

QUANTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DE PERDAS PELO USO DO FOGO NO ESTADO DO ACRE

Aline Pontes Lopes, matrícula 127582

Wesley Augusto Campanharo, matrícula 139203

Monografia final da disciplina SER300 –
Introdução ao Geoprocessamento, em
formato de artigo, a ser apresentada no
em 15 de junho de 2017 para os
professores Dr. Antônio Miguel Vieira
Monteiro e Dr. Claudio Barbosa.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO..... | 1 |
| 1. INTRODUÇÃO | 2 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 3 |
| 2.1 ÁREA DE ESTUDO..... | 3 |
| 2.2 DADOS | 3 |
| 2.2.1 MAPA DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS | 3 |
| 2.2.2 MAPA TEMÁTICO DE USO DO SOLO | 4 |
| 2.2.3 MAPA DE DENSIDADE DE CARBONO NA BIOMASSA..... | 4 |
| 2.2.4 PROPRIEDADES E ÁREAS DE USO RESTRITO | 6 |
| 2.2.5 MORBIDADES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS | 7 |
| 2.3 INFERÊNCIA GEOGRÁFICA..... | 7 |
| 2.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 10 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 11 |
| 3.1 VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUEIMA..... | 11 |
| 3.2 DANOS E CUSTOS | 17 |
| 3.3 INCERTEZAS | 19 |
| 4. CONCLUSÕES | 20 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 21 |

QUANTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DE PERDAS PELO USO DO FOGO NO ESTADO DO ACRE

RESUMO

O uso do fogo ainda é uma prática agrícola comum na região Amazônica, tanto para a abertura de novas áreas quanto para a limpeza de terreno. Entretanto, quando fora de controle, o fogo causa inúmeras perdas ambientais e sociais. Em anos de secas severas, geralmente ocasionadas pelo fenômeno climático El Niño, as condições ambientais são mais propícias ao rápido espalhamento do fogo. Diante disto, o objetivo deste estudo é quantificar as perdas ocasionadas pelo uso do fogo no Estado do Acre e contrastar a sua variação espacial e a dimensão dos custos econômicos em um ano de seca severa (2010) e outro de chuva regular (2012). A extensão dos incêndios/queimadas foi quantificada a partir do mapeamento de queimadas (2008-2012), os quais foram posteriormente cruzados com o uso e cobertura da terra; Áreas de Preservação Permanentes – APPs e Reservas Legais – RLs das propriedades; áreas protegidas; e dados de morbidades respiratórias. De acordo com dados da literatura, nós consideramos que um único evento de queima determinou a perda de ~29% da biomassa florestal. Da mesma forma, consideramos que os incêndios representaram 45% das áreas de agricultura e pastagem identificadas no mapa queima e 3% a 8% do total de morbidades respiratórias. O custo econômico associado a tais danos foi baseado em valores no mercado substituto e de mitigação. As queimadas se concentraram em torno das principais cidades e malhas viárias, geralmente em polígonos de até 60 ha. Entretanto, em 2010, a área afetada pelos incêndios florestais foi ~4,5 vezes maior do que em 2012. Além disso, no ano atípico, as queimadas se difundiram para locais mais distantes das estradas, adentrando em áreas protegidas e área de uso restrito (APPs e RLs). Os custos totais relacionados às queimadas em 2012 foram da ordem de algumas unidades a poucas dezenas de milhões de reais, enquanto, no ano atípico de 2010, os custos estimados são de muitas dezenas de milhões, podendo chegar a bilhões de reais.

Palavras-chave: queimadas, custo econômico, El Niño, degradação florestal

1. INTRODUÇÃO

O uso do fogo é uma prática agrícola comum na região Amazônica, tanto para a abertura de novas áreas quanto para a limpeza e manutenção de áreas produtivas. Entretanto, quando fora de controle, as queimadas causam inúmeras perdas ambientais, sociais e econômicas, sendo, então, denominadas como incêndios florestais.

Em anos de secas severas, geralmente ocasionadas pelo fenômeno climático El Niño Oscilação-Sul (ENSO), as condições ambientais, caracterizadas por altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar por longos períodos, são mais propícias para o rápido espalhamento do fogo (BRANDO et al., 2014). Com a previsão do aumento da frequência de secas na Amazônia (LI et al., 2006) e a intensificação do ciclo hidrológico (DURACK et al., 2012; GLOOR et al., 2013), o aumento colateral dos incêndios nas florestas adjacentes a áreas antropizadas pode ser um agente com maior potencial de transformação ambiental do que o próprio evento de seca (ARAGÃO et al., 2007; BRANDO et al., 2014).

O Estado do Acre, localizado no sudoeste da Amazônia Brasileira, tem sofrido com a ocorrência de eventos climáticos extremos desde 2005 (LEWIS et al., 2011; MARENGO et al., 2011; MARENGO & ESPINOZA, 2016). Os impactos socioeconômicos causados por tais eventos têm sido particularmente críticos no Estado, sobretudo, com relação ao fogo (ARAGÃO et al., 2016). Frente a estes fatos, existe uma grande necessidade de fomentar estratégias e políticas públicas de prevenção das queimadas e incêndios agrícolas e florestais no Estado do Acre. Técnicas de valoração de custos ambientais e socioeconômicos têm grande serventia para atingir este objetivo.

Diante disto, o presente estudo utiliza técnicas algébricas de geoprocessamento para quantificar, analisar e contrastar, em um Sistema de Informações Geográfica – SIG, a espacialização dos danos e perdas econômicas diretas e indiretas ocasionadas por incêndios florestais no Estado do Acre em um ano de seca severa e um ano de chuva regular. Neste trabalho, as perdas diretas incluem os

impactos dos incêndios em áreas de produção agrícola e pastoril e em florestas primárias. Já os impactos indiretos incluem emissões de gás carbônico equivalente e danos à saúde humana. Assim, objetivamos responder as seguintes perguntas:

- 1) Como é o padrão de espacialização de tais danos e custos?
- 2) Existe variação significativa entre os padrões e os custos em diferentes anos segundo as variações climáticas?
- 3) Qual é a dimensão dos danos e dos custos econômicos associados ao uso desordenado do fogo no Estado do Acre?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Acre possui uma área de aproximadamente 164.000 km² (IBGE, 2015), estando inteiramente inserido na Amazônia Legal e no Bioma Amazônico. O Estado possui 22 municípios, aproximadamente 12% da área total do Estado desmatada até 2010 (PRODES, 2016) e 68.000 km² de unidades de conservação e áreas indígenas delimitadas (~41% do território) (IBGE, 2016). As áreas desmatadas estão concentradas no sudeste acreano, ao redor dos núcleos urbanos e ao longo da rede viária estadual, sobretudo, a BR-364, BR-317 e AC-40. A derrubada da floresta e a queima de vegetação por atividades humanas são os maiores agentes de transformação das paisagens regional, apesar da taxa de desmatamento do Estado ter caído entre 2004 e 2010 (RODRIGUES, 2014).

2.2 DADOS

2.2.1 MAPA DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS

A extensão das queimadas e incêndios (agrícolas e florestais) foi quantificada a partir do mapeamento das cicatrizes de queimadas, feito pelo grupo TREES/INPE. O trabalho de mapeamento seguiu a metodologia descrita por Anderson e

colaboradores (2015), baseada na aplicação de um modelo linear de mistura espectral, segmentação e classificação não-supervisionada sobre produtos do sensor MODIS. O dado utilizado se trata de uma máscara (imagem booleana) que apenas identifica a área queimada.

2.2.2 MAPA TEMÁTICO DE USO DO SOLO

O mapa temático de uso do solo do Acre, disponibilizado pelo Projeto TerraClass, foi obtido em formato *raster* (estrutura tesselação) e convertido em polígonos adjacentes. As classes mapeadas pelo projeto incluem: agricultura, pasto limpo, pasto sujo, regeneração, vegetação secundária, floresta, desflorestamento (desmatamento); áreas urbanas e áreas não-observadas. Detalhes sobre o mapeamento estão dispostos no trabalho de Almeida et al. (2016).

2.2.3 MAPA DE DENSIDADE DE CARBONO NA BIOMASSA

A densidade de carbono na biomassa viva acima do solo (*aboveground carbon density* – ACD) foi especializada com base no mapa de uso do solo de 2008. Assim, nós construímos um único mosaico da ACD para o Estado do Acre no ano de 2008, segundo três superclasses de uso do solo: (1) Florestas - referente às classes floresta, vegetação secundária e regeneração; (2) Agricultura e (3) Pastagens – incluindo pasto sujo e pasto limpo. A agregação das classes do TerraClass foi realizada devido à falta de dados mais detalhados sobre a biomassa nas diferentes classes consideradas.

À superclasse Florestas, nós atribuímos a ACD do mapa desenvolvido por Baccini et al. (2015) para as áreas com cobertura arbórea de toda a região pan-tropical. Tal trabalho expandiu a metodologia apresentada por (BACCINI et al., 2012), usando mensurações de campo, dados de altura da vegetação derivados do sensor orbital GLAS Lidar, dados sobre a elevação da superfície derivados do sensor SRTM e produtos em refletância de superfície do sensor ETM+ abordo do satélite Landsat 7. Este dado consiste um único mapa em formato tesselação

(com resolução espacial de 30 m) representando a ACD (em MgC.ha⁻¹) entre os anos de 2000 e 2010.

O valor médio de 1,71 MgC.ha⁻¹, atribuído à superclasse Agricultura, foi baseado na ACD média para plantios de milho e mandioca, os principais cultivos agrônômicos do Estado do Acre – respectivamente 35,9% e 35,8% da área plantada em 2015 (IBGE, 2016). A ACD do plantio de milho foi baseada na soma entre a biomassa seca da parte aérea de um plantio de milho no Estado do Rio Grande do Sul (VIAN et al., 2016) e a produtividade média anual de milho para o Estado do Acre (AGRIANUAL, 2012). Enquanto isso, a ACD do plantio de mandioca foi baseada na biomassa seca da parte aérea (menos um desvio padrão) em um plantio clonal no Distrito Federal (FERNANDES et al., 2009).

Já a superclasse Pastagens recebeu o valor médio de 38,61 MgC.ha⁻¹, baseado em valores da biomassa viva acima do solo encontrados em três diferentes pastagens localizadas nos Estados de Rondônia e Pará (KAUFFMAN et al., 1998). Destaca-se que estes valores são extremamente conservadores e visam apenas gerar uma linha de base para a estimativa das perdas ambientais e econômicas causadas pelo uso do fogo no Estado.

Posteriormente, para estimar a perda de biomassa causada pelo fogo, nós aplicamos a equação (1) desenvolvida por Anderson e colaboradores (2015).

$$B_f = 0,7084 * B_i \quad (1)$$

Onde: B_f é a biomassa viva acima do solo restante um ano após o fogo (MgC.ha⁻¹) e B_i é a biomassa inicial (MgC.ha⁻¹), existente antes do fogo. A equação indica que existe uma relação linear entre B_f e B_i : aproximadamente 70% de B_f é mantida após a queima ($R^2=0,95$). Com base nesta equação, consideramos que aproximadamente 29% da biomassa inicial é perdida em um evento de queima, [$\Delta B = 0,2916 * B_i$].

Entretanto, destacamos que este método subestima as perdas em áreas florestais por levar em conta apenas a perda de biomassa no espaço temporal de um ano (ANDERSON et al., 2015). A mortalidade das árvores de grande porte, o maior compartimento de biomassa viva acima do solo, provavelmente ocorre em um maior espaço de tempo (BARLOW et al., 2003). Além disso, o fogo em áreas de pastagens pode chegar a consumir 84% da biomassa total acima do solo (KAUFFMAN et al., 1998).

2.2.4 PROPRIEDADES E ÁREAS DE USO RESTRITO

Os limites das propriedades, assim como os limites das suas respectivas áreas de Reserva Legal – RLs e Áreas de Proteção Permanentes – APPs, foram obtidos na base de dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural – SICAR. As propriedades foram, então, classificadas segundo o tamanho dos módulos fiscais de cada município. Tal classificação foi definida segundo a Lei Federal nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, que classifica como ,minifúndio, pequenas, médias e grandes propriedades, respectivamente, como os imóveis rurais cujas áreas sejam [< 1], [≤ 4], [$>4 \cap \leq 15$], [>15] módulos fiscais. O tamanho dos módulos fiscais do Estado, definido em 2013 pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, varia entre 70 e 100 ha por município.

Além destes dados, também foi utilizada a espacialização das Unidades de Conservação – UCs, fornecidas pelo Cadastro Nacional de Unidades de Conservação – CNUC. Estes dados incluem tanto as Unidades de Proteção Integral, aquelas em que é admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, quanto as Unidades de Uso Sustentável, que buscam compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais.

Além destes dados, foram utilizados as delimitações das áreas indígenas oriundo da Fundação Nacional do Índio - FUNAI, em que abrange áreas regularizadas, homologadas, declaradas, delimitadas e áreas em estudos.

2.2.5 MORBIDADES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

Os registros de morbidades causadas por doenças respiratórias e o valor total dos atendimentos e internações é fornecido pelo próprio Sistema Único de Saúde – SUS, no seu sistema de informações (DATASUS/TABNET). O número de internações e o seu valor total foram buscados na opção geral por local de residência (a partir de 2008), filtrados apenas para doenças do aparelho respiratório (capítulo CID-10, categoria X) e discriminados segundo o município e o ano/mês de ocorrência.

2.3 INFERÊNCIA GEOGRÁFICA

A extensão das queimadas e incêndios (agrícolas e florestais) foi quantificada a partir do mapeamento das queimadas, feito pelo grupo TREES/INPE e disponível em formato matricial para os dois anos em questão. Estas áreas foram convertidas em polígonos e, posteriormente, contrastadas com: (1) o mapa temático de uso do solo (TerraClass), também convertido em polígonos; (2) o mapa de densidade de carbono na biomassa viva acima do solo – formato tesselação; (3) dados vetoriais das APPs, RLs, tipos de propriedades e UCs; (4) registros de morbidades por doenças respiratórias. Todas as ontologias e detalhes sobre os modelos formais utilizados no processo de inferência geográfica estão apresentados na Tabela 01, a seguir.

Tabela 1 - Ontologias e demais definições a serem usadas no processo de representação computacional deste estudo.

| Ontologia | Modelo Formal | Estrutura | Resolução | Tempo | Fonte |
|---|----------------------|----------------------|------------------|--------------|------------------------|
| Mapa das cicatrizes de incêndios | Geo-campo | Tesselação | 250 m | 2008 a 2012 | TREES/INPE |
| Mapa de densidade de carbono na biomassa viva acima do solo | Geo-campo | Tesselação | 30 m | 2000 a 2010 | Baccini et al. 2015 |
| Mapa temático das classes de uso do solo | Geo-campo | Tesselação | 30 m | 2010 e 2012 | TerraClass (INPE/CRA)* |
| Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) | Geo-objeto | Polígonos adjacentes | Multi-escala | 2017 | CNUC/MMA e FUNAI* |

Continuação da Tabela 2 - Ontologias e demais definições a serem usadas no processo de representação computacional deste estudo.

| Ontologia | Modelo Formal | Estrutura | Resolução | Tempo | Fonte |
|---|----------------------|----------------------|------------------|--------------|---|
| Propriedades (limites, RLs e APPs) | Geo-objeto | Polígonos adjacentes | Multi-escala | 2017 | SICAR* |
| Municípios | Geo-objeto | Polígonos adjacentes | - | 2015 | IBGE* |
| Definição dos Módulos Rurais | Convencional | Tabela | - | 2013 | INCRA* |
| Registros de morbidades respiratórias por município | Convencional | Tabela | - | 2010 e 2012 | DATASUS* |
| Índices para a atribuição de eventos à queima | Convencional | Tabela | - | 2004 | Mendonça et al. 2004 |
| Valor econômico das perdas ou custos (R\$/un) | Convencional | Tabela | - | 2017 | Mendonça et al. 2004, DATASUS e pesquisa de mercado |

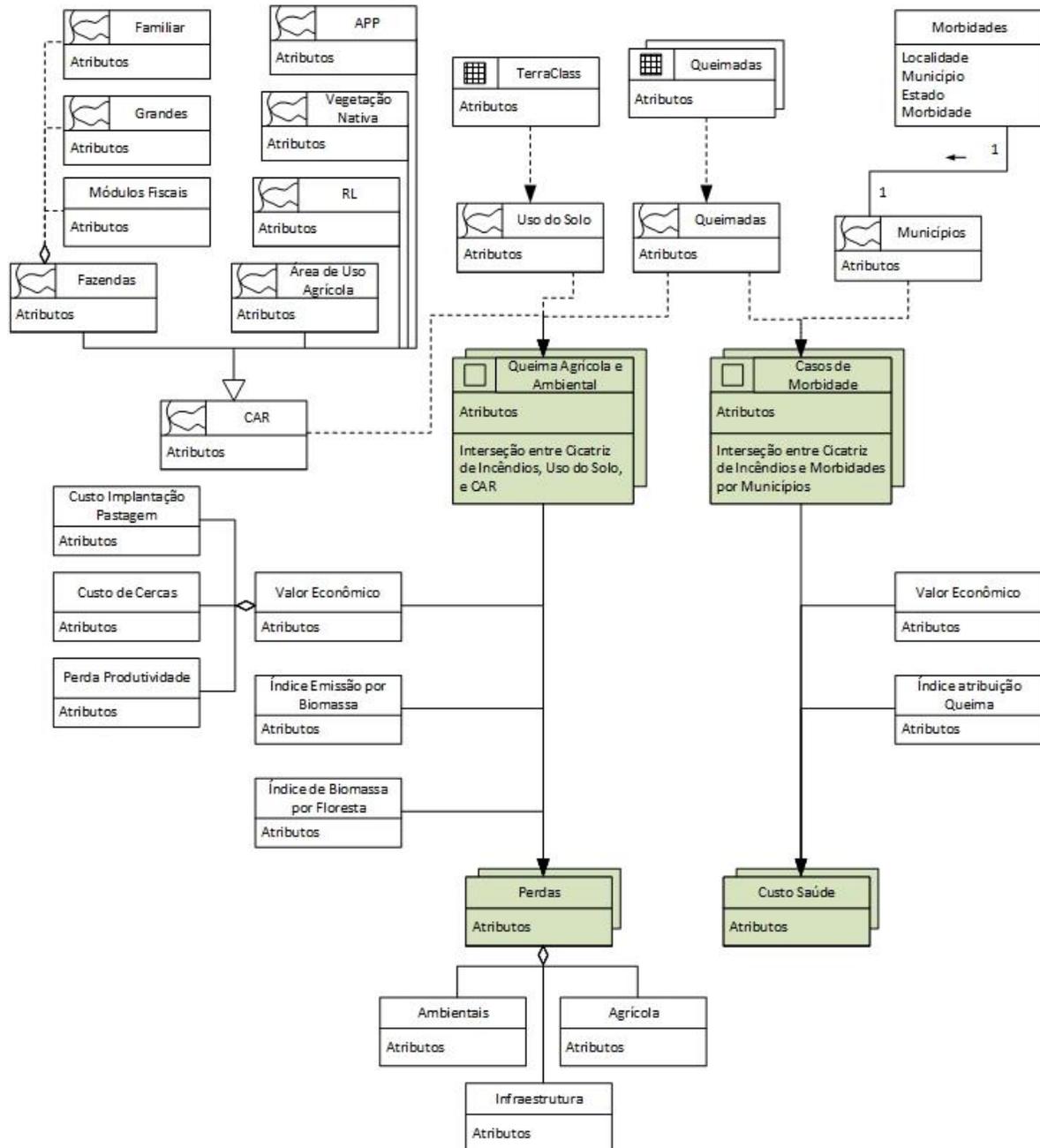
* disponíveis respectivamente em: <www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php>, <mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>, <www.car.gov.br/publico/imoveis/index>, <www.incra.gov.br/tabela-modulo-fiscal>, <mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais> e <www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>. Além disto, todas as tabelas utilizadas estão disponíveis no banco de dados junto ao material suplementar.

Conforme o modelo teórico OMT-G (Figura 1), os dados de morbidades, obtidos em formato convencional, foram atribuídos ao geo-objeto municípios por meio da chave geo-código, de modo a também comportar-se como um geo-objeto. Estando todos os geo-campos e geo-objetos em formato vetorial, combinações e cruzamentos de dados por meio de operações geométricas e topológicas efetuadas para a obtenção dos novos dados geográficos: (1) área queimadas por município, categoria de uso do solo e tipo de propriedade e (2) estimativa espacial da perda de biomassa, (3) número de morbidades respiratórias nos municípios atingidos pelas queimadas. Apenas o mapa de biomassa permaneceu no formato tesselação. Assim, as operações baseadas nestes dados foram realizadas em uma grade regular de 30 x 30 m.

A conversão dos arquivos e as operações geométricas e topológicas foram realizadas em um Sistema de Informações Geográficas – SIG, desenvolvido em respeito às normas internacionais da OGC – *Open Geospatial Consortium*. Tanto

o SIG quanto os dados foram previamente configurados/convertidos para o Sistema de Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator - UTM19S, Datum SIRGAS2000.

Figura 1 - Modelo OMT-G envolvido na quantificação e valoração de perdas pelo uso do fogo no Estado do Acre.



2.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir do processo de inferência espacial (fluxo do OMT-G da Figura 1 até as caixas destacadas em cor verde), nós buscamos responder às principais perguntas deste trabalho: (1) Qual é a dimensão dos danos e dos custos econômicos associados ao uso desordenado do fogo no Estado do Acre?; (2) Como é o padrão de espacialização de tais danos e custos?; e (3) Existe variação significativa entre os padrões e os custos em diferentes anos segundo as variações climáticas? Visando responder esta última pergunta, as análises dos custos foram realizadas para os anos de 2010 (ano de seca) e 2012 (ano regular).

Uma vez determinadas as áreas florestais e agrícolas atingidas pelo fogo, foi necessário distinguir entre as áreas atingidas por incêndios e as atingidas por queimadas. Nas propriedades rurais, as principais perdas são causadas quando as queimadas saem de controle e se espalham acidentalmente para pastagens, cultivos e florestas adjacentes (DE MENDONÇA et al., 2004). Nós consideramos que 45% áreas agrícolas identificadas no mapa das cicatrizes de queima foram causadas por incêndios, conforme coeficiente estimado por De Mendonça et al. (2004). Da mesma forma, apenas uma fração das morbidades respiratórias pode ser atribuída à fumaça das queimadas e incêndios. Motta e colaboradores (2004) estimaram que este coeficiente varia de 3% a 8% do total de internações.

O custo relacionado à perda de produção e à recuperação dos cultivos agrícolas atingidos por incêndios foi estimado através de uma pesquisa de mercado e atualização de valores disponíveis na literatura. Foi utilizado o valor de R\$ 2.108,00 como custo de implantação de agricultura e de R\$ 850,00 para implantação de pastagem, conforme obtido por TOWNSEND (2010). Custos de recomposição florestal não foram considerados por não haver o costume de tal prática na região.

O impacto dos incêndios florestais foi estimado pela perda de valor econômico da madeira que poderia ser comercializada, assim como estimado por De Mendonça et al. (2004). Nesta abordagem, multiplicamos a área florestal total afetada pelo

fogo (desconsiderando as áreas classificadas como regeneração) perda de valor comercial de árvores adultas (U\$5 .ha⁻¹) estimada para um sítio incendiado em Paragominas, no Pará.

A valoração da perda de biomassa foi feita pela conversão do peso de um átomo de carbono para o peso da molecular do dióxido de carbono, o que implica em multiplicar a ACD perdida pelo fator de 3,67. O peso do dióxido de carbono potencialmente emitido (chamado de CO₂ equivalente) foi, então, multiplicado pelo seu preço no “mercado regulado” do Protocolo de Quioto nos anos estudados.

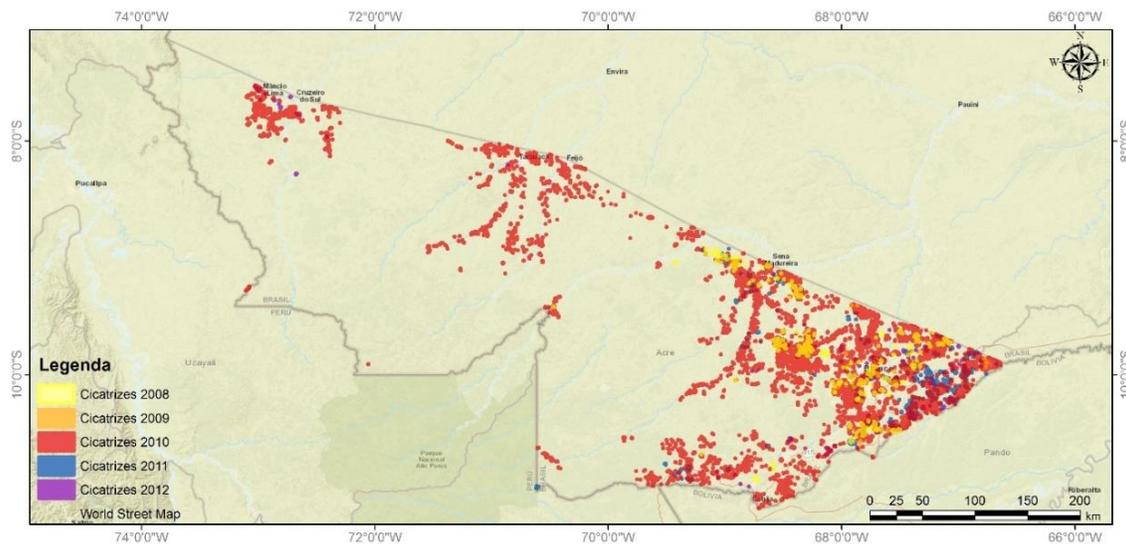
Para caracterizar o comprimento do período de seca, nós utilizamos dados dos pluviômetros das estações meteorológicas convencionais das cidades acreanas de Cruzeiro do Sul, Tauaracá e Rio Branco, todas pertencentes à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e bem distribuídas ao longo do Estado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUEIMA

Os eventos de queima (queimadas e incêndios) ocorridos no Estado do Acre de 2008 a 2012 se concentram nas proximidades dos principais centros urbanos (Rio Branco, Cruzeiro do Sul, Sena Madureira, Tauaracá, Frejó e Brasiléia), rodovias (BR-364, BR-317, AC-040 e AC-075) e hidrovias (rios Iaco, Muru, Acre, Envira).

Figura 2 - Distribuição espacial das cicatrizes de queima detectadas de 2008 a 2012. O contorno dos polígonos foi aumentado para melhorar a visualização.



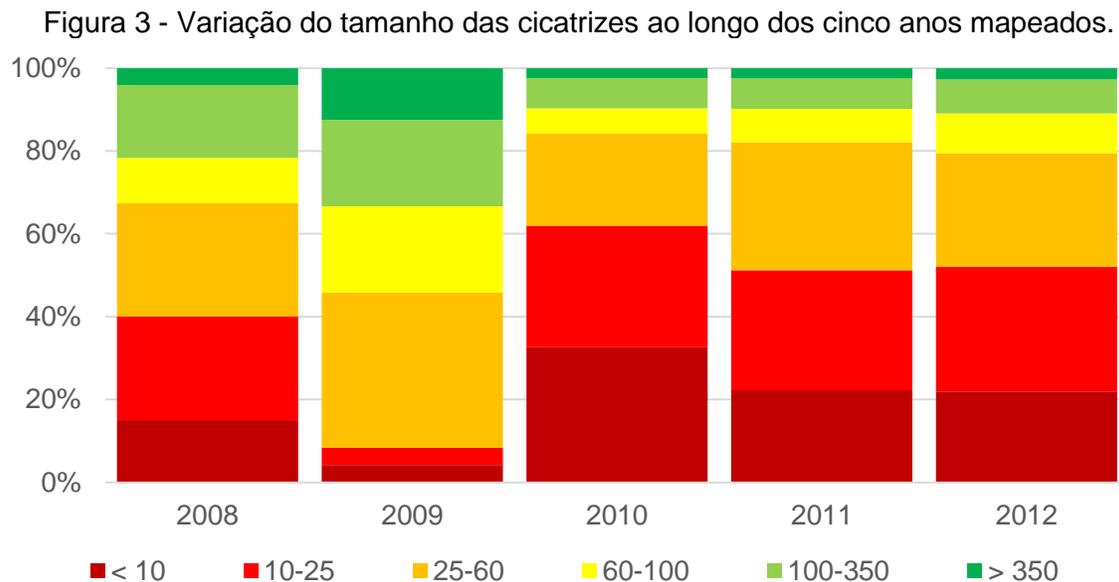
Houveram novas cicatrizes de queima em todos cinco anos mapeados (Tabela 2). Entretanto, a quantidade de polígonos variou substancialmente (24-3521). O tamanho dos polígonos também apresentou grande variação anual: a maior variação (desvio padrão) é de 253,88 ha em 2010, enquanto a menor variação é de 127,63 ha em 2011. O ano de 2010 apresentou a maior quantidade de polígonos e área total queimada, respectivamente, 11 a 147 e 9 a 61 vezes maior que nos demais anos. O maior polígono encontrado possui mais de 10.000 ha e também ocorreu em 2010. Nos demais anos, o maior polígono encontrado apresentou apenas 1.640,58 ha.

Tabela 3. Resumo estatístico das áreas queimadas ao longo de cinco anos no Estado do Acre, segundo o mapeamento feito pelo grupo TRESS/INPE.

| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Quantidade de polígonos | 267 | 24 | 3521 | 324 | 146 |
| Total (ha) | 21885,53 | 3333,34 | 205680,22 | 17852,35 | 9005,94 |
| Média (ha.polígono⁻¹) | 81,97 | 138,89 | 58,42 | 55,10 | 61,68 |
| Desvio padrão (ha) | 150,03 | 137,87 | 253,88 | 127,63 | 138,82 |
| Maior polígono (ha) | 1640,58 | 503,25 | 10434,11 | 1690,10 | 1074,48 |
| Menor polígono (ha) | 7,37 | 7,40 | 0,00 | 0,09 | 0,83 |

Cabe ressaltar que o produto de cicatrizes de queima do TREES/INPE foi gerado para toda a Amazônia com resolução de 250 m, o que determina que a menor área mapeada como cicatriz tenha 6,25 ha. Porém, ao limitar a observação apenas para o limite geográfico do Acre, as cicatrizes existentes nos limites estaduais foram cortadas, diminuindo o tamanho destas e originando valores menores que 6,25 ha.

Em todos os anos avaliados, existe uma dominância de cicatrizes com tamanhos entre 10 e 60 ha. Entretanto, nos anos de 2009 e 2010, houve respectivamente uma queda e um aumento da ocorrência de polígonos de queima menores que 10 hectares (Figura 3).



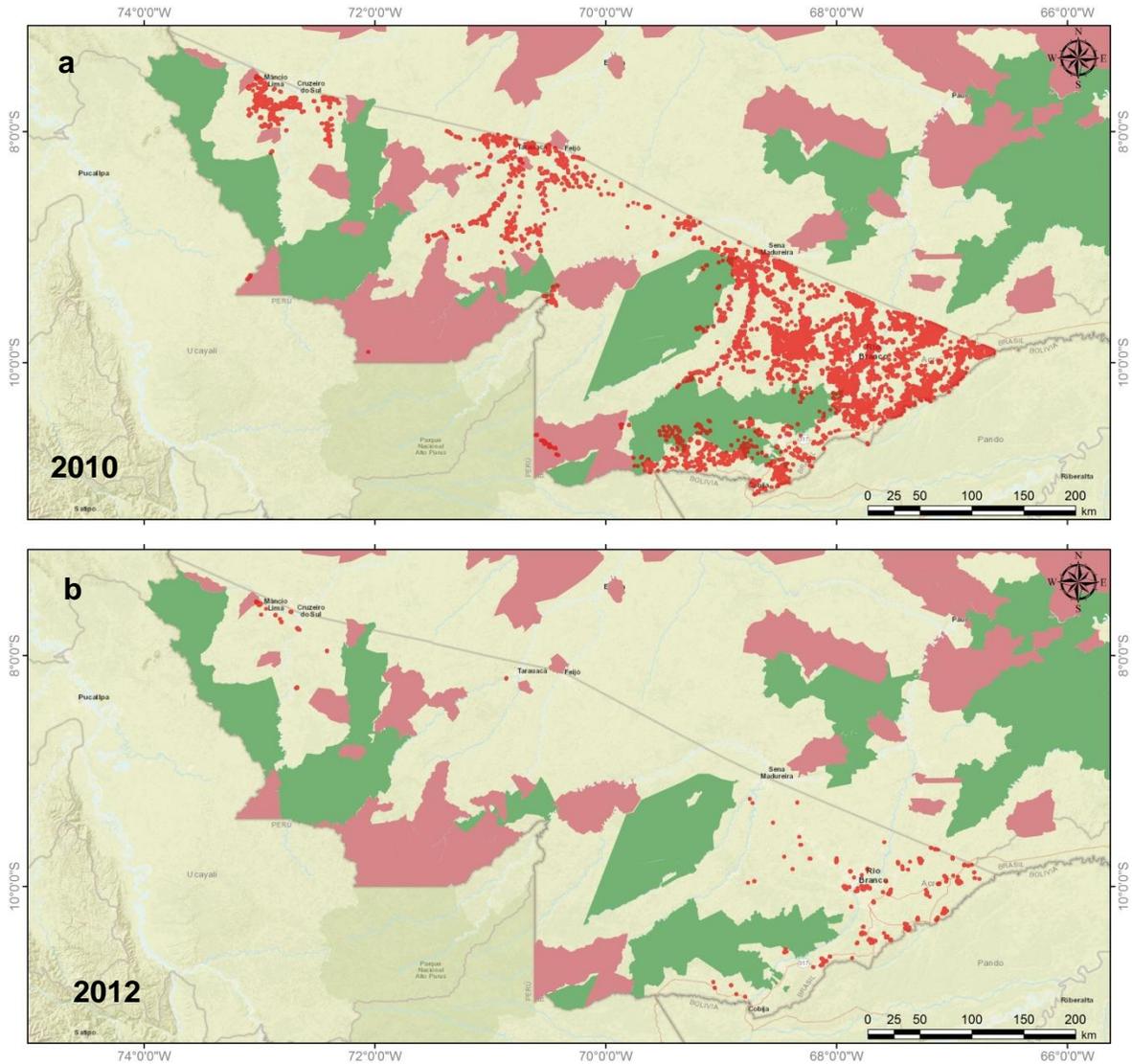
As discrepâncias apresentadas pelo mapeamento de cicatrizes no ano 2010 são atribuídas à seca severa e generalizada que ocorreu naquele ano em virtude do fenômeno El Niño Oscilação-Sul (ENSO), intensificado pelo aquecimento do Oceano Atlântico Norte na região tropical (MARENGO et al., 2011, LEWIS et al., 2011). Considerando que o Acre possui 4 meses secos (aqueles com média mensal abaixo de 100 mm), 3.521 cicatrizes de queima em 2010, totalizando 205.680,22 ha, equivale a ~28 eventos de queima por dia e uma média 58 ha.polígono⁻¹. Enquanto isso, no ano de 2012, exemplo de um normal

climatologicamente (com 3 meses secos), apenas 146 cicatrizes foram detectadas, totalizando 9.005,94 ha, o que equivale a aproximadamente 1,6 eventos de queima por dia e uma média $62 \text{ ha} \cdot \text{polígono}^{-1}$.

Além disso, em 2010, os polígonos de queima se localizaram mais distantes das principais estradas do que em 2012. A distância média das cicatrizes e as principais estradas foi de 10 km ($\pm 8,4$) em 2010 e de 4,8 km ($\pm 4,1$) em 2012. Não houve considerável variação quanto à distância de rios e corpos d'água.

A distribuição espacial dos polígonos de queima apresentou um comportamento semelhante em ambos os anos (2010 e 2012), com a presença de focos na região de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul (Figura 4). Entretanto, 2% das queimadas ocorridas no ano de 2010 (4.563 ha) ocorreram em UCs, enquanto não foram encontradas cicatrizes em UCs no ano de 2012. Destes 2%, menos de 1% ocorreram na área de proteção integral Parna Serra do Divisor, enquanto o restante ocorreu nas áreas de uso sustentável Resex Chico Mendes (3.472,57 ha), Resex Cazumbá-Iracema (776,48 ha), Flona Santa Rosa dos Purus (186,69 ha) e Arie Seringal Nova Esperança (125,71 ha).

Figura 4 – Localização das cicatrizes de queima mapeadas (vermelho) em 2010 (a) e 2012 (b), Unidades de Conservação (verde) e Terras Indígenas (rosa).



Como citado, as maiores áreas queimadas ocorreram em reservas extrativistas. De acordo com o MMA (2016), estas áreas são utilizadas por populações tradicionais, que exercem suas atividades baseadas no extrativismo, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte.

A Resex Chico Mendes – que apresentou aproximadamente 75% da área queimada em UCs de uso sustentável – abrange 970.570 ha, compreendendo parte dos municípios de Brasiléia, Epitaciolândia, Assis Brasil, Sena Madureira, Rio Branco, Capixaba e Xapuri (ISA, 2017). Esta é a UC que apresenta maior

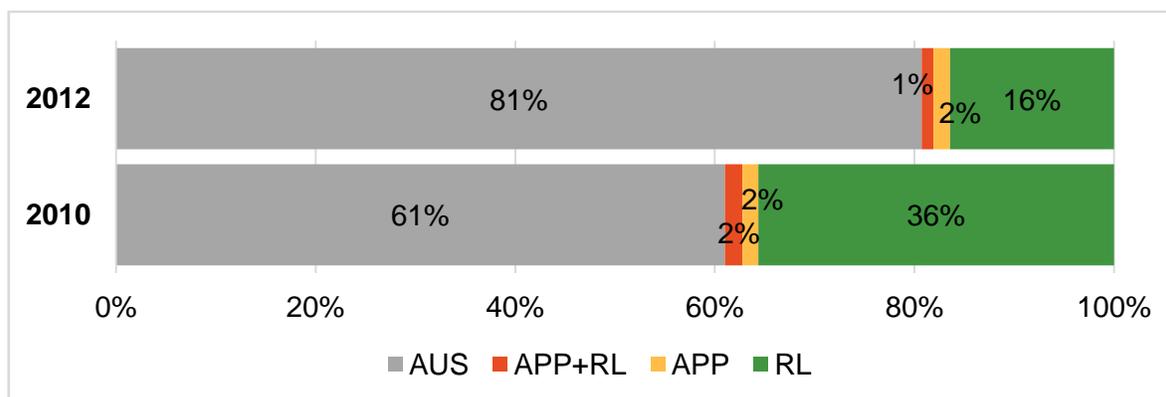
proximidade com a capital estadual e as principais estradas que ligam o Acre ao restante do país (Figura 4).

Em relação às Terras Indígenas, apenas 1% e menos de 1% da área total queimada ocorreram nestas áreas, respectivamente, em 2010 e 2012. As principais Terras Indígenas afetadas foram a Alto Rio Purus; Cabeceira do Rio Acre; Igarapé do Caucho; Kampa do Rio Amonea; Kampa e Isolados do Rio Envira; Katukina/Kaxinawá; Kaxinawá Colônia Vinte e Sete; Kaxinawá do Rio Humaitá; Mamoadate; e Poyanawa.

Sabendo que cerca de 3% das queimadas no ano de El Niño ocorreram em áreas de uso restrito, temos que 97% das áreas queimadas ocorreram em áreas privadas. Das áreas privadas queimadas em 2010, 36% ocorreram em minifúndios, 14% em pequenas, 5% em médias e 45% em grandes propriedades. Em 2012, as proporções foram respectivamente 32%, 11%, 13% e 44%. A maior diferença foi encontrada na classe de médias propriedades, com maior proporção em 2010.

Dentro das propriedades, cerca de 40% e 19% dos focos ocorreram em RLs e APPs, respectivamente, em 2010 e 2012 (Figura 5).

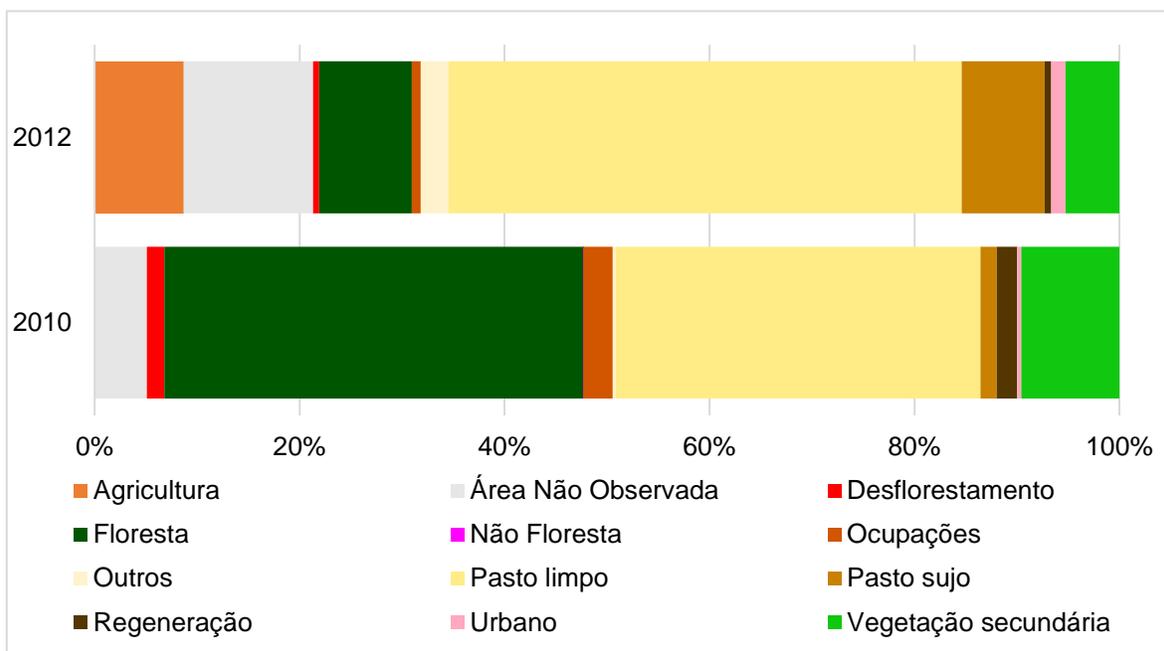
Figura 5 – Porcentagem das áreas queimadas em áreas restritas.



Com relação aos tipos de uso do solo, no ano regular de 2012, 60% das queimadas ocorreram em pastagens e 9% em florestas (floresta + vegetação secundária). Enquanto isso, no ano atípico de 2010, a porcentagem em áreas

florestais saltou para 41% (Figura 6). Queimadas em áreas de agricultura só foram registradas em 2012. Um hipótese que explicaria tal observação reside na possibilidade de a população saber que nos anos marcados por fortes secas é muito difícil manter o controle de queimadas agrícolas e, por isso, elas não fizeram uso do fogo em 2010. Diante desta hipótese, as cicatrizes registradas em áreas de agricultura seriam indicativo de queima controlada para manejo agrícola. Entretanto, tal observação também pode indicar problemas nas análises ou nos dados utilizados neste trabalho. Existe a possibilidade de a classe agricultura do TerraClass não englobar todos os cultivos agrícolas do Estado e/ou o nosso método de detecção de cicatrizes de queima ser falho para esta classe de uso do solo.

Figura 6 – Porcentagem das áreas queimadas representada por cada classe de uso do solo (TerraClass) em 2010 e 2012.



3.2 DANOS E CUSTOS

Considerando que os danos em cercas (perda parcial) ocorrem apenas em áreas de pastagem e agricultura, nós estimamos a perda de 5.354 km de cerca em 2010 e 518 km em 2012. Conseqüentemente, os custos de recomposição seriam da

ordem de R\$ 2,6 milhões no ano de 2010 e de R\$ 249 mil em 2012. Somando estes custos, aos custos de implantação e perda de produção, nós estimamos um custo total de R\$ 45 milhões em 2010 e 6 milhões em 2012 (Tabela 3).

Tabela 4 – Custos relacionados aos incêndios em áreas de agricultura e pastagem (45% da área total queimada nestas classes) e florestais nos anos de 2010 e 2012.

| USO | TIPO DE CUSTO | 2010 | 2012 |
|--------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Agricultura | cerca | - | R\$ 9.462,84 |
| | implantação | - | R\$ 740.588,10 |
| | perda produção | - | R\$ 199.082,82 |
| Pastagem | cerca | R\$ 2.570.248,83 | R\$ 317.098,61 |
| | implantação | R\$ 29.262.475,88 | R\$ 4.244.975,01 |
| | perda produção | R\$ 15.875.753,83 | R\$ 1.087.539,02 |
| Floresta | implantação | - | - |
| | perda produção | R\$ 302.767,99 | R\$ 3.859,32 |
| TOTAL | | R\$ 48.011.246,52 | R\$ 6.602.605,73 |

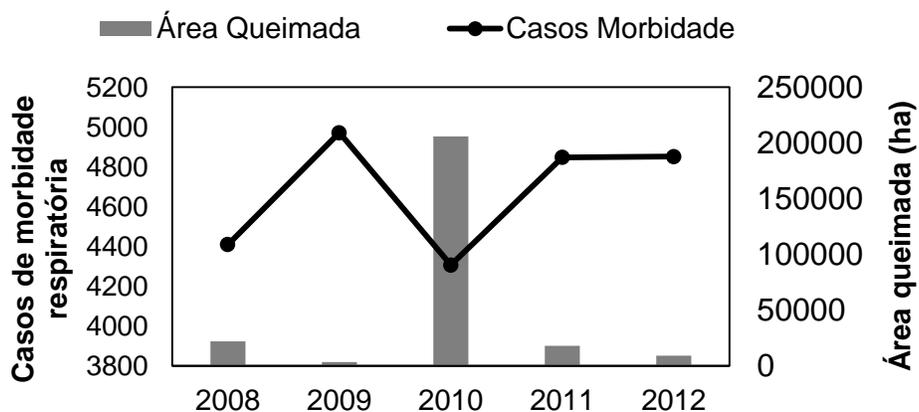
Aproximadamente 18×10^6 MgC foram consumidos pelo fogo em 2010, enquanto apenas 338×10^3 MgC foram consumidos em 2012 (Tabela 4). Se toda esta biomassa fosse utilizada para geração de energia, 1.648 e 16 MW seriam gerados respectivamente em 2010 e 2012.

Tabela 5 – Impactos das queimadas nos anos de 2010 e 2012, estimados em área, biomassa e CO₂ equivalente por classe de uso do solo.

| Usos | Área (ha) | | Biomassa (MgC) | | CO₂ equivalente (MgCO₂) | |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------------------|---------------|--|-----------------|
| | 2010 | 2012 | 2010 | 2012 | 2010 | 2012 |
| Floresta | 84.102 | 817 | 13.520 | 131 | 49.621 | 481,91 |
| Vegetação Secundária | 23.802 | 530 | 2.864 | 63 | 10.511 | 234,06 |
| Pasto | 76.503 | 5.241 | 2.092 | 143 | 7.679 | 526,05 |
| Agricultura | 0 | 781 | 0 | 0,95 | 0 | 3,47 |
| TOTAL | 184.407 | 7.369 | 18.477 | 337,95 | 67.811 | 1.245,49 |

Não foi encontrada uma clara relação temporal nem espacial entre o número de casos de morbidade respiratória e a área total queimada, como, por exemplo, relação segundo o município de moradia e considerando somente os casos de morbidade registrados nos meses secos. Contrariando o esperado, o ano 2010 – ano com maior área total queimada – foi aquele que apresentou o menor número total de casos de morbidade respiratória (Figura 7). Os trabalhos que encontraram relação positiva entre fogo e casos de morbidade respiratória utilizaram focos de calor, o que possibilitou realizar comparações mensais (DE MENDONÇA et al., 2004; ARAGÃO et al., 2016).

Figura 7 – Número total de casos de morbidade respiratória e área total queimada nos anos de 2008 a 2012.



Os custo das internações atribuídas à fumaça das queimadas e 2012 variaram respectivamente de R\$ 90.231,00 (8%) a R\$ 240.616,00 (13%) em 2010 e de R\$ 110.778,00 a R\$ 295.409,00 em 2012.

3.3 INCERTEZAS

Sabe-se que diversas são as incertezas consideradas e propagadas na valoração dos custos ambientais. Apesar de o presente estudo ter trabalhado com estimativas de biomassa e custos bastante conservadores, as incertezas (e.g. desvio padrão) precisam ser calculadas para melhorar a confiabilidade das estimativas apresentadas. Assim, trabalhos futuros devem incluir, sobretudo, (1)

quantificação da biomassa viva acima do solo dos principais cultivos agrícolas do Estado e (2) pesquisas de mercado e entrevistas em campo para determinar o desvio padrão do custos.

As incertezas do mapa de biomassa (BACCINI et al., 2015) também precisam trabalhadas. Este mapeamento é o melhor existente entre os mapas de biomassa existentes para a Amazônia, apresentando valores de biomassa satisfatórios quando grandes áreas são analisadas e superestimando, entretanto, os valores em florestas degradadas (LONGO et al., 2016). Neste ponto reside uma das limitações deste trabalho, já que os polígonos de queima, onde são calculadas as perdas, podem ser recortes de áreas degradadas.

Outra grande limitação está relacionada com as perdas e custos não analisadas neste trabalho. Além de reduzir os estoques de carbono na biomassa, os incêndios florestais afetam negativamente outros serviços ambientais, como redução da biodiversidade (BARLOW et al., 2016), aumento de processos erosivos, alteração do ciclo hidrológico (FERREIRA et al., 2010) e alteração do clima (ANDREAE et al., 2004). As emissões de gases do efeito estufa podem ainda impactar florestas distantes daquelas queimadas devido ao fato de induzirem diretamente o aquecimento global (ANDREAE et al., 2004; FEARNSSIDE, 2008). A mortalidade de árvores, as emissões de carbono e o aquecimento global têm uma potencial relação de retroalimentação positiva capaz de causar mais aquecimento, queimadas e mortalidade (FEARNSSIDE, 2008; LAURANCE & WILLIAMSON, 2001). A grande maioria destas perdas e consequentes custos não é de fácil mensuração. Muitos destes custos são imensuráveis.

4. CONCLUSÕES

No Acre, as queimadas normalmente se concentram em torno das principais cidades e malhas viárias, sendo que os polígonos de queima geralmente apresentaram até 60 ha. Entretanto, no ano de 2010, quando ocorreu uma forte seca em todo o Estado, a área afetada pelos incêndios florestais foi cerca de 4,5

vezes maior do que em 2012 – um ano de chuva regular. Além disso, as queimadas de difundiram para locais mais distantes das estradas, adentrando em áreas protegidas (UCs e TIs) e área de uso restrito (APPs e RLs). Os custos totais relacionados às queimadas em 2012 foram da ordem de algumas dezenas de milhões de reais, enquanto, no ano atípico de 2010, os custos podem chegar a bilhões. A dimensão dos danos e custos encontrados para o ano de 2010, que provavelmente se repetiu em outros anos de seca, como 2005 e 2015, indica a necessidade do planejamento e execução de políticas públicas voltadas para a prevenção e combate da queimadas no Estado do Acre, com ênfase especial para os anos com previsão de déficit pluviométrico. Através, sobretudo, de ações preventivas, O Estado poderia tirar proveito e colaborar com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei Federal nº 12.187/2009, que visa incentivar o desenvolvimento e aprimoramento das ações de mitigação no Brasil, contribuindo com o esforço mundial de redução das emissões de gases de efeito estufa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira. Produção de Frutas no Brasil**. São Paulo: FNP Consultoria, 2012.

ALMEIDA, C. A. DE; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; et al. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.

ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; GLOOR, M.; et al. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, n. 10, p. 1739–1753, 2015.

ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; et al. Smoking Rain Clouds over the Amazon. **Science**, v. 303, n. 5662, p. 1337–1342, 2004.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; et al. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, 2007.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MARENGO, J. A.; COX, P. M.; et al. Assessing the Influence of Climate Extremes on Ecosystems and Human Health in Southwestern Amazon Supported by the PULSE-Brazil Platform. **American Journal of Climate Change**, v. 5, n. 3, p. 399–416, 2016.

BACCINI, A.; GOETZ, S. J.; WALKER, W. S.; et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 3, p. 182–185, 2012.

BACCINI, A.; WALKER, W.; CARVAHLO, L.; et al. Tropical forests are a net carbon source based on new measurements of gain and loss. In review. Disponível em: <http://data.globalforestwatch.org/datasets/8f93a6f94a414f9588ce4657a39c59ff_1>. Acesso em: 1/1/2017.

BARLOW, J.; LENNOX, G. D.; FERREIRA, J.; et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, p. 1–16, 2016.

BARLOW, J.; PERES, C. A.; LAGAN, B. O.; HAUGAASEN, T. Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. **Ecology Letters**, v. 6, p. 6–8, 2003.

BRANDO, P. M.; BALCH, J. K.; NEPSTAD, D. C.; et al. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 17, p. 6347–52, 2014.

DURACK, P. J.; WIJFFELS, S. E.; MATEAR, R. J. Ocean Salinities Reveal Strong Global Water Cycle Intensification During 1950 to 2000. **Science**, v. 336, n. 6080, p. 455–458, 2012.

FEARNSIDE, P. M. Mudanças Climáticas globais e a floresta amazônica. In: MSB (Org.); **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**, 2008. São Paulo: RiMA Editora.

FERNANDES, F. D.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VIEIRA, E. A.; et al. Produtividade da biomassa da parte aérea de genótipos de mandioca no Distrito Federal. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/748238/produtividade-da-biomassa-da-parte-aerea-de-genotipos-de-mandioca-no-distrito-federal-2009>>. .

FERREIRA, A. D.; COELHO, C.; SILVA, J. S.; ESTEVES, T. Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico. In: F. Moreira; F. X. Catry; J. S. Silva; F. Rego (Orgs.); **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas**. p.21–48, 2010.

GLOOR, M.; BRIENEN, R. J. W.; GALBRAITH, D.; et al. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, p. 1729–1733, 2013.

IBGE. Produção Agrícola Municipal 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2015/default.shtm>>. .

ISA. RESEX Chico Mendes. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org/uc/2024>>. .

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. Fire in the Brazilian Amazon. **Oecologia**, , n. 113, p. 415–427, 1998.

LAURANCE, W. F.; BRUCE WILLIAMSON, G. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. **Conservation Biology**, v. 15, n. 6, p. 1529–1535, 2001.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 554–554, 2011.

LI, W.; FU, R.; DICKINSON, R. E. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, n. D2, p. D02111, 2006.

LONGO, M.; KELLER, M.; DOS-SANTOS, M. N.; et al. Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 30, n. 11, p. 1639–1660, 2016.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, 2016.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 12, p. 1–5, 2011.

DE MENDONÇA, M. J. C.; VERA DIAZ, M. D. C.; NEPSTAD, D.; et al. The economic cost of the use of fire in the Amazon. **Ecological Economics**, v. 49, n. 1, p. 89–105, 2004.

MMA. Unidades de Proteção Integral. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/categorias>>. Acesso em: 6/10/2017.

RODRIGUES, M. A. **Dinâmica espacial do desmatamento no Estado do Acre entre 1999 e 2010: o papel do zoneamento ecológico econômico**, 2014. Unicamp.

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; DA SILVA, P. R. F.; et al. Estimativa de biomassa da parte aérea de milho através de imagens digitais e sensor de vegetação. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo. **Anais...** . p.1067–1070, 2016. Bento Gonçalves - RS.