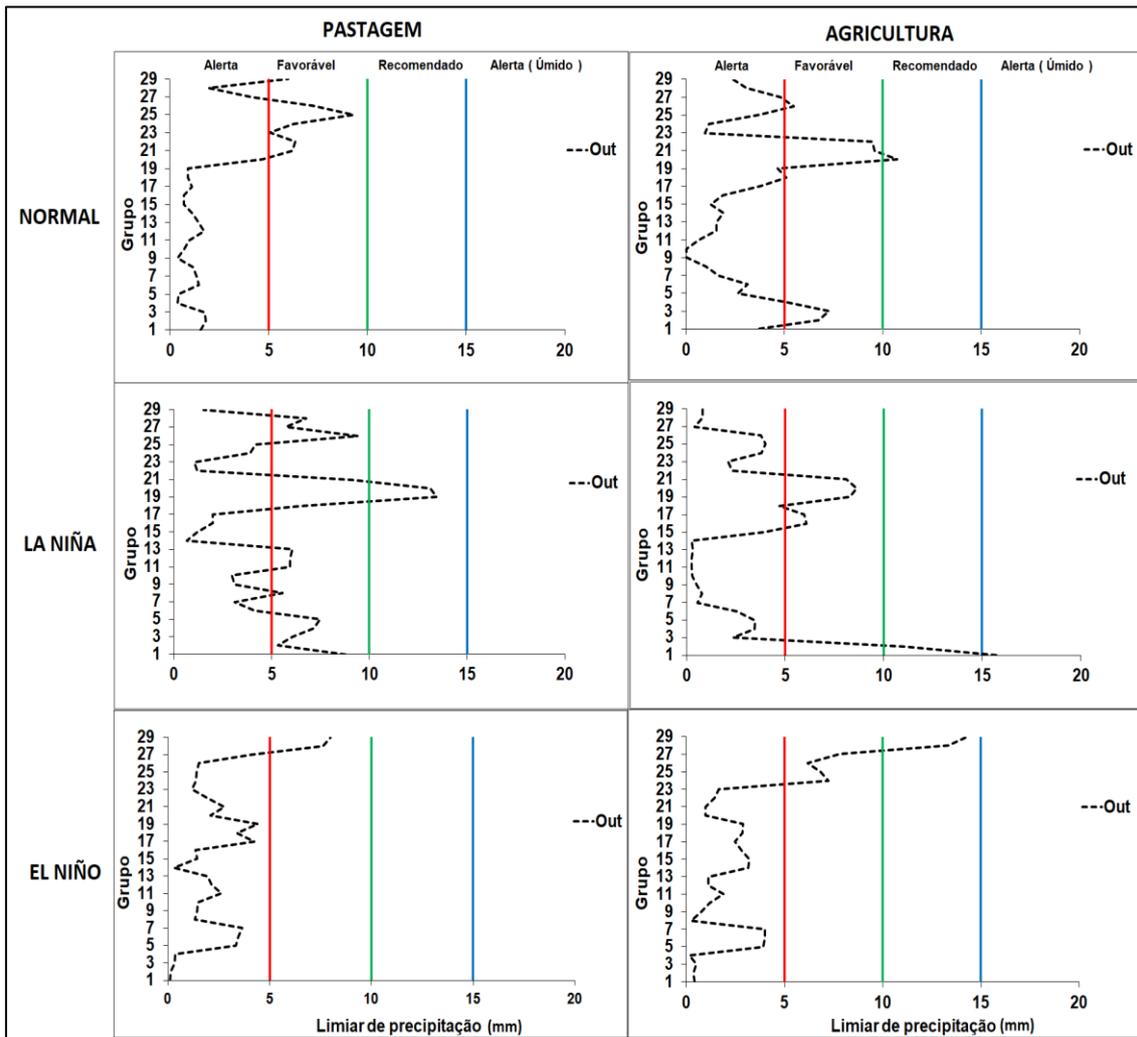
Seguindo estes critérios e tendo o conhecimento da variabilidade pluviométrica do período menos chuvoso (SOUZA *et al.*, 2017), da quantidade de dias com eventos de precipitação (Figura 10) e do padrão diário, obtido pelo calculado pela média movel a cada três dias (Tabela 3) para anos Normais, La Niña e El Niño, foi elaborado um calendário de manejo indicando o momento ideal para utilização do fogo, considerando a precipitação como fator limitador da propagação do mesmo e assim reduzindo os riscos da ocorrência de incêndios florestais.

Como pode ser observado na Figura 12 na qual é apresentado o calendário construído para o mês de outubro no qual nota-se que os períodos favoráveis para utilização do fogo variam entre as formas de uso e cobertura do solo e também em relação ao padrão da interação oceano atmosfera que está modulando o regime pluviométrico. Na área de agricultura em anos Normais e de El Niño apresenta uma antecipação do período favorável ao uso do fogo, enquanto que para a área de pastagem em anos de La Niña o mês de outubro apresenta oportunidades de manejo do fogo bem mais frequentes que as observadas no mesmo período na área de agricultura.

Com esta informação podemos indicar para o produtor que se encontra na área onde predomina a pastagem que, caso ele precise, o uso de fogo deverá ser feito a partir do grupo 17 que compreende a variação pluviométrica entre os dias 17 e 20, caso seu objetivo seja não deixar o fogo espalhar-se para áreas indesejáveis, pois a tendência dos grupos da sequencia é ocorrer um episódio de precipitação. Caso sua intenção seja realizar uma queima com baixo risco, o indicado seria realizar a queima dentro dos grupos 19 a 21 e 23 a 25 (Tabela 3). Estes passos devem ser seguidos nas demais áreas como forma de manter a segurança no uso do fogo no campo.

Este calendário não descarta as outras medidas já conhecidas, como: aceiros, horários de queima, bem como a relação com a direção e intensidade do vento (Farias e Bim, 2018). Este método deve apenas somar-se aos procedimentos existentes para redução dos riscos que envolvem o uso do fogo no campo.

Figura 12 – Calendário de manejo referente ao mês de outubro para as áreas de pasto e agricultura para anos normais, de La Niña e El Niño



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.3 Validação do Calendário de Manejo

Tomando o resultado para mês de outubro da figura 4, calculamos a média móvel para três dias do respectivo mês em questão para os anos de 2017 e 2018. Em seguida observamos qual o padrão oceano atmosfera modulou o regime pluviométrico em 2017 e 2018 utilizando o índice MEI (Tabela 5) para selecionar o calendário do respectivo período.

O ano de 2017 apresentou condições, segundo o índice MEI, próximas a neutralidade indicando que o mesmo configurou-se como um ano de condições normais, enquanto que para o ano de 2018 o índice indicou uma tendência negativa caracterizando a configuração do evento de La Niña, assim, o mês de outubro de cada ano (2017, 2018) foi selecionado considerando o mecanismo oceano atmosfera atuante.

Tabela 5 – Variabilidade Mensal do Índice MEI (Multivariate Enso Index) para determinação do mecanismo oceano atmosfera atuante em cada ano. Fonte: NOAA/MEI-Index

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	1,9	1,8	1,3	1,3	1,3	0,4	-0,5	-0,3	-0,3	-0,6	-0,5	-0,3
2017	-0,4	0,4	0,6	0,2	0,2	0,3	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7
2018	0,8	0,7	0,8	1,3	0,9	0,5	0,2	0,4	0,5	0,4	0,3	0,1
2019	0,1	0,5	0,8	0,3	0,3							

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando a Figura 13, onde nota-se que os eventos de precipitação ocorrem de dentro ou bem próximos do período estimado pelo calendário de manejo, indicando a eficiência do mesmo para o mês selecionado para os respectivos anos escolhidos. Seguindo o calendário de manejo para região de pastagem, tanto para outubro de 2017 quanto para 2018, observa-se que háveria precipitação antes do momento indicado como ‘favorável’, esta condição favorece o controle da queimada devido a elevação da umidade sobre solo, e tratando-se de uma vegetação composta com gramado esta condição pode ser fator fundamental para a redução do risco de um incêndio (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

Para a área de agricultura a precipitação observada ocorreu dentro do padrão estabelecido no calendário, condição que indica que o queimada também seria realizada após a ocorrência de uma precipitação, condição que propicia maior controle e menor risco da perda de controle do fogo.

A importância de estabelecer padrões de manejo foi abordado por Borges *et al.* (2016) onde analisaram o manejo do fogo em áreas de cerrado destacando os resultados obtidos em outros experimentos, como no contexto europeu, ecossistemas mediterrâneos e montanhosos adaptados ao fogo foram influenciados por políticas de exclusão das queimadas nos anos 1970 e 1980. Tais políticas, influenciadas também pelo êxodo rural, provocaram mudanças na quantidade de combustível com consequente aumento de incêndios. Estes problemas levaram

os gestores das áreas protegidas a reintroduzir o uso do fogo nesses ecossistemas. Esta mudança de paradigma foi chamada de “reabilitação ecológica do fogo” por Ribet (2007).

No Brasil, as regras de gestão do fogo, codificadas na legislação (BRASIL, 1979, 1988, 1998, 2012), não são consideradas legítimas por muitas comunidades, pois estas normas incorporam pouco ou nenhum conhecimento local. Além disto, não considerarem obstáculos e restrições enfrentadas por estas comunidades (CARVELHEIRO, 2004; CARMEN *et al.*, 2013). Somadas ao êxodo rural, tais medidas tendem a enfraquecer os sistemas coletivos de uso controlado de fogo, tanto no Cerrado (MISTRY; BIZERRIL, 2011) como na Amazônia (TONIOLO, 2004; URIARTE *et al.*, 2012), além de desqualificar sistemas agrícolas tradicionais. Isto pode, muitas vezes, explicar a ocorrência de incêndios devastadores, já que as dificuldades e restrições na emissão de autorização para uso fogo leva esta atividade à ilegalidade e até mesmo à perda de conhecimentos e práticas relacionadas ao fogo.

No Cerrado, essa é uma questão recente e ainda não consensual, principalmente em áreas protegidas (RIBEIRO; FIGUEIRA, 2011). Nestas áreas, em consequência às tentativas oficiais de restrição total ao fogo (Política do ‘Fogo Zero’), a ocorrência de incêndios pode ser maior e contribuir para uma intensificação de incêndios tardios, ao fim da estação seca (MOUTINHO, 2014).

Segundo Silva *et al.* (2011) nos últimos 50 anos, as transformações dos sistemas agrários tradicionais e não-mecanizados no Cerrado implicaram em mudanças significativas nos regimes de fogo: antigamente, as queimadas eram realizadas predominantemente no início de estação seca e foram substituídas por queimadas de fim de estação seca, ocasionando incêndios de grande extensão e intensidade, provocando maior mortalidade de plantas e consequências para o abastecimento de mananciais.

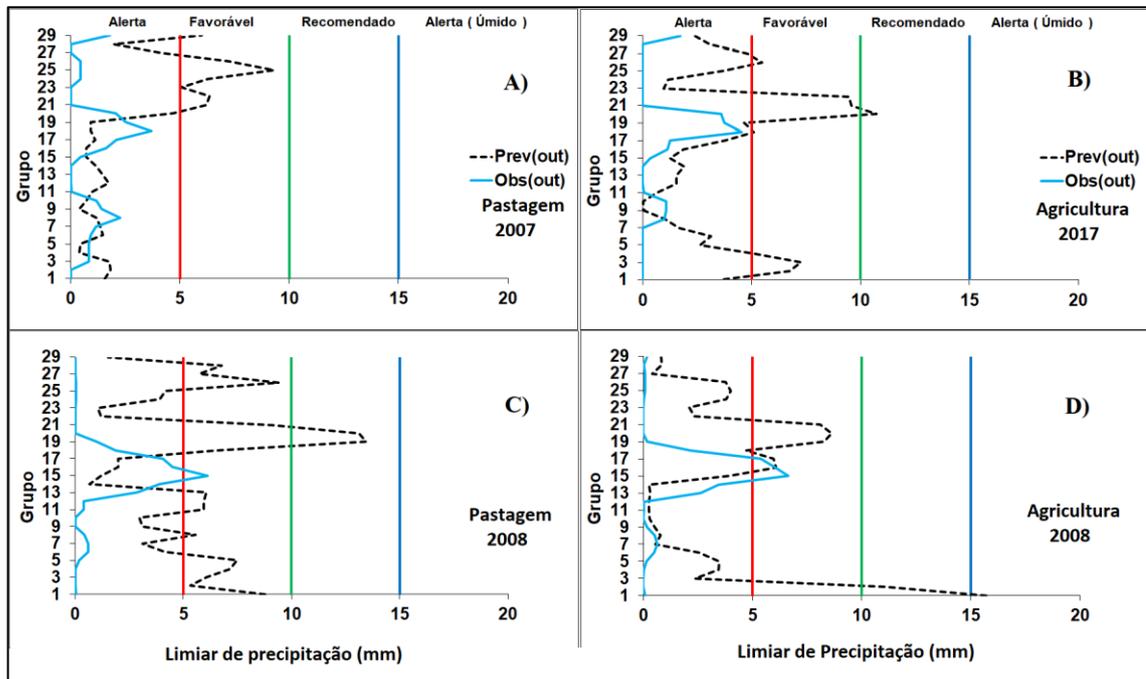
No contexto amazônico o uso controlado do fogo possui uma abordagem mais complexa, segundo as informações do banco de dados de queimadas do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) entre os anos de 1997 à 2017 (21 anos) a contribuição no cenário nacional das queimadas na Amazonia saltou de 20% para 40% tornando-se a região que mais contribui com as queimadas no Brasil (BD QUEIMADAS/ INPE 2018), no entanto pesquisas recentes mostram que o caminho a ser percorrido para o controle dessa prática passa pela sua gestão ambiental na forma do manejo controlado desta prática.

Martins *et al.* (2016) mostram como o manejo controlado do fogo em acatamentos na região de Carajás conseguiu reduzir os prejuízos causados pelas queimadas e observou que houve maior controle dos prejuízos nas comunidades assistidas pelo programa de prevenção contra incêndios florestais, além de uma diminuição importante nos focos de calor nas UC do Mosaico de Carajás alcançando resultados satisfatórios para a sustentabilidade e pautados na parceria com as comunidades, demonstrando que a estratégia da presença rotineira e da educação ambiental deve ser considerada para a redução das queimadas no Brasil e para a redução dos ilícitos ambientais como um todo.

Santos *et al.* (2018) realizaram um trabalho abordado o uso controlado do fogo em áreas de preervação no município de Novo Progresso obtendo resultados similares aos de Martins *et al.*(2016). Onde, as técnicas de prevenção a incêndios adotadas demonstraram ser eficientes no controle do fogo e que os incidentes ocorridos dentro das áreas de conservação foram causados por agricultores próximos que não adotaram praticas preventivas estabelecidas para o manejo controlado do fogo no período indicado pelo projeto.

Assim, o manejo adequado do fogo no campo, pode ser o primeiro passo para o controle e redução das queimadas na Amazônia, segundo Anderson *et al.* (2019) a mensuração do impacto é subestimada devido à falta de um sistema integrado que vise catalogar os impactos diretos e perdas econômicas associadas a incêndios florestais. Mesmo que tais incêndios não ganhem proporções catastróficas, como ocorreu em 1998, 2005, 2010 e 2015/16, eles impõem danos relevantes na escala individual, a pequenos e grandes produtores, a povos tradicionais e ecossistemas e seus serviços ambientais. Ainda segundo Anderson *et al.* (2019) a lição a ser retirada desses desastres é que é necessário, em primeiro lugar, desmistificar a queimada, de modo a evitar que a mesma se transforme em um tabu por conta da criminalização indevida.

Figura 13 – A) Precipitação observada e período previsto para a queima na área de pastagem no ano de 2017; B) observação e período previsto para a área de agricultura no ano de 2017; C) Precipitação observada e período previsto para a queima na área de pastagem no ano de 2018; D) observação e período previsto para a área de agricultura no ano de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Conclusão

A compreensão da variabilidade pluviométrica, principalmente do período seco, considerando os diferentes mecanismos oceano atmosfera que modulam cada ano, é fundamental para o desenvolvimento do calendário de manejo para definir o momento de menor risco para o uso do fogo no campo.

O calendário de manejo mostrou-se eficiente na detecção do melhor período para realizar o uso do fogo no campo e a redução do risco de incêndio florestal, indicando que o mesmo pode ser uma importante contribuição no processo de controle e redução das queimas na Amazonia, tomando como exemplo esta pesquisa no município de Paragominas.

O manejo ambiental do fogo ainda é um tabu na região Amazônica, devido ser a região que mais se detecta focos de queimadas no Brasil, no entanto o uso controlado desta prática vem sendo adotado por pesquisadores, gestores e órgãos ambientais que estão compreendendo que é preciso primeiro criar algum controle do cenário atual, reduzir os riscos desta prática, para futuramente projetar a redução do número de atores que utilizam a queima como forma de manejo do solo, com vista a alcançar um ambiente sustentável entre produção agrícola e preservação ambiental.

É necessário estudos mais aprofundados sobre os fenômenos e mecanismos meteorológicos que ocorrem no período menos chuvoso da Amazônia, pois para a criação de um calendário de manejo para cada município é preciso compreender como ocorre a interação entre as variações de uso e cobertura do solo e a variabilidade pluviométrica de cada localidade.

Referências

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 4, p. 423–434, 2013.

ANDERSON, L O; ARAGÃO, L. E. O. C.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E. Burn scar detection based on linear mixture model and vegetation indices using multitemporal data from MODIS/TERRA sensor in Mato Grosso State, *Acta Amazonica*, v. 35, n. 4, p. 445–456, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672005000400009&script=sci_arttext%5Cnpapers3://publication/uuid/26A81FE8-C55A-43E8-A0E3-8F12F938112B. Acesso em: 20 jun. 2019.

ANDERSON, L. O.; CHEEK, D.; ARAGAO, L. E.; ANDERE, L.; DUARTE, B.; SALAZAR, N.; LIMA, A.; DUARTE, V.; ARAI, E. Development of a point-based method for map validation and confidence interval estimation: a case study of burned areas in Amazonia. *Journal of Remote Sensing & GIS*, v. 06, n. 01, p. 1–9, 2017.

ANDERSON, L. O.; MARCHEZINI, V.; MORELLO, T. F.; CUNNINGHAM, C. A. Conceptual model of disaster risk management and warning system associated with wildfires and public policy challenges in Brazil. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*, v. 26, n. 26 (I), p. 43–61, 2019. Doi: https://doi.org/10.14195/1647-7723_26-1_4

ASHOK, K.; BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; WENG, H. YAMAGATA, T. El Niño Modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 112, n. 11, p. 1–27, 2007.

BORGES, S. L.; ELOY, L.; SCHMIDT, I. B.; BARRADAS, A. C. S.; SANTOS, I. A. Manejo do fogo em veredas: novas perspectivas a partir dos sistemas agrícolas tradicionais no Jalapão. *Ambiente & Sociedade*, v. 19, n. 3, p. 275–300, 2016.

BRASIL, L. S.; GIEHL, N. F. S.; SANTOS, J. O.; MARIMON, B. S.; MARIMON JR.; B. H. Efeito de borda sobre a camada de serapilheira em área de cerradão no leste de Mato Grosso. *Biotemas*, v. 26, n. 3, p. 37–47, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/26081>. Acesso em: 02 julho 2019.

BRASIL. Decreto nº 84.017, de 21 de setembro de 1979. *Aprova o regulamento dos parques nacionais brasileiros*. Diário Oficial da União. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/parnaguimaraes/images/stories/legislacao/decreto_federal_1979_84_017.pdf. Acesso em: 20 junho 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 11, de 14 de dezembro de 1988. *Dispõe sobre as queimadas nas Unidades de Conservação*. Diário Oficial da União, Seção 1, 11/08/1989: 13661. Disponível em:

http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/1988/res_conama_11_1988_recuperacaonaturalucs.pdf. Acesso em: 20 junho 2019.

BRASIL. Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998. *Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, 9/07/1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2661.htm. Acesso em 25 junho 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (novo código florestal), *art. 38 que trata da regulamentação do uso do fogo*, no inciso II. Diário Oficial da União, 28/05/2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em 25 junho 2019.

BURSZTYN, M. A.; BURSZTYN, M. Fundamentos de política e gestão ambiental: caminhos para a sustentabilidade. *Novos Cadernos NAEA*, v. 17, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/1459>. Acesso em 25 junho 2019.

CARMENTA, R.; VERMEYLEN, S.; PARRY, L.; BARLOW, J. Shifting cultivation and fire policy: insights from the Brazilian Amazon. *Human Ecology*, v. 41, n. 4, p. 603–614, 2013. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10745-013-9600-1>. Acesso em 28/05/2019.

CARMO, L. F. R.; VASCONCELLOS, F. C.; MENEZES, W. F.; VASCONCELLOS, E. C. Analysis of instability indexes for intense, moderate and low/no rain in southern and southeastern regions of Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 42, n. 1, p. 769–782, 2019. Disponível em: http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2019_01/2019_1_769_782.pdf. Acesso em 25 junho 2019.

CARVALHEIRO, K. *Community fire management in the marabá region, Brazilian Amazonia*. University of Florida, 2004. Disponível em: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2469_C.pdf. Acesso em 25 junho 2019.

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. *Rev Pesq Saúde*, v. 17, n. 3, p.141–146, 2016.

COHEN, J C P; DIAS, M A S; NOBRE, C A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise*, v. 4, n. 11, p. 34-40, 1989.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: A Case Study. *Monthly Weather Review*, 1995. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493%281995%29123%3C3163%3AECAWAS%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em 25 junho 2019.

CORRÊA, B. S.; PASSAMANI, M.; MOURA, A. S. Avaliação do efeito borda na distribuição da avifauna em fragmentos florestais de Cerrado. *Revista Agrogeoambiental*, v. 3, n. 3, p. 37–41, 2016.

FARIAS, T.; BIM, E. F. Limites ao uso do fogo (queima controlada) no canavial e em outras práticas agropastoris ou florestais. *Revista de Direito da Cidade*, v. 10, n. 4, p. 2182–2218, 2018.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 113–123, 2005. Disponível em: http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/16_Fearnside.pdf. Acesso em 29/05/2019.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3, p. 395–400, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672006000300018&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 08/06/2019. Acesso em 29/05/2019.

FERRAZ, A. C. P. Border effects on arthropods in tropical forests, with emphasis on diptera cyclorrapha. *Oecologia Australis*, v. 15, n. 2, p. 189–198, 2011.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 28, n. 2, p. 101–101, 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59671998000200101&lng=pt&tlng=pt. Acesso em 25 junho 2019.

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; WOLF, D. B. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, n. 1, p. 38–55, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. *Pesquisa de informações ambientais / uso e cobertura do solo*. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99649.pdf>. Acesso em: 28 julho 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. *Pesquisa de informações básicas municipais*. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidades>. Acesso em: 1º junho 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET. *Portal*. 2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em: 30 agosto 2018.

LOPES, M. N. G.; DE SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 12, n. 1, p. 84–102, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v12i1.31402>

CABRAL, A. L. A.; FILHO, L. O. M.; BORGES, L. A. C. Uso do fogo na agricultura: legislação, impactos ambientais e realidade na Amazônia. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 9, n. 5, p. 159–172, 2013.

MARIANO, S. R. *Análise de diferentes volumes de água no combate aos incêndios florestais*. 2016. Disponível em: <https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>. Acesso em: 1 junho 2019.

MARTINS, F. D.; CUNHA, A. M. C.; CARVALHO, A. S.; COSTA, F. G. Grupos de queimada controlada para prevenção de incêndios florestais no mosaico de carajás. *Biodiversidade Brasileira*, v. 6, n. 2, p. 121–134, 2016.

MESQUITA, A. G. G. Impactos das queimadas sobre o ambiente e a biodiversidade acreana. *Revista Ramal de Ideias*, v. 1, n. 1, p. 14, 2008. Disponível em:

http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/impacto_queimadas_ambi. Acesso em: 12 junho 2019.

MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por que é importante entender as inter-relações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? *Biodiversidade Brasileira*, v. 2, p. 40–49, 2011.

MORAES, B. C.; SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S.; OLIVEIRA, J. V. Sensoriamento remoto como ferramenta para a determinação da estação chuvosa na Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 5, p. 1275–1291, 2015.

MORELLO, T. F.; FERREIRA, A. E. M. Uso agrícola do fogo no estado do Pará: determinantes socioeconômicos. *Cadernos Cepec*, v. 1, n. 4, p. 1-23, 2012.

MOUTINHO, S. Fogo Amigo: estudos mostram que a prática indígena de queimar grandes áreas de cerrado é benéfica para o bioma. *Ciência Hoje*. 314. Maio, 2014. Disponível em: <https://axa.org.br/2014/06/fogo-amigo/>. Acesso em 20 de setembro 2018.

MULLER, A.; BATAGHIN, F. A.; SANTOS, S. C. efeito de borda sobre a comunidade arbórea em um fragmento de floresta ombrófila mista, Rio Grande do Sul, BRASIL. *Perspectiva*, v. 34, n. 125, p. 29–39, 2010.

NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS (NAEA). Agricultura de corte e queima e alternativas agroecológicas na amazônia. *Novos Cadernos NAEA*. Universidade Federal do Pará (UFPA), v. 20, n. 3, p. 203-224, 2017. ISSN 1516-6481

NASCIMENTO, J. S. M.; AGUIAR, R. G.; WEBLER, A. D.; FISCHER, R. G.; AGUIAR, L. J. G.; RUEZZENE, C. B. Variáveis meteorológicas em áreas de floresta e pastagem na Amazônia ocidental em anos de eventos extremos. *Ciência e Natura*, v. 38, Ed. Especial, p. 217-224, 2016. ISSN 2179-460X

NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire. *Nature*, 1999. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/19066>. Acesso em 2 de agosto de 2019.

O QUE É O CÓDIGO FLORESTAL. *Dicionário Ambiental*. ((o))ECO, Rio de Janeiro, Ago. 2014. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/>. Acesso em: 28 de março de 2019.

PEDROSO JR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Ciências Humanas, v. 3, n. 2, p. 153–174, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81222008000200003&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 28 de março de 2019.

PONTES, T M. *Estoques de biomassa e de nutrientes de pousios enriquecidos com Inga edulis Martius em áreas com histórico de agricultura e de pecuária no Assentamento Tarumã-Mirím*, Manaus- AM. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA, 2009. Disponível em: <https://btdt.inpa.gov.br/handle/tede/752>. Acesso em: 28 de março de 2019

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados*, v. 16, n. 44, p. 125–148, 2002. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142002000100008&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 28 de março de 2019.

RIBEIRO, M. C.; FIGUEIRA, J. E. C. Uma abordagem histórica do fogo no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais – Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, 2011. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/96>. Acesso em: 28 de março de 2019.

RIBET, N. La maîtrise du feu: un travail “en creux” pour façonner les paysages. *Travail et paysages*, p. 167–198, 2007. Disponível em: <http://www.eufirelab.org/toolbox2/library/upload/2710.pdf>. Acesso em 20 setembro 2018.

ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ESTANQUEIRO, R.; SOUSA, P. M. Classificação de uso do solo urbano através da análise linear de mistura espectral com imagens de satélite. *Finisterra*, v. 42, n. 83, 2012. Disponível em: <http://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/1438>. Acesso em: 15 jun. 2019.

ROY, S. B.; AVISSAR, R. Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology in Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, n. D20, p. 8037, 2002. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1029/2000JD000266>. Acesso em: 15 junho 2019.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONCALVES, L. G. G.; VILA, D. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. *Weather and Forecasting*, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/47444604_Combining_TRMM_and_Surface_Observations_of_Precipitation_Technique_and_Validation_Over_South_America. Acesso em: 15 junho 2019.

SANTOS, E. M.; SANTOS, F. A. A. S.; GOMES, M. V. C. N.; SANTOS, V. C.; NEVES, R. R. Análise espacial das ações do programa “ municípios verdes ”: Estudo de caso no município de Paragominas- PA. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 21–35, 2017.

SANTOS, J. A. C.; PAULETTO, D.; MOTA, C. G.; SILVA, S. U. P.; GOMES, V. S. Uso do fogo na agricultura: medidas preventivas e queima controlada no projeto de desenvolvimento sustentável terra nossa, Novo Progresso, Pará. *Revista Agroecossistemas*, v. 10, n. 2, p. 353, 2018.

MOCHIUTTI, S.; FILHO, A. P. S. S.; MEIRELLES, P. R. L. *Efeitos da frequência e época de queima sobre a produção e rendimentos das espécies de pastagem nativa de cerrado do Amapá*. [s.l.: s.n.], 1997. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/400468/efeito-da-frequencia-e-epoca-de-rocada-sobre-a-producao-e-rendimentos-das-especies-de-uma-pastagem-nativa-de-cerrado-do-amapa>. Acesso em: 16 junho 2019.

SILVA, D. M.; LOIOLA, P. P.; ROSATTI, N. B.; SILVA, I. A.; CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A. Os efeitos dos regimes de fogo sobre a vegetação de cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: considerações para a conservação da diversidade. *Biodiversidade Brasileira*, 2011. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/136>. Acesso em: 16 junho 2019.

SODRÉ, G. R. C.; DE SOUZA, E. B.; DE OLIVEIRA, J. V.; MORAES, B. C. Cálculo de risco e detecção de queimadas: uma análise na amazônia oriental. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, n. 49, p. 1-14, 3 dez. 2018. Disponível em: http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/37. Acesso em 3 março de 2019.

SODRÉ, G. R. C.; VITORINO, M. I.; COHEN, J. C. P.; MORAES, B. C. Estudo observacional da convecção de mesoescala em diferentes superfícies no estado do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 08, n. 5, p. 1281–1293, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232958/26926>. Acesso em: 20 junho 2019.

SOGLIO, F. D.; KUBO, R. R. *Agricultura e Sustentabilidade*. Universida. Porto Alegre: [s.n.], 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/52807>. Acesso em: 20 junho 2019.

SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S.; GUIMARÃES, J. T. F.; FRANCO, V. S.; AZEVEDO, F. T. M.; MORAES, B. C.; SOUZA, P. J. O. P. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, p. 81–93, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/41232>. Acesso em 3 março 2019.

TONIOLO, M. A. *The role of land tenure in the occurrence of accidental fires in the amazon region: case studies from the national forest of Tapajós*, Pará, Brazil. Indiana University, 2004. Disponível em: <https://koha.inpa.gov.br/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3769>. Acesso em: 20 junho 2019.

URIARTE, M.; PINEDO-VASQUEZ, M.; DEFRIES, R. S.; FERNANDES, K.; GUTIERREZ-VELEZ, V.; BAETHGEN, W. E.; PADOCH, C. Depopulation of rural landscapes exacerbates fire activity in the western Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23236144>. Acesso em: 20 junho 2019.

VASCONCELOS, C.; GARCIA, P. A. B. B.; GOMES, A. S.; GUIMARÃES, S. O. Efeito de borda e decomposição da serapilheira foliar de um fragmento florestal, em Vitória da Conquista – Ba. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 17, p. 1150–1161, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/285054119%0A>. 20 junho 2019.

WOLTER, K.; TIMLIN, M. S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 7, p. 1074–1087, 2011.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Nesta pesquisa foi proposto uma análise do quadro geral das queimadas na região Amazônica, o objetivo foi abordar a complexidade que envolve este tema, como o mesmo pode ser tratado como um problema social, porém com reflexos sobre a questão climática. Foi discutido como o direcionamento da pesquisa científica foi sendo refinado ao longo das últimas décadas, como a predileção por alguns temas podem ter sido fundamental para entender como a questão “queimadas” é tratado no atual cenário Amazônico.

No Capítulo 2 foi discutido o aspecto do desenvolvimento das pesquisas científicas sobre as queimadas na Amazônia, observou-se que entre a década de 1990 e início da década de 2000, as pesquisas apresentavam uma visão mais interdisciplinar, abordando as condições ambientais, econômicas, físicas e químicas que norteavam a utilização de queimadas nas propriedades rurais. Característica que foi sendo substituída por uma visão unidirecional, focando principalmente em impactos e nas novas formas de monitoramento, como o sensoriamento remoto. Os movimentos para o retorno a interdisciplinaridade vem acompanhado da mescla dos mesmos temas, amplamente abordados individualmente, cominando na predominância de uma abordagem puramente científica e menos social, resultado na predominância de resultados que colocam os produtores, que utilizam o fogo como alternativa economicamente mais viável, como os únicos e maiores “vilões” do meio ambiente quando na verdade, como observando ao longo do capítulo, as escolhas por temas específicos, o distanciamento do pesquisador do local pesquisado, abordagem mais científicas (físico /química) e menos sociais e/ou econômicas, fizeram com o que a educação ambiental iniciada há décadas atrás não alcançasse o efeito desejado.

O atual cenário de queimadas explicita essa situação, a educação ambiental não pode estar restrita somente aos cursos superiores, é preciso que desde a infância o filho do produtor rural aprenda que mesmo não sendo a opção mais “barata”, é essencial que ele não use o fogo em sua propriedade, e somente a educação ambiental vai prepara-lo para isso. No entanto, essa forma de pensar, de mudança de cultura, de paradigma, é demorado e é um projeto para o futuro. E no quadro atual é necessário uma medida possa trazer efeitos a curto prazo, amenizando os danos que vêm sendo causados ano após ano pelas queimadas.

Uma das principais iniciativas do poder público no combate as queimadas na Amazônia, foi discutido no Capítulo 3, que trata do monitoramento e emissão de alertas de queimadas a partir do uso do sensoriamento remoto pelo INPE. Caracteriza-se como uma

ação com papel fundamental na tentativa de controle e redução das queimadas, no entanto, devido o mesmo servir mais como uma forma de remediar a situação e não de solução do problema, o que se observa no cenário atual é a necessidade de alocação de cada vez mais recursos para combater os focos de queimadas, e um sistema de alertas que devido considerar somente a visão científica, como descrito no parágrafo anterior, apresenta uma baixa precisão na previsão de risco de queimada, devido as mesmas serem resultantes principalmente da ação do homem e não de um mecanismo ou fenômeno meteorológico/ambiental.

No Capítulo 4 discutimos o processo legal do uso do fogo no campo, esclarecendo o entendimento que o crime ambiental é provocar o incêndio florestal e não o uso do fogo controlado. Todos os códigos florestais criados no Brasil buscaram prevenir a ocorrência dos incêndios mas também protegeram o uso cultural e tradicional desta prática. As pesquisas mais recentes mostram que o entendimento sobre o uso do fogo, considerando o alto nível de degradação do cenário atual, indica que primeiro é preciso controlar o mesmo, por meio da gestão do seu uso, para em seguida reduzir esta prática a níveis sustentáveis para aos poucos substituí-la por técnicas mais eficientes e menos destrutivas. Neste capítulo apresentamos o calendário de manejo meteorológico para o uso mais seguro do fogo, criado e validado para o município de Paragominas, no entanto, sua metodologia pode ser aplicada para os demais municípios Amazônicos.

Assim, como é possível notar ao longo desta pesquisa, a educação ambiental é a forma mais eficaz de combater o uso excessivo de queimadas na Amazônia e que isso é um investimento para o futuro, mas para o problema atual esta tese propõe um calendário de manejo do uso do fogo no campo baseado na variabilidade pluviométrica local, pois com a cultura da queima já estabelecida, uma solução lógica para amezinhar os seus efeitos e viável, tanto termos de recursos econômicos como humano, é permitir que o uso do fogo continue. Porém, que as queimadas sejam realizadas de forma controlada em momentos mais propícios a sua não propagação indesejada. Assim, o número de focos de queimadas sem controle pode ser reduzido de forma eficaz e as perdas de biodiversidade e econômicas podem ser menores. Sendo este o caminho a ser percorrido enquanto a conscientização ambiental não cumpre seu papel em alterar esta cultura dentro da região Amazônica.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, C. Caiçaras na Mata Atlântica: pesquisa científica versus planejamento e gestão ambiental. São Paulo: *Annablume*, 2000. Disponível em: <https://bdpi.usp.br/item/001173894>. Acesso em: 20 de agosto 2017.
- ACKER, A. “O maior incêndio do planeta”: como a Volkswagen e o regime militar brasileiro acidentalmente ajudaram a transformar a Amazônia em uma arena política global. *Revista Brasileira de História*. São Paulo, v. 34, n. 68, p.13-33. 2014.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; SILVA, E.; BROWN, F.; LEFEBVRE, P.; MENDOSA, E.; ALMEIDA, CARVALHO JR, D. O. Uso do fogo na amazônia: estudos de caso ao longo do arco de desmatamento. *World Bank Report*. Brasília, 1997. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/documentos/uso-do-fogo-na-amazonia-estudos-de-caso-ao-longo-do-arco-de-desmatamento>. Acesso: 20 de agosto 2017.
- ALVAREZ, L. C. B. *Desenvolvimento agrícola e distribuição de renda: um comparativo entre o paraguai e o brasil*. Dissertação de mestrado. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, SP. 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/322668>. Acesso em: 1 março 2019.
- ANDRADE, V. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; CARMO, C. N. Influência do material particulado (pm2.5) de queimadas e variáveis meteorológicas na morbidade respiratória de crianças em Manaus, AM. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v.1, n.4, p.744 – 758, 2012.
- ARAÚJO, H. J. B.; OLIVEIRA, L. C.; VASCONCELOS, S. S.; CORREIA, M. F. Danos provocados pelo fogo sobre a vegetação natural em uma floresta primária no estado do acre, Amazônia brasileira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 297-308, abr.-jun. 2013. ISSN 0103-9954.
- BARLOW, J.; PERES, C. A. Fogo Rasteiro: nova ameaça na Amazônia. *Ciência Hoje*. São Paulo, SP. v. 34, n. 199, p. 24-29. 2003. Disponível em: [http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/fogo-rasteiro--nova-ameaca-na-amazonia\(156a9e0d-4ada-4943-bcee-f9a0e4e0f131\).html](http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/fogo-rasteiro--nova-ameaca-na-amazonia(156a9e0d-4ada-4943-bcee-f9a0e4e0f131).html). Acesso em 20 jan 2019.
- BARRETO, P.; MESQUITA, M. *Como prevenir e punir infrações ambientais em Áreas Protegidas na Amazônia*. Imazon, Belem, Brazil, 2009. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/como-prevenir-e-punir-infracoes-ambientais-em-areas-protegidas-na-amazonia/>. Acesso em: 20 de agosto 2017.
- BRINKMANN, W. L. F.; NASCIMENTO, J. C. The effect of slash and burn agriculture on plant nutrients in the tertiary region of Central Amazonia. *Turrialba*, v. 23, n. 3, p. 284-290, 1973.
- CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; RIVELLI NETO, A. ; SILVA, L. A. Sistemas de colheita da canade-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília,DF, v. 34, n. 8, p. 1467-1473, ago. 1999.
- DENEVAN, W. M. A bluff model of riverine settlement in prehistoric amazonia. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 86, n. 4, p. 654-681, 1996.

DI MASI, A. M. Limites do meio ambiente: a modernização. *R. Esc. Sup. Guer. Mon.* Rio de Janeiro, v. 20, n. 44, p. 273-384, 2004.

FEARNSIDE, P.M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, v.16, p. 99–123, 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142002000100007. Acesso em 20 abril 2019.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101-101, 1998.

FISHER, J. B.; MALHI, Y.; BONAL, D.; ROCHA, H. R. da; ARAUJO, A. C.de; GAMO, M.; GOULDEN, M. L.; HIRANO, T.; HUETE, A. R.; KONDO, H.; KUMAGAI, T.; LOESCHER, H. W.; MILLER, S.; NOBRE, A. D.; NOUVELLON, Y.; OBERBAUER, S. F.; PANUTHAI, S.; ROUPSARD, O.; SALESKA, S.; TANAKA, K.; TANAKA, N.; TU, K. P.; Von RANDOW, C. The land-atmosphere water flux in the tropics. *Global Change Biology*, v.15, n. 11, p. 2694-2714, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01813.x>.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M.; BRENDEL, O.; CABRERA, H. M.; CARRIQUÍ, M.; DÍAZ-ESPEJO, A.; DOUTHE, C.; DREYER, E.; FERRIO, J. P.; GAGO, J. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*, v. 193, p.70-84, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.009>.

GATTO, A.; BARROS, N.; FÉLIX, N.; ROBERTO F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, v.27, n. 5, p. 635-646, 2003. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000500006>.

Gonzalez, A.; Andreoli, R. V.; Candido, L. A.; Kayano, M. T.; Souza, R. A. F. A influência do evento *El Niño* – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. *Acta Amazonica*. v.43, n. 4, p. 469 – 480, 2013. ISSN 0044-5967. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400009>.

GRAHAM, E. A.; MULKEY, S. S.; KITAJIMA, K.; PHILLIPS, N. G.; WRIGHT, S. J. Cloud cover limits net CO₂ uptake and growth of a rainforest tree during tropical rainy seasons. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, v. 100, n. 2, p. 572-576, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0133045100>.

HOMMA, A. K. O.; WALKER, R. T.; SCATENA, F. N.; CONTO, A. J. de; CARVALHO, R. de A.; ROCHA, A. C. P. N. da; FERREIRA, C. A. P.; SANTOS, A. I. M. A dinâmica dos desmatamentos e das queimadas na Amazônia: uma análise microeconômica. *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, v. 1, p. 663-676, 1993. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125066/1/DINAMICA-DOS-DESMATAMENTOS.pdf>. Acesso em: 10 junho 2019.

HOUGHTON, R.; SKOLE, D.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J.; LAWRENCE, K.; CHOMENTOWSKI, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*. v. 403, p. 301-304, 2000. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002062>. Acesso em 10 junho 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, IBAMA, Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/amazonia.htm>. Acesso em 8 de fevereiro de 2017.

JOHNSON, C. M.; VIEIRA, I. C. G.; ZARIN, D. J.; FRIZANO, J.; JOHNSON, A. H. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v. 147, n. 2, p. 245-252, 2001.

KIM, J. H.; JO, S.; BRIAN Y. Lattimer, "Feature Selection for Intelligent Firefighting Robot Classification of Fire, Smoke, and Thermal Reflections Using Thermal Infrared Images," *Journal of Sensors*, vol. 2016, Article ID 8410731, 13 pages, 2016. doi:10.1155/2016/8410731

KLEINMAN, P. J.; PIMENTEL, D.; BRYANT, R. B. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 52, n. 2-3, p. 235-249, 1995.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, v. 85, n. 1, p. 91-118, 2007. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-007-9104-4>. Acesso em 15 junho 2019.

LEONEL, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. *Estud. av.*; São Paulo, v. 14, n. 40, p. 231-250, 2000. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142000000300019&lng=en&nrm=iso. Acessado em: 10 agosto 2016.

LOPES, F. Z. *Relação entre o MEI (Multivariate Enso Index) e a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas, 2006. Disponível em: http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/3992/1/Dissertacao_Fabio_Lopes.pdf. Acesso em: 15 agosto 2016.

LORETO, F.; CENTRITTO, M.; CHARTZOULAKIS, K. Photosynthetic limitations in olive cultivars with different sensitivity to salt stress. *Plant Cell and Environment*, v. 26, v. 4, p. 595-601, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00994.x>.

LOUREIRO, V.R.; PINTO, J. N. A. A questão fundiária na Amazônia. *Estudos Avançados*, vol.19, n.54, pp. 77-98, 2005.

LUDWIG, F. J. O direito de ingerência e a questão da Amazônia Legal: um problema brasileiro? *Revista Interação*. v. 6, n. 6, p. 92-115, 2014. ISSN 2357-7975

MAFAKHERI, A.; SIOSEMARDEH, A.; BAHRAMNEJAD, B.; STRUIK, P.; SOHRABI, Y. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, v.4, n. 8, p. 580-585, 2010.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G.; CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*, v. 103, n. 24, p. 31593-31612, 1998.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 12, p. 1-5, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. *Revista USP*, n. 103, p. 25-32, 2014. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/issue/view/7488>. Acesso em: 10 julho 2019.

MATOS, B. R. M.; COSTA, A. C. L. Efeito da deficiência hídrica na produção dos componentes da liteira vegetal em floresta tropical nativa na flona Caxiuanã-Pará. *Rev. Biol. Neotrop.* v. 9, n. 2, p. 24-36. 2012

MENDOZA-VEGA, J.; KARLTUN, E.; OLSSON, M. Estimations of amounts of soil organic and fine root carbon in land use and land cover classes, and soil types of Chiapas highlands, Mexico. *Forest Ecology and Management*, v. 177, n. 1-3, p. 191-206, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00439-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00439-5). Acesso em: 10 janeiro 2019.

MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por Que é Importante Entender as Inter Relações entre Pessoas, Fogo e Áreas Protegidas? *Biodiversidade Brasileira*, n.2, p. 40-49, 2011. Disponível: <http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/137/97>. Acesso em: 10 de julho 2019.

NEPSTAD, D. C.; A. MOREIRA, A. A. ALENCAR. A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília, Brasil. 202 p.; il. 1999a. Disponível em: <https://ipam.org.br/bibliotecas/floresta-em-chamas-origens-impactos-e-prevencao-do-fogo-na-amazonia>. Acesso em 15 julho 2019.

NEPSTAD, C. D.; VERSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. (b) Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v. 398, p. 505-508, 1999b. Doi: <https://doi.org/10.1038/19066>

NEPSTAD, C. D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA JR, U. L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of amazon forests. *Forest Ecology & Mgt.* v.154, p. 395-407, 2001. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00511-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00511-4).

NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Características do clima Amazônico: aspectos principais. *Amazonia and Global Change*. 2010. Disponível em: https://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia_global_change/10_Caracteristicas_Nobre.pdf. Acesso em: 20 de setembro 2018.

NOBRE, A. N.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. *Parcerias Estratégicas*, v. 13, n 27, p.19-42. 2008.

NORBY, R. J.; LUO, Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world. *New Phytologist*, v.162, n. 2, p. 281-293, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01047.x>.

OLIVEIRA, R. R. When the shifting agriculture is gone: functionality of Atlantic Coastal Forest in abandoned farming sites. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.3, n.2, p. 213-226, 2008. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-81222008000200006>.

PARRON, L. M. *Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico, em uma mata de galeria no Distrito Federal*. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/567744/aspectos-da-ciclagem-de-nutrientes-em-funcao-do-gradiente-topografico-em-uma-mata-de-galeria-no-distrito-federal>. Acesso em: 10 agosto 2016

PEDROSO JR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi Cienc. Hum.* Belém, v. 3, n. 2, p. 153-174, 2008. Disponível em http://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81222008000200003&lng=pt&nrm=iso. Acessado em 10 agosto 2016.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J. & GATIBONI, L.C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. *Ci. Rural*, v.33, n. 6, p.1053-1059, 2003. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000600009>.

SÁ, C. P.; SANTOS, J. C.; LUNZ, A. P.; FRANKE, I. L. *Análise Financeira e Institucional dos Três Principais Sistemas Agroflorestais Adotados pelos Produtores do Reca*. Rio Branco, Embrapa Acre, 2000. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/503349/analise-financeira-e-institucional-dos-tres-principais-sistemas-agroflorestais-adotados-pelos-produtores-do-reca>. Acesso em: 10 agosto 2016.

SÁ, T. D. A; KATO, O. R.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R. O. Queimar ou não queimar? De como produzir na Amazônia sem queimar. *Revista USP*, São Paulo, n.72, p.92-97, 2007.

SAATCHI, S.S.; HOUGHTON, R.A.; ALVALA, R.C.dos S.; SOARE, J.V.; YU, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology* v. 13, n. 4, p.816-837, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01323.x>

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell and Environment*, v. 30, n. 9, p. 1086-1106, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01682.x>.

SALATI, E. The forest and the hydrological cycle. In: Dickinson R.E. (ed.) *The geophysiology of Amazonia: vegetation and climate interactions*. New York, John Wiley and Sons. 1987. 526p. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8744071>. Acesso em: 20 agosto 2016.

SCHROEDER, W.; ALENCAR, A.; ARIMA, E.; & SETZER, A. A distribuição espacial e variabilidade interanual do fogo na Amazônia. In: KELLER, M. *et al. Amazonia and Global Change*. Washington, DC: American Geophysical Union. (Geophysical Monograph Series 186). 2009. Doi:10.1029/2008GM000724. Disponível em: https://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia_global_change/4_A_Distribuicao_Espacial_Schroeder.pdf. Acesso em 10 de junho 2019.

SERRA, M. A.; FERNÁNDEZ, R. G. Perspectivas de desenvolvimento da Amazônia: motivos para o otimismo e para o pessimismo. *Economia e Sociedade*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 107-131, 2004.

SILVA, L. R. A migração dos trabalhadores gaúchos para a Amazônia Legal (1970-1985). *Revista virtual de historia*, ISSN-e 1677-8944, n. 24, 2005. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2140624>. Acesso em: 29 julho 2019.

SOARES, M. C. R. S.; WEBLER, A. D.; 2016. STUDY OF THE BOWEN RATIO IN AREA A FOREST NO SOUTHWEST AMAZON. *Ciência e Natura*, v.38, p. 54-509. Disponvel em: <https://search.proquest.com/docview/1817335108?accountid=199028>. Acesso em: 18 junho 2019.

SOUZA, E. B.; CUNHA, A. C. *Climatologia de precipitação no amapá e mecanismos climáticos de grande escala*. IEPA. 2010. Disponível em: <https://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/418>. Acesso em: 20 março 2018.

VITOUSEK, P. M.; PORDER, S.; HOULTON, B. Z.; CHADWICK, O. A. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogenphosphorus interactions. *Ecological Applications*, v. 20, n. 1, p. 5-15, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1890/08-0127.1>.

WAGNER, F.; ROSSI, V.; STAHL, C.; BONAL, D.; HERAULT, B. Water availability is the main climate driver of neotropical tree growth. *PLoS One*, v. 7, n. 4, p. 1-11. DOI: 10.1371/journal.pone.0034074, 2012.

XIMENES, V. M.; SILVA, A. M. S.; ESMERALDO FILHO, C. E.; CÂMARA, A. E.; CLARINDO, J. M. Sentimento de Comunidade e Pobreza Rural no Nordeste, Norte e Sul do Brasil. *Revista Subjetividades*, v.19, n.1, p. 1-13, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5020/23590777.rs.v19i1.e7923>.