



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

VANEZA BARRETO PEREIRA

**INCÊNDIOS FLORESTAIS EM RORAIMA: ESTIMATIVA DA ÁREA IMPACTADA E  
DESTINO DO CARBONO AFETADO (2000-2010)**

Boa Vista, RR

2012

VANEZA BARRETO PEREIRA

**INCÊNDIOS FLORESTAIS EM RORAIMA: ESTIMATIVA DA ÁREA IMPACTADA E  
DESTINO DO CARBONO AFETADO (2000-2010)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal da Roraima como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais.

Orientador: Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa

Coorientador: Dr. Stélio Soares Tavares Jr.

BOA VISTA, RR

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

P436i Pereira, Vaneza Barreto

Incêndios florestais em Roraima: estimativa da área impactada e destino do carbono afetado (2000-2010) / Vaneza Barreto Pereira. -- Boa Vista, 2012.

60 p. ; il.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa.

Co-orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Junior.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Recursos Naturais.

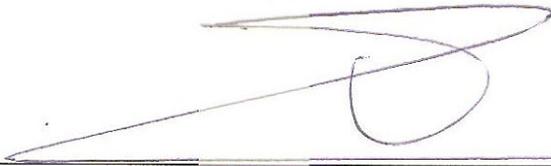
1 – Florestas. 2 – Incêndios. 3 – Emissão de carbono. 4 – Efeito estufa. 5 – Roraima. I - Título. II – Barbosa, Reinaldo Imbrozio (orientador).

CDU 504.03 (811.4)

**VANEZA BARRETO PEREIRA**

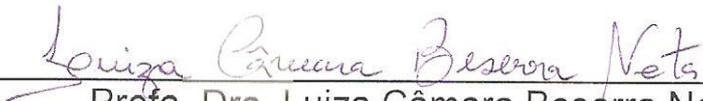
**Incêndios florestais em Roraima: estimativa da área impactada e destino do carbono afetado (2000-2010)**

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 31 de agosto de 2012 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:



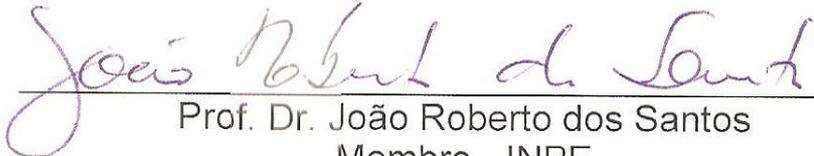
---

Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa  
Orientador - PRONAT



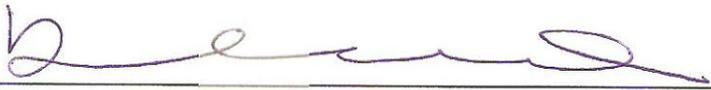
---

Profa. Dra. Luiza Câmara Beserra Neta  
Membro - Universidade Federal de Roraima



---

Prof. Dr. João Roberto dos Santos  
Membro - INPE



---

Prof. Dr. Artur Rosa Filho  
Membro - Universidade Federal de Roraima

À Julia e Rafael

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PRONAT), Universidade Federal de Roraima (UFRR) por oferecer um curso dessa natureza;

À CAPES pela bolsa de auxílio à pesquisa;

Ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), através do projeto institucional PPI/INPA - PRJ 012/18 (Ecologia e Manejo dos Recursos Naturais das Savanas de Roraima), pelo espaço que me foi concedido para a realização da pesquisa, pelo apoio, incentivo, vivência e aprendizado que obtive frequentando a instituição;

Um especial agradecimento ao Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa, meu orientador. Obrigado pelos ensinamentos, paciência, estímulo. E também pelo entusiasmo contagiante quando o assunto é Ciência. Obrigado também por acreditar e por ter me dado oportunidade de participar de um grupo de trabalho que busca a excelência;

Aos colegas do curso, pelo companheirismo, amizade e aprendizado, em especial para as colegas Lorenza, Izabelle e Priscila, pelos muitos momentos que passamos juntas, tentando resolver as questões do curso e da vida;

Aos colegas pesquisadores do INPA, pela constante troca de informações e discussão de alto nível;

Aos professores pela dedicação e competência;

Aos amigos, por acompanhar essa etapa e sempre se mostrarem solidários e prontos a ajudar no que fosse preciso;

À minha bike, que nos momentos de confusão de pensamentos, bastava dar uma “pedalada” para que os pensamentos se encaixassem de forma clara e coerente;

À minha família pela compreensão e estímulo.

E por fim, à Deus, por me permitir entender os incríveis mecanismos que mantém a vida no planeta Terra.

## RESUMO

Incêndios florestais emitem gases do efeito estufa que contribuem para o aquecimento global e para as mudanças climáticas. A base dos principais gases que provocam o efeito estufa é o carbono, objeto deste estudo e presente na biomassa florestal. O Brasil possui a maior floresta tropical do mundo, a Amazônia. Contudo, a quantificação das emissões de gases do efeito estufa por incêndios florestais são difíceis de mensurar, havendo poucos estudos para a região. Roraima é um dos estados amazônicos que possui um dos melhores históricos de incêndios florestais, o que possibilita a sua quantificação. O objetivo deste estudo foi o de entender a dinâmica espaço-temporal dos incêndios florestais ocorridos em Roraima no período de 2000-2010. Para tanto, o trabalho verificou (i) a área impactada pelos incêndios neste período; (ii) a relação entre área impactada e os eventos climáticos (El Niño, La Niña e anos normais); (iii) os tipos florestais mais afetadas pelos fogos e (iv) o destino do carbono afetado por incêndios florestais. Foram utilizados mosaicos LANDSAT TM/ETM+ compostos por oito cenas em cada ano amostrado. A data das cenas foi preferencialmente escolhida entre abril e maio, meses que correspondem ao final do período seco em Roraima. Cada mosaico foi interpretado visualmente em uma escala de trabalho de 1:50.000. Foi adotado um protocolo de inspeção ao longo das principais estradas (BR 174, BR 210, BR 401) para verificar os desmatamentos (i) nas áreas de colonização, e (ii) em toda a borda das savanas em contato com a floresta. As áreas incendiadas em um dado ano foram manualmente poligonadas após um sistema de checagem entre os anos anterior e posterior para evitar a construção de polígonos equivocados. Para a verificação dos tipos florestais impactados, utilizou-se o mapa de vegetação do Programa de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBio). Para calcular o destino do carbono afetado foram utilizados estudos sobre estoque de carbono e biomassa dos tipos florestais presentes em Roraima.

Palavras-chave: Fogo florestal, emissões de carbono, sensoriamento remoto, efeito estufa.

## ABSTRACT

Forest fires act as source of greenhouse gas emissions contributing to global warming and climate change. Carbon is the base of the main gases causing greenhouse effect, and it is present in forest biomass. Brazil has the largest tropical forest in the world, the Amazon. However, the quantification of greenhouse gas emissions by forest fires is difficult to measure, and there are few studies in Amazon region. Roraima is one of the Amazonian States that has a known history of fires, which enables their quantification. The objective of this study was to understand the spatio-temporal dynamics of carbon affected by forest fires occurred in Roraima among 2000-2010. In this sense, the work verified (i) the area impacted by fires in the period; (ii) the relationship between the area impacted and climatic events (El Niño, La Niña and normal years); (iii) the forest types more affected by fires and (iv) the fate of carbon affected by fires. Were used mosaics of LANDSAT TM/ETM+ composed of eight scenes each one by sampled year. The date of the scenes was preferably chosen between April and May, months that correspond to the end of the dry season in Roraima. Each mosaic was surveyed visually on a work scale of 1:50,000. It was adopted an inspection protocol along the main federal highways (BR 174, BR 210 and BR 401) to verify deforestation (i) in colonization areas, and (ii) on the border of savannas in contact with the forest. The areas burned in a given year were manually drawn after a system of checkpoints between the previous and subsequent year of construction to avoid build wrong polygon. To verification of forest types impacted, was used the vegetation map of the Programme for Conservation and Sustainable Use of Brazilian Biological Diversity, (PROBio). To calculate the fate of carbon affected were used studies on carbon stock and biomass of forest types in Roraima.

Keywords: forest fire, carbon emissions, remote sensing, greenhouse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização geográfica do Estado de Roraima, principais rodovias federais e grandes grupos de vegetação: (i) savanas - ocupando o nordeste do estado, (ii) campinas e campinaranas - no centro, ao longo do rio Branco e (iii) florestas (ecótonos, estacionais e ombrófilas) - espalhadas pelo restante do Estado	21
Figura 2 –	Distribuição espacial dos grandes grupos de vegetação de Roraima.....	22
Figura 3 –	Fonte de ignição do fogo com origem nos sistemas florestais antropizados.....	26
Figura 4 –	Cicatriz de incêndio florestal em sistemas antropizados.....	26
Figura 5 –	Fonte de ignição do fogo com origem nas Savanas.....	27
Figura 6 –	Classes e sub-classes criadas pelo Protocolo de detecção dos Incêndios Florestais.....	28
Figura 7 –	Polígonos de fogo gerados a partir dos <i>shapes</i> de desmatamento do PRODES / INPE.....	29
Figura 8 –	Fluxograma de atividades referente à etapa de quantificação de área afetada por incêndios florestais.....	30
Figura 9 –	Valores médios de precipitação para as três zonas climáticas presentes em Roraima (Aw – Boa Vista; Af – Fazenda Paraná; Am – Caracaraí); pouco número de anos (10-20) na série temporal de Caracaraí e Fazenda Paraná não denotam uma firme tendência para estas estações pluviométricas .....	32
Figura 10 –	Desenho representativo do cálculo de emissões carbono a partir do volume de biomassa.....	38
Figura 11 –	Distribuição espacial das áreas impactadas por fogos florestais em Roraima (2000 a 2010).....	41
Figura 12 –	Distribuição espacial dos incêndios florestais ocorridos em Roraima em anos com diferentes eventos climáticos (El Niño, La Nia e Normal); (a) distribuição espacial da área incendiada nos anos El Niño; (b) rea incendiada em anos La Nia e (c) anos sem eventos climáticos (Normal).....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Data das cenas utilizadas para composição do mosaico anual amostral.....	24
Tabela 2 –	Erros geométricos encontrados nas cenas utilizadas.....	25
Tabela 3 –	Média das precipitações no período seco (out-mar) entre os anos 2000-2010 para Roraima.....	32
Tabela 4 –	Biomassa e necromassa total acima e abaixo do solo ( $t\ ha^{-1}$ ) estimada para as fitofisionomias presentes em RR.....	35
Tabela 5 –	Biomassa e necromassa atingidas e transformadas pelo fogo...	36
Tabela 6 –	Concentração de carbono (%C) para as fitofisionomias presentes em Roraima.....	37
Tabela 7 –	Área e origem dos incêndios florestais em Roraima entre 2000-2010 distribuídos em anos Seco, Úmido e Normal (similar aos anos de El Niño, La Niña e Normal).....	39
Tabela 8 –	Numero e área média dos polígonos vetorizados por ano de observação.....	40
Tabela 9 –	Área ( $km^2$ ) anual dos incêndios florestais recorrentes em Roraima no período de 2000 a 2010.....	44
Tabela 10 –	Área anual por fitofisionomia afetada por incêndios florestais em Roraima.....	47
Tabela 11 –	Destino do carbono a partir dos incêndios florestais (grandes grupos) ocorridos em Roraima entre 2000-2010.....	49
Tabela 12 –	Carbono atingido por incêndios florestais em anos El Niño, La Niña e Normal.....	50

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ocorrência de El Niño nos últimos 130 anos.....	31
--	----

## LISTA DE SIGLAS

A – Floresta Ombrófila Aberta

CH<sub>4</sub> – Metano

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

COP – Conferências das Partes

D – Floresta Ombrófila Densa

DN – Número Digital. Em inglês Digital Number

F – Floresta Estacional semi-decidual

GEE – Gases de Efeito Estufa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

L – Campinarana

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NUPENERG – Núcleo de Pesquisas Energéticas

PROBio – Programa de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira

PRODES - Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite

S – Savana

SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia

T – Ecótono

T – Savana Estépica

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change

NOAA-AVHRR – National Oceanic and Atmospheric Administration / Advanced Very High Resolution Radiometer

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	20
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	20
3.1.1.	<b>Clima</b> .....	21
3.1.2	<b>Relevo</b> .....	21
3.1.3	<b>Vegetação</b> .....	22
3.2	METODOLOGIA.....	23
3.2.1	<b>Quantificação das áreas afetadas por incêndios florestais</b> .....	23
3.2.1.1	Detecção de áreas florestais incendiadas.....	25
3.2.2	<b>Associação dos incêndios aos eventos climáticos</b> .....	31
3.2.3	<b>Determinação dos tipos florestais mais impactados</b> .....	33
3.2.4	<b>Estimativa do destino do carbono</b> .....	33
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	39
4.1	ÁREA AFETADA POR INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	39
4.2	ASSOCIAÇÃO DOS INCÊNDIOS AOS EVENTOS CLIMÁTICOS.....	44
4.3	DETERMINAÇÃO DOS TIPOS FLORESTAIS MAIS IMPACTADOS.....	47
4.4	ESTIMATIVA DO DESTINO DO CARBONO.....	49
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	54
	<b>REFERENCIAS</b> .....	55

## 1 INTRODUÇÃO

Incêndios florestais vêm se tornando cada vez mais frequentes na Amazônia, provocando mudanças significativas na estrutura original do ecossistema que, por sua vez, ocasionam perda da diversidade biológica e redução da biomassa florestal associada à emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera (KAUFFMAN 1991; COCHRANE e SCHULZE, 1999; BARBOSA e FEARNSIDE, 1999; PERES, 1999; UHL et al., 1999; NEPSTAD et al., 1999a; GERWING, 2002; BARLOW et al., 2003). A maioria dos incêndios florestais na Amazônia é uma consequência direta da associação entre períodos de seca anormal e a atividade humana (BARLOW e PERES, 2004; NEPSTAD et al., 1999b). O fogo que escapa do controle dos locais de atividades humanas (desmatamento associado a queimadas) pode transformar-se rapidamente em incêndios florestais (COCHRANE e BARBER, 2009) que, por sua vez, podem ser potencializados em anos de evento climático El Niño (BARBOSA e FEARNSIDE, 1999; BARBOSA et al., 2004; ALENCAR et al., 2006). O El Niño é um fenômeno climático de caráter atmosférico-oceânico caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial. Este fenômeno provoca seca prolongada e fora do padrão, especialmente no norte da Amazônia.

Exemplos históricos da associação entre incêndios florestais e eventos de seca (El Niño) são relatados com frequência. Por exemplo, Willians et al. (2005) realizaram um exame histórico dos registros de precipitações sobre os trópicos da América do Sul para verificar o ano mais seco e constataram que 1926 foi o que apresentou os registros mais anômalos de precipitação, muito parecidos com os registros de 1997, ambos coincidindo com mega eventos El Niño. Willians e colaboradores também referiram-se ao ano 1912 como extremamente seco. Este foi um registro elencado por Koch-Grünberg (1917) e Knoch (1926) apud Willians et al. (2005), relatando uma estação extremamente seca naquele ano, em especial nas proximidades da fronteira entre Venezuela e Brasil. Knoche (1937), Sternberg (1968; 1987) apud Willians et al. (2005) discutem em seus trabalhos o ano de seca anômala de 1926, associando grandes incêndios e uma "grossa humareda" (grande fumaça) que prevaleceu na Venezuela e na Bacia do Rio Negro do Amazonas. Em Roraima, extremo norte da Amazônia brasileira, a estação seca do biênio 1925/26

provocou a morte de árvores em uma grande área que se estendeu até o Monte Roraima (BEARD, 1953).

Nakagawa et al. (2000) relataram a associação entre fortes secas e o evento El Niño do biênio 1982/1983, citando as secas no Panamá e no Leste de Bornéu e, 1997/1998, às secas nas florestas tropicais de Sarawak, na Malásia. Aiba e Kitayama (2002) examinaram os efeitos da seca no El Niño de 1998 nas Florestas do Monte Kinabalu, Bornéu, e constataram a diminuição da taxa de crescimento dos diâmetros dos caules das árvores durante o período de pré-seca à seca. Isso foi devido ao forte estresse hídrico a que as árvores foram submetidas. Conforme estudos de Lowty et al. (1973), Beaman et al. (1985), Kitayama (1996) e Walsh (1996), os efeitos da seca nas florestas tropicais do Bornéu entre 1982/1983 são comparáveis às de 1972/73 e, ambas, coincidiram com fortes eventos El Niño.

Na Amazônia, os resultados dos estudos de Peres (1999) e Barlow et al. (2003), sobre mortalidade de árvores e mudanças na estrutura da floresta causadas por incêndios, sugere que essa interação entre períodos de fortes secas e eventos El Niño pode provocar a conversão de grandes áreas de floresta Amazônica em unidades estruturalmente simplificadas, reduzindo a diversidade das espécies e os serviços ambientais, como o armazenamento do carbono e a ciclagem da água.

A atual dinâmica de uso do fogo tem proporcionado impactos em diferentes escalas como o aumento da inflamabilidade das paisagens em toda a região Amazônica e contribuindo para as mudanças climáticas globais, além de iniciar um ciclo vicioso de degradação, onde a floresta é substituída por uma vegetação inflamável (UHL e BUSCHBACHER, 1985; UHL e KAUFFMAN, 1990). Isso aumenta o risco de incêndios na região, pois uma vez tendo sofrido a primeira ação do fogo, as florestas tornam-se mais susceptíveis a ocorrência de novos incêndios devido a um processo de retroalimentação positiva (COCHRANE et al., 1999; NEPSTAD et al., 1999b; MENDOZA, 2003; BRANDO et. al., 2011).

Desta forma, os incêndios florestais na Amazônia brasileira, juntamente com outros processos que associam mudança do uso da terra e fogo<sup>1</sup>, se configuram como um dos principais agentes de emissão de carbono para a atmosfera (FEARNSIDE, 2002; 2003). O carbono faz parte da composição básica da biomassa

---

<sup>1</sup> Queimada dos resíduos florestais para limpeza da área e introdução de agricultura e pecuária, renovação de pastagens, requeima de florestas secundárias e incêndios em sistemas não florestais.

vegetal (viva e morta), sendo degradado em diferentes gases do efeito estufa (GEE) quando atingido pelo fogo. Os principais GEE emitidos por queima de biomassa são  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , sendo que o aumento da concentração destes gases na atmosfera possui fortes implicações ao aquecimento global (LIOUSSE et al., 2004; BRASIL, 2010).

A partir deste contexto é reconhecido que os incêndios florestais na Amazônia são distúrbios provocados pela ação humana, podendo ser potencializados por eventos climáticos secos (e.g. El Niño), que afetam os serviços ambientais da região (estoque de carbono, biodiversidade, ciclo hidrológico). Um dos principais exemplos de degradação dos serviços ambientais provocados por incêndios na Amazônia foi o ocorrido no biênio 1997/98 em Roraima, no extremo norte da região (BARBOSA e FEARNSSIDE, 1999; SHIMABUKURO et al., 2000; ELVIDGE et al., 2001; PHULPIN et al., 2002; GEVAERD et al., 2006). Naquele biênio, a área de florestas impactada por incêndios foi estimada entre 11.394 a 13.928  $\text{km}^2$  (BARBOSA e FEARNSSIDE, 1999; SHIMABUKURO et al., 2000), representando uma forte associação do evento climático El Niño com as queimadas antropogênicas para limpeza dos detritos de desmatamento por quase toda a zona florestal de contato em Roraima. Essa associação transformou centenas de queimadas em sistemas florestais em diferentes frentes de fogo por todo o Estado. Esses valores representaram cerca de 80% do total da área desmatada em toda a Amazônia Legal Brasileira para aquele ano;  $\sim 17,4 \times 10^3 \text{ km}^2$  pelos dados do PRODES/INPE (FEARNSSIDE, 2003). A estimativa de Barbosa e Fearnside (1999) foi de que a área de floresta incendiada em 1998 correspondeu a aproximadamente 7% da soma de todos os sistemas florestais de Roraima (176.194  $\text{km}^2$ ) e mais do que o dobro de toda a área desmatada no Estado até aquela data (5.791  $\text{km}^2$ ). Combinadas, as principais frentes de fogo se alastraram naquele ano por cerca de 400 km lineares e ocorreram em toda a porção centro-oeste de Roraima, entre os cursos médios dos rios Mucajá e Uraricoera, no limite com a Terra Indígena Yanomami. Em 2003, grande parte dessa mesma área foi novamente impactada pelo fogo (BARBOSA et al., 2003; 2004).

No caso do incêndio de Roraima em 1997/98, as estimativas do carbono afetado pelos incêndios foram de  $42,6 \times 10^6 \text{ t C}$  ( $19,7 \times 10^6 \text{ t C}$  emitidos por combustão), um valor expressivo dentro do contexto amazônico, considerando que as estimativas de emissão de carbono para toda a região se situavam entre 230-280

x 10<sup>6</sup> t C por ano (FEARNSIDE, 2000). Todos esses valores são um indicativo de que as emissões de carbono derivadas dos incêndios florestais podem representar um papel de maior importância se considerada na escala regional.

Dentro deste contexto, a quantificação da área e do carbono impactado associado aos incêndios florestais em Roraima contribui para o entendimento da relação entre os eventos climáticos anuais e os tipos florestais mais sensíveis. Desta forma, o presente estudo busca realizar uma análise da dinâmica espaço-temporal da área afetada pelos incêndios florestais ocorridos no Estado de Roraima entre os anos de 2000 e 2010 com o objetivo de entender a dinâmica do carbono contido nas formações florestais (formação de carvão, emitido para atmosfera, decomposição) a partir dos incêndios ocorridos em anos com e sem El Niño na forma de um estudo de caso para a Amazônia. Esta contribuição tem por efeito final proporcionar uma base de cálculo mais robusta para as florestas do extremo norte amazônico, fornecendo subsídios ao Inventário Nacional de Gases do Efeito Estufa elaborado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) dentro dos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da convenção sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2010). Além disto, esta investigação pretende contribuir com o direcionamento das ações dos gestores governamentais e ambientais estaduais no contexto de emissões de gases do efeito estufa local e regional. Desta forma, a hipótese geral desta investigação é a seguinte: “Os incêndios florestais ocorridos em Roraima (2000-2010) foram, na maioria dos casos, originados de queimadas provenientes dos assentamentos humanos em áreas de floresta de contato, sob anos de forte seca (El Niño), sendo responsáveis pela emissão de carbono similar às dos desmatamentos ocorridos no mesmo período”. Para testar esta hipótese, foram geradas três questões específicas associadas às suas respectivas explicações provisórias:

(i) Qual a área anual e a origem dos incêndios florestais em Roraima considerando o intervalo de tempo entre 2000 e 2010?

Hipótese: A maioria dos incêndios florestais possui origem em áreas de floresta adjacentes aos projetos de assentamentos por causa da maior pressão do desmatamento e queimadas nestas regiões.

(ii) A área afetada por incêndios florestais em anos El Niño é maior do que em outros anos?

Hipótese: Em anos de seca acentuada (El Niño) a área incendiada é maior do que em anos não-El Niño por que as condições ambientais no interior da floresta são favoráveis ao alastramento do fogo..

(iii) Quais as fitofisionomias onde os incêndios florestais ocorrem com maior frequência?

Hipótese: Florestas de contato (e.g. ecótonos) são os tipos mais afetados porque estas fitofisionomias são naturalmente estacionais (período seco mais prolongado) e possuem um grande contingente humano assentado na forma de colônias agrícolas (desmatamento), aumentando as chances do fogo das queimadas escapar para o interior da floresta.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Verificar a dinâmica espaço-temporal dos incêndios florestais e da emissão de carbono associados a eventos climáticos ocorridos em Roraima entre os anos 2000 e 2010

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

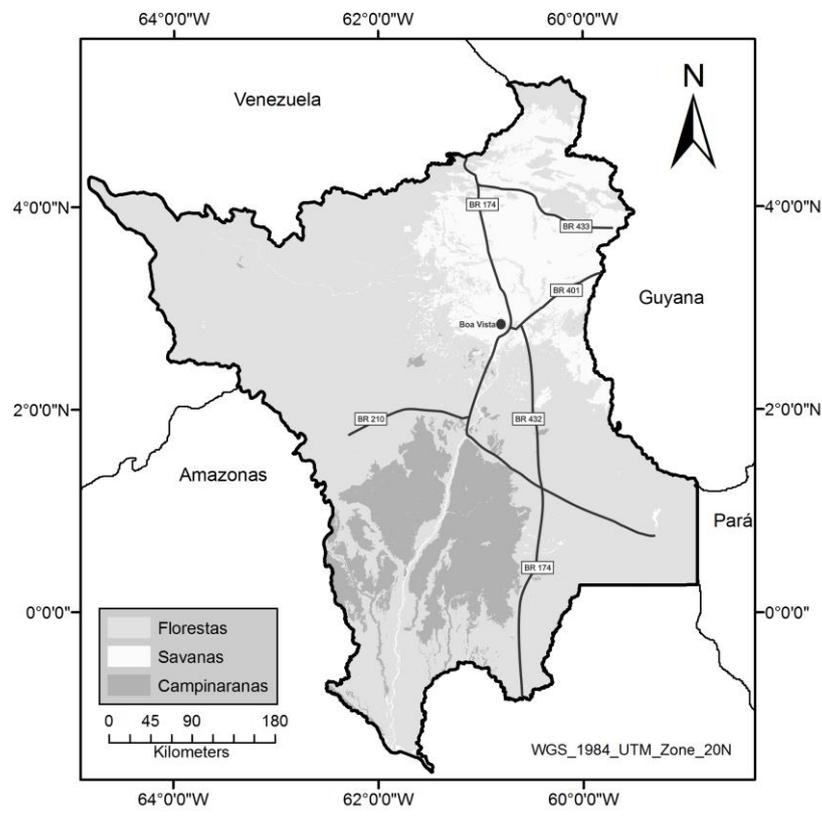
- Quantificar, através de técnicas de sensoriamento remoto/geoprocessamento, a área anual impactada por incêndios florestais em Roraima (2000-2010);
- Associar a área impactada aos eventos climáticos anuais (El Niño, La Niña e anos dentro das normais climáticas);
- Identificar os tipos florestais onde os incêndios ocorreram com maior frequência (mais impactados);
- Estimar o destino do carbono atingido por incêndios florestais em Roraima entre os anos 2000 – 2010.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende todos os sistemas florestais do Estado de Roraima, inclusive as ilhas de florestas existentes dentro do grande bloco de Savana. O Estado de Roraima ocupa uma área aproximada de 224,3 mil km<sup>2</sup>, estando situado na Região Norte, limitando-se com a Venezuela ao norte e noroeste, Guiana ao leste e nordeste, além dos Estados do Pará (sudeste) e Amazonas (sul e oeste). Apresenta sete grandes grupos fitofisionômicos (+ massa d'água), sendo que os principais são derivados dos grandes complexos de savana, campina-campinarana e sistemas florestais (figura 1).

Figura 1. Localização geográfica do estado de Roraima, principais rodovias federais e grandes grupos de vegetação: (i) savanas - ocupando o nordeste do estado, (ii) campinas e campinaranas - no centro, ao longo do rio Branco e (iii) florestas (ecótonos, estacionais e ombrófilas) - espalhadas pelo restante do Estado.



### 3.1.1 Clima

O clima de Roraima é dividido em três grandes tipos levando em consideração o sistema de classificação de Köppen (BARBOSA, 1997): “Af” (Sudoeste e extremo Noroeste do Estado), onde estão presentes a vegetação do tipo Campina/Campinarana e parte das Florestas Ombrófilas; “Am” (inclui a faixa que abrange o Sudeste e Centro-Oeste, além de grande parte do Norte do Estado), onde está presente outra parte das Florestas Ombrófilas e uma seção da Floresta Estacional Semidecidual e; “Aw” (Nordeste do Estado) onde estão presentes as florestas de contato (ecótonos e outra seção de estacionais) e as savanas (de baixa e alta altitude). Os padrões de chuva variam consideravelmente em Roraima, apresentando pluviosidade anual mais alta e maior número de dias de chuva por ano no sul e sudoeste, e valores mais baixos ocorrendo no nordeste (e.g. Boa Vista  $\sim 1.650 \text{ mm ano}^{-1}$ ). A estação chuvosa varia ao longo de um gradiente no sentido sudoeste-nordeste com maiores precipitações ocorrendo entre abril e junho, no sudoeste, e junho e agosto, no nordeste (BARBOSA, 1997; FERREIRA et al., 2007).

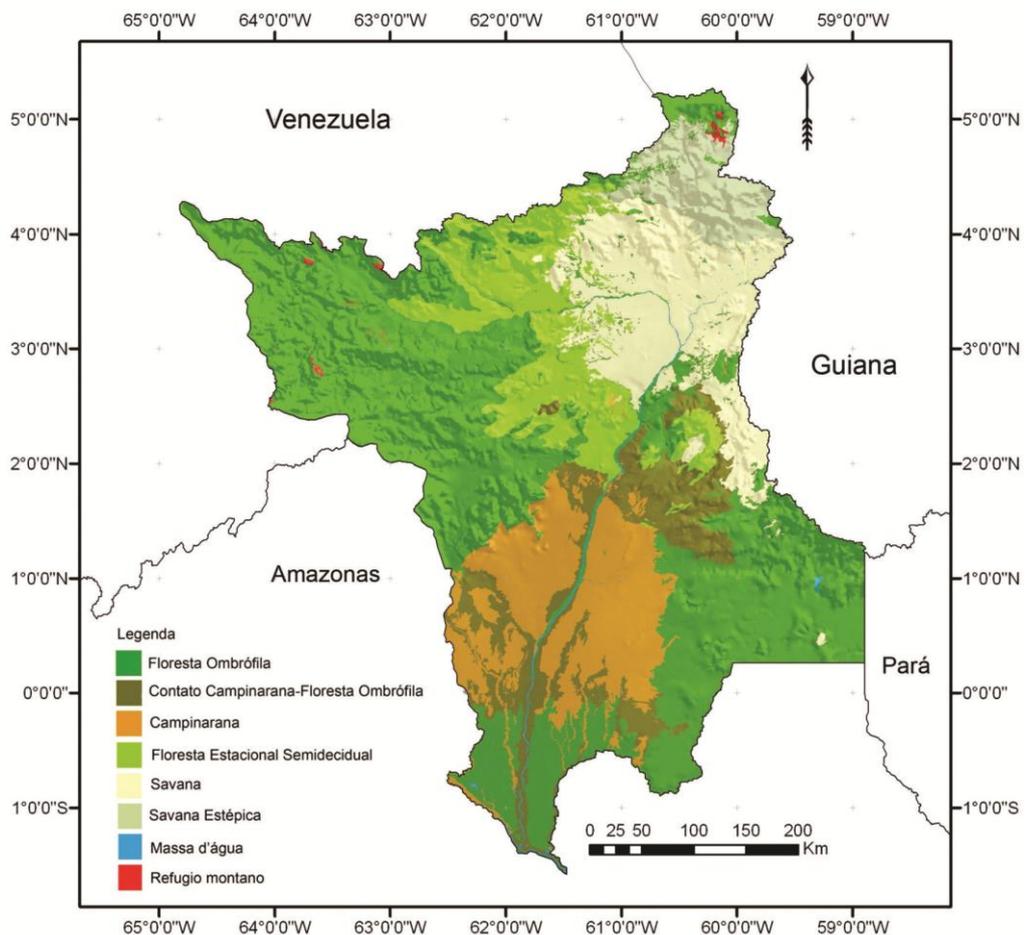
### 3.1.2 Relevo

O Estado de Roraima apresenta feições geomorfológicas formadas por planaltos dissecados, bordejados por pediplanos intramontanos, bem como relevos residuais que se individualizam nas extensas áreas de planícies (BESERRA NETA e TAVARES Jr., 2008). Na porção norte do Estado, encontram-se planaltos que chegam a atingir altitudes  $> 2.700 \text{ m}$ , a exemplo do Monte Roraima, onde parte da vegetação de encosta é característica de Floresta Ombrófila Densa Montana. Essa paisagem vai se transformando para pediplanos intramontanos com relevos colinosos a tabulares com altitudes variando entre  $700$  a  $1.100 \text{ m}$  até a superfície de aplainamento com altitudes variando de  $80$  a  $150 \text{ m}$ , onde se encontram as Florestas Submontanas e das Terras Baixas. Na porção central do Estado, em direção ao Sul, encontram-se planaltos residuais e dissecados que podem atingir até  $800 \text{ m}$  destacando-se em um relevo plano a colinoso ( $100 - 150 \text{ m}$ ). Na porção sul, encontram-se planaltos residuais e deposições arenosas inundáveis com altitudes não superiores a  $150 \text{ m}$ , com a presença de campinaranas e Floresta Ombrófila Densa (BESERRA NETA e TAVARES Jr., 2008).

### 3.1.3 Vegetação

O mosaico de vegetação de Roraima é composto por floresta tropical, ocupando uma área de 81,4% da porção sudoeste do Estado seguido por campos e cerrados regionalmente chamado pelo termo “lavrado” ocupando 17,78% da porção nordeste e 0,80% de sistemas aquáticos. (figura 2). Esse mosaico se distribui da seguinte forma: Floresta Ombrófila Densa (42,76%) representando o maior grupo, seguido das Florestas de Contato (23,44%), das Savanas (11,82%), e das Campinaranas Florestadas (9,52%). Estes são os grupos das grandes fitopaisagens que constroem o mosaico de vegetação de Roraima.

Figura 2- Distribuição espacial dos grandes grupos de vegetação de Roraima.



Fonte: Barbosa et al. (2010).

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 Quantificação das áreas afetadas por incêndios florestais

Para avaliar a área de florestas impactadas por incêndios entre 2000 e 2010 em Roraima foram utilizadas imagens do satélite Landsat TM/ETM+ (cenas de composição colorida com bandas monocromáticas R/5, G/4 e B/3) disponibilizadas no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). A resolução espacial de todas as cenas é de 30 m (0,09 ha por pixel), possibilitando uma escala de trabalho de 1:50.000. No conjunto de imagens analisadas foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 por ser a composição que mais claramente representa os limites entre o solo e a água, com a vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades de verde e rosa. As faixas de imageamento das cenas Landsat (TM, ETM+) são de 185 km x 185 km.

Foram selecionadas oito cenas por ano (Tabela 1), todas com menor porcentagem de cobertura de nuvens e com data de aquisição mais próxima possível do final do período seco regional, estabelecido como data de referência para a detecção dos incêndios florestais: (i) preferencialmente março, abril ou maio – final da estação seca regional, onde as cicatrizes de incêndios são facilmente visíveis ou (ii) setembro/outubro – final das chuvas locais, período quando a nebulosidade regional é mais baixa e sinais de incêndios ainda podem ser visíveis.

Para realizar o processamento digital das imagens foram aplicadas técnicas de pré-processamento e realce. As técnicas de pré-processamento correspondem às correções radiométricas e geométricas. A correção geométrica foi adotada com o objetivo de alterar a geometria da imagem, tendo por finalidade corrigir distorções produzidas pelo movimento de rotação da Terra ou por pequenas variações na altitude, latitude ou na velocidade do satélite (RICHARDS, 1993). Para tanto, foi necessário o registro das imagens que compoariam o mosaico de cada ano. Isso foi realizado através da aquisição de imagens georreferenciadas (WGS 1984; UTM Zona 20N) e ortorretificadas do projeto Geocover - NASA (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>).

Tabela 1 – Data das cenas utilizadas para composição do mosaico anual amostral

Ano	Cenas (*)							
	231/59	231/60	232/57	232/58	232/59	232/60	233/57	233/58
2000	16/08	19/10	01/04	01/04	26/10	26/10	17/10	15/09
2001	28/09	12/03	20/04	20/04	01/07	20/04	04/10	04/10
2002	01/10	27/02	01/01	17/01	05/08	05/08	13/09	13/09
2003	10/09	09/08	16/08	22/12	03/10	29/06	24/09	24/09
2004	14/10	14/10	01/07	11/03	19/09	21/10	12/10	12/10
2005	30/08	30/08	22/09	22/09	22/09	22/09	21/03	21/03
2006	02/09	02/09	02/04	02/04	25/09	25/09	09/04	09/04
2007	21/09	21/09	04/03	20/03	20/03	26/07	11/03	11/03
2008	06/08	06/08	03/02	07/04	07/04	07/04	23/10	23/10
2009	25/08	24/07	17/09	19/10	17/09	17/09	08/09	08/09
2010	22/04	22/04	06/10	06/10	06/10	04/09	30/01	04/04

(\*) Total de cenas: 88;

(\*\*) Intervalo de data padrão: 01/03 – 30/10; N° de cenas fora da data padrão: 6 (6,8%); N° de cenas entre mar-abr-mai: 24 (27,27%); N° de cenas entre set-out: 43 (49%); N° de cenas entre mai-ago: 15 (17%).

O registro da imagem (georreferenciamento) foi feito utilizando o interpolador de Alocação de Vizinho Mais Próximo (*nearest neighbor*) que preserva os valores digitais dos pixels, fazendo com que todo o pixel na imagem registrada receba o valor do número digital mais próximos na imagem original. O número mínimo de pontos de controle para realizar o georreferenciamento para polinômios de segunda ordem é de seis pontos. Este trabalho utilizou nove pontos distribuídos em cada uma das 88 cenas. Os erros geométricos (RMS - root mean square) encontrados e aceitos ficaram abaixo de 20 metros (tabela 2).

Tabela 2 – Erros geométricos encontrados nas cenas utilizadas.

Cenas	Erro Geométrico (m)												
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
232-57	02,0	12,3	10,8	15,5	07,9	11,8	10,4	07,2	08,4	13,4	06,8	13,0	08,6
232-58	06,1	13,8	17,0	14,1	10,3	14,2	09,0	05,7	14,5	16,8	15,0	10,2	12,6
233-57	10,1	09,5	09,0	12,3	06,3	16,8	11,4	13,3	07,4	08,8	09,9	07,1	11,6
233-58	03,3	11,0	10,4	13,4	14,5	09,0	13,2	09,0	12,9	11,5	05,0	08,7	10,0
232-59	05,6	17,8	17,8	08,4	16,5	09,6	16,2	09,3	06,5	15,3	09,4	10,	07,6
232-60	09,3	12,3	16,1	15,1	12,5	07,9	05,3	10,1	10,2	11,1	11,8	13,2	04,1
231-59	11,7	07,8	20,0	07,9	17,3	09,8	10,2	08,5	09,2	08,4	07,3	12,3	03,0
231-60	16,9	09,3	10,5	20,5	14,1	08,1	11,3	11,9	10,1	09,0	15,8	11,4	06,3

Todas as imagens foram realçadas (contraste e brilho) para facilitar a leitura visual das cicatrizes de incêndio. Foram criados mosaicos anuais (um para cada ano entre 1999 e 2011). Cada mosaico foi formado pelas seguintes cenas: 231/59, 231/60, 232/57, 232/58, 232/59, 232/60, 233/57 e 233/58 (conforme tabelas 1 e 2). Estas cenas refletem todas as áreas florestais de Roraima propensas a incêndios. Todas as atividades de georreferenciamento, tratamento das imagens, detecção visual e vetorização dos polígonos de incêndios foram realizadas com as ferramentas disponíveis no programa ArcGis 9.3 (ESRI, 2008).

### 3.2.1.1 Detecção de áreas florestais incendiadas

Foi estabelecido um protocolo para auxiliar a detecção visual dos incêndios florestais e sua origem (fonte de ignição). O protocolo criou duas classes de origem de fogo: FF (Floresta/Floresta) - fonte de ignição do fogo com origem na floresta (figuras 3 e 4) e SF (Savana/Floresta) - fonte de ignição do fogo com origem na savana (figura 5).

Figura 3 – Fonte de ignição do fogo com origem nos sistemas florestais antropizados; exemplo de queimada (B) que pode se transformar em incêndio e impactar as florestas adjacentes. (A) e (C) são os anos anterior e seguinte ao ano alvo (2007).

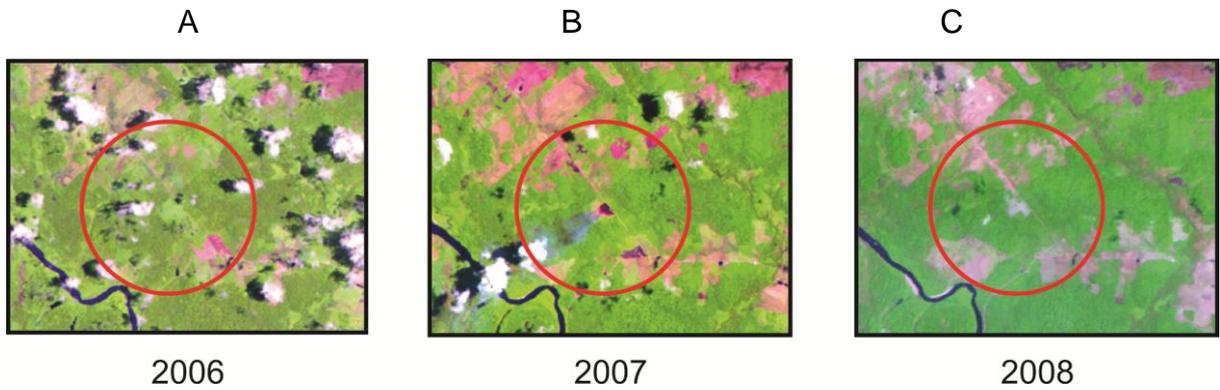


Figura 4 – Cicatriz de incêndio florestal em sistemas antropizados; figura (B) apresenta a cicatriz de um incêndio florestal que escapou de uma área de desmatamento e, as figuras (A) e (C) são os anos anterior e seguinte ao incêndio.

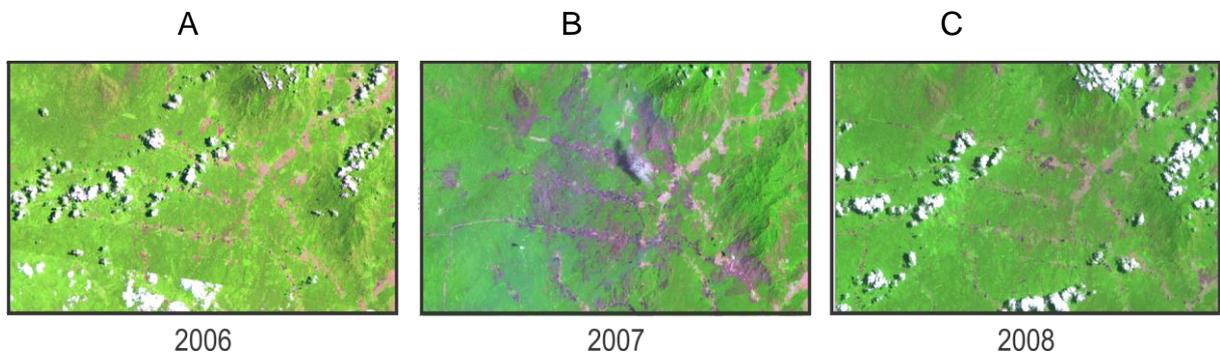
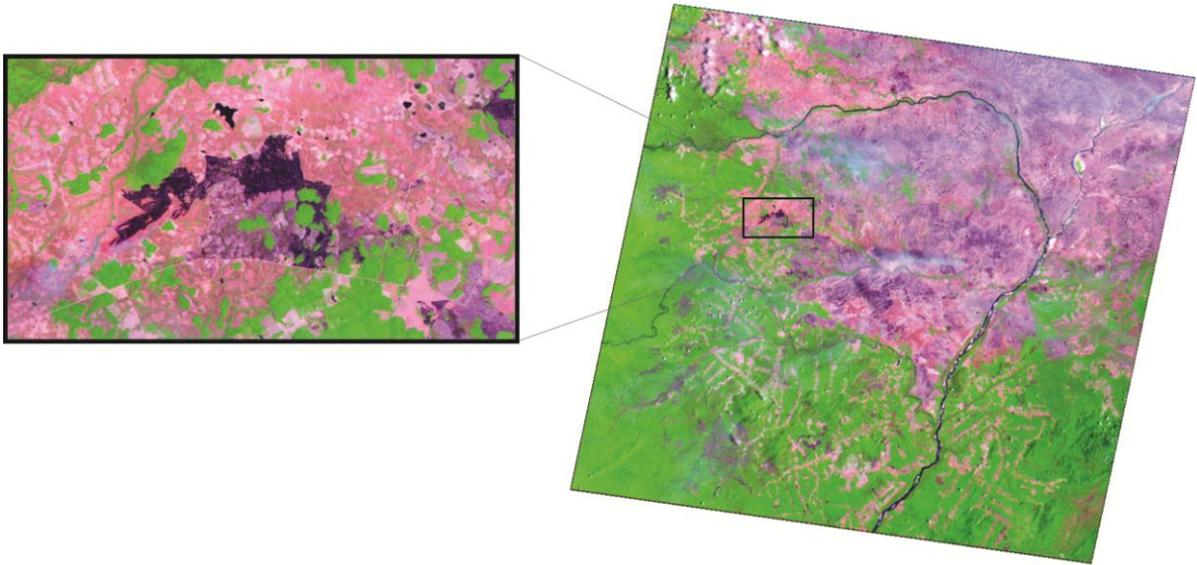
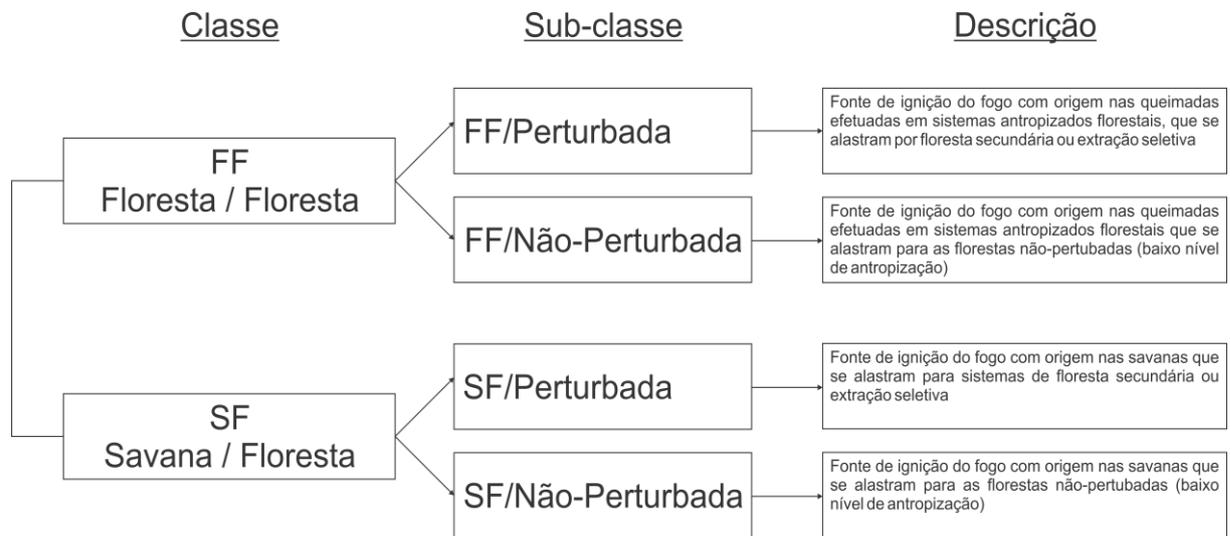


Figura 5 – Fonte de ignição do fogo com origem nas savanas; cena 232/58 de 04/03/2007. No detalhe ampliado, exemplo de fogo com origem nas savanas se alastrando para as ilhas de matas adjacentes.



Neste mesmo passo, também foram geradas quatro subclasses de origem do incêndio para entender se florestas perturbadas (extração seletiva ou floresta secundária madura) e não perturbadas (sem intervenção antrópica detectável) poderiam influenciar a propagação do fogo: SF/Perturbada – fonte de ignição do fogo com origem nas savanas que se alastram para sistemas de floresta secundária ou extração seletiva; FF/Perturbada - fonte de ignição do fogo com origem nas queimadas efetuadas em sistemas antropizados florestais, que se alastram por floresta secundária ou extração seletiva; SF/Não perturbada – fonte de ignição do fogo com origem nas savanas que se alastram para as florestas não perturbadas (baixo nível de antropização); FF/Não perturbada - fonte de ignição do fogo com origem nas queimadas efetuadas em sistemas antropizados florestais que se alastram para as florestas não perturbadas (baixo nível de antropização) conforme figura 6.

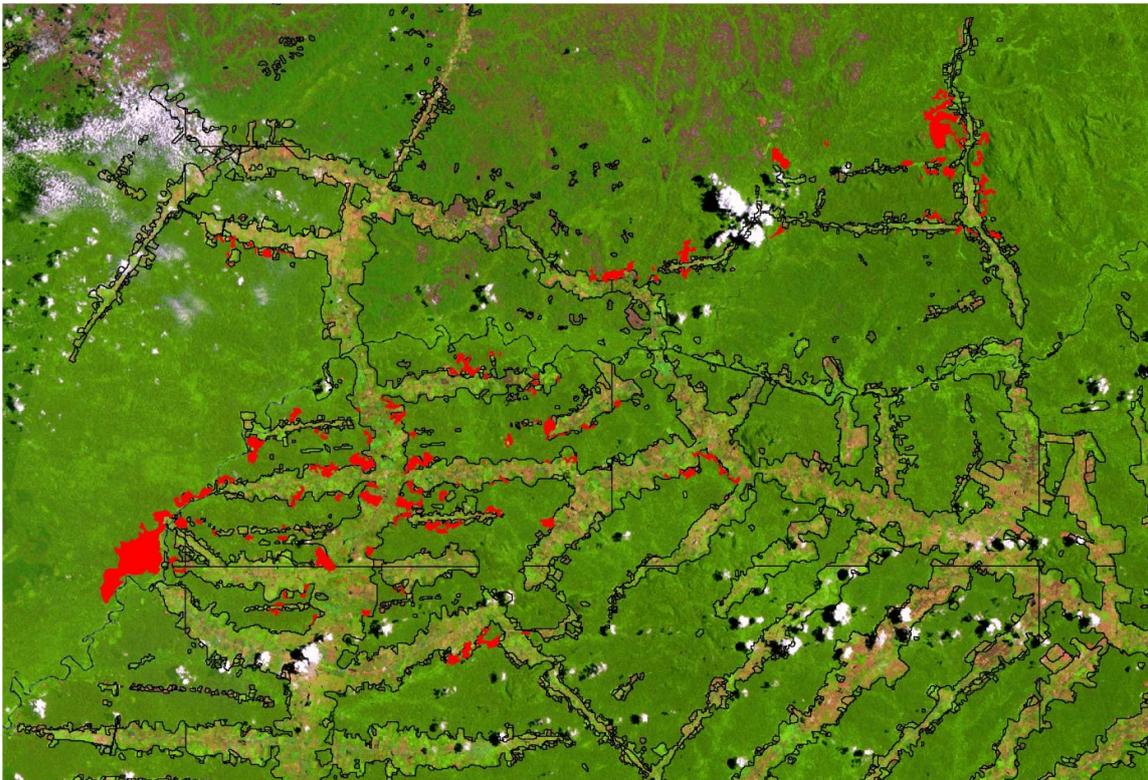
Figura 6 – Classes e subclasses criadas pelo Protocolo de detecção dos Incêndios Florestais



Para auxiliar na detecção das áreas incendiadas, o protocolo também estabeleceu que em cada ano analisado fosse adicionado os *shapes* (contornos) dos desmatamentos gerados pelo PRODES/INPE (<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>) (figura 7). Essa técnica foi útil para detecção de incêndios de origem FF. Os polígonos de desmatamento de cada ano do PRODES tiveram como objetivo produzir pistas de possíveis incêndios, melhorando a interpretação, por exemplo, de anos onde o período seco teve sua pluviosidade acima da normal climática (anos definidos como La Niña, mas com baixa probabilidade de fogo). A partir deste protocolo foi feita uma interpretação visual anual nos mosaicos com o objetivo de identificar as cicatrizes dos incêndios florestais. A escala geral de trabalho utilizada para a interpretação visual foi de 1:50.000, sendo ampliada até 1:10.000 para verificações mais detalhadas quando haviam dúvidas.

Cada ano de trabalho também foi analisado sob a ótica do ano anterior e do posterior. Esse método auxiliou na validação da resposta espectral da “cicatriz alvo” a partir da verificação da resposta espectral dessa mesma cicatriz (área) no ano anterior e no ano seguinte ao analisado. Apenas foi possível identificar os fogos que provocaram algum tipo de estresse na copa das árvores, sendo os mesmos ressaltados por padrões de forma ameboide se alastrando a partir de áreas desmatadas.

Figura 7– Polígonos de fogo gerados a partir dos contornos (*shapes*) de desmatamento fornecidos pelo PRODES/INPE(<http://www.obt.inpe.br/prodes/>).



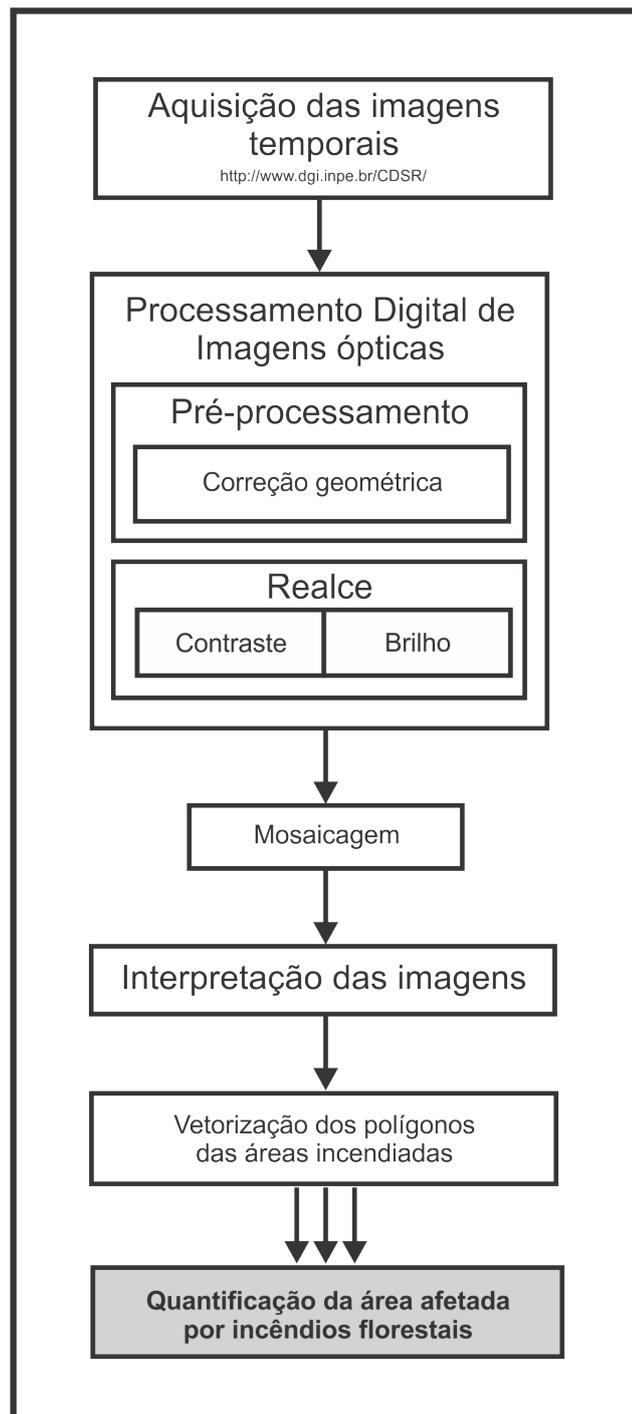
(Recorte do Mosaico, exemplificando como os *shapes* de desmatamento do PRODES auxiliaram na detecção dos incêndios florestais: (i) polígonos em vermelho = incêndios florestais e (ii) transparentes com contorno em preto = *shapes* de desmatamento do PRODES, cena 231/59 de 10/09/2003).

As áreas incendiadas referentes à classe FF foram poligonizadas e verificado a fonte de ignição do fogo antes de se alastrar para áreas de floresta contínua primária (subclasses Perturbada ou Não perturbada). As áreas incendiadas da classe SF foram geradas a partir da detecção da cicatriz do fogo na savana (manchas negras de áreas incendiadas) adentrando em ilhas de mata, florestas ribeirinhas ou florestas de contato. Isso foi feito porque fogos de savanas adentrando em sistemas florestais ocorrem preferencialmente ao final da estação seca, visto que o calor provocado pela queima da baixa biomassa em outras épocas do ano não consegue se alastrar pelo sub-bosque (BIDDULPH e KELLMAN, 1998). Da mesma forma que a anterior, este grupo também foi dividido em florestas perturbadas e não perturbadas.

Todos os procedimentos de tratamento das imagens de sensores remotos e de geoprocessamento foram realizados na base do INPA – Instituto Nacional de

Pesquisas da Amazônia (Boa Vista, Roraima), no Laboratório de Geotecnologias do Hydros da UFRR (Universidade Federal de Roraima), e na estação de trabalho para interpretação de imagens do projeto ProAntar da UFS (Universidade Federal de Sergipe). O conjunto de atividades está resumido na figura 8.

Figura 8 – Fluxograma de atividades referente à etapa de quantificação de área afetada por incêndios florestais



### 3.2.2. Associação dos incêndios aos eventos climáticos

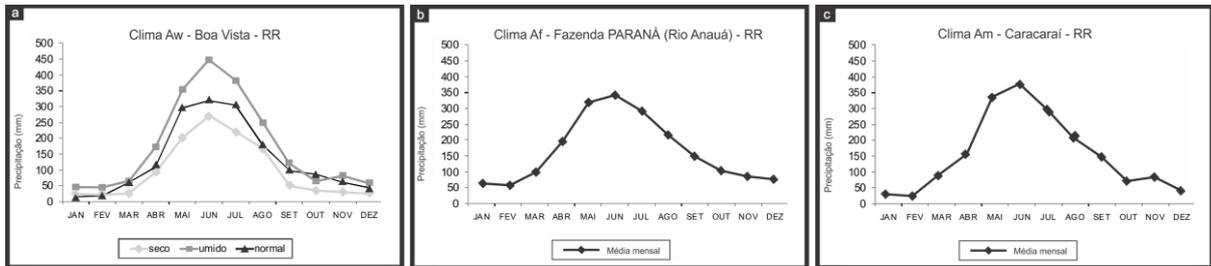
A distinção entre anos secos (El Niño), úmidos (La Niña) e normais (dentro da normal climática) foi derivada da literatura corrente disponibilizada em sites especializados do IPCC (<http://www.ipcc-data.org/>) e do INPE (<http://www.inpe.br/enos>) (Quadro 1). De forma geral, os efeitos que caracterizam um ano de El Niño no extremo norte da Amazônia são (i) baixo volume de precipitação, (ii) aumento da temperatura do ar e (iii) baixa umidade relativa no ar. Para os anos de La Niña, os efeitos são alto volume de precipitação, alta umidade relativa do ar e temperaturas mais amenas em relação às normais climáticas. Para Roraima, isso representa alterações nos períodos secos (dezembro-março) e chuvosos (maio-agosto), provocando alterações nas normais climáticas (figura 9). As informações das áreas queimadas e dos eventos climáticos por ano foram integradas em um banco de dados onde foi possível gerar gráficos e mapas da dinâmica anual de áreas florestais incendiadas *versus* o tipo de ano climático (seco, úmido e normal). Neste estudo, para definir os anos climáticos na série temporal de 2000-2010, foi utilizado a média das precipitações mensais no período seco (out-mar) observados pela Estação Meteorológica do INMET na cidade de Boa Vista (tabela 3). Esta estação foi adotada como base porque representa a série temporal mais extensa de Roraima situada em área de savana próxima do contato com as florestas.

Quadro 1 – Ocorrência de El Niño nos últimos 130 anos.

Ocorrência de El Niño		
Forte	Moderado	Fraco
1877-1878	1888-1889	1951
1896-1897	1913-1914	1953
1899	1923	1963
1902-1903	1932	1976-1977
1905-1906	1946-1947	1977-1978
1911-1912	1965-1966	1979-1980
1918-1918	1968-1970	2004-2005
1925-1926	1986-1988	2006-2007
1939-1941	1994-1995	2009-2010
1957-1959	2002-2003	
1972-1973		
1982-1983		
1990-1993		
1997-1998		

Fonte: Rasmusson e Carpenter (1983); Ropelewski e Halpert (1987); Ropelewski e Halpert (1989) apud INPE (2011).

Figura 9 – Valores médios de precipitação para as três zonas climáticas presentes em Roraima (Aw – Boa Vista; Af – Fazenda Paraná; Am – Caracaraí); pouco número de anos (10-20) na série temporal de Caracaraí e Fazenda Paraná não denotam uma firme tendência para estas estações pluviométricas



Fonte: INMET, Estação Meteorológica de Boa Vista.

Tabela 3 – Média das precipitações no período seco (out-mar) entre os anos 2000-2010 para Boa Vista (considerado como referência neste estudo por ser a maior série histórica medida em área de savana próxima das regiões de floresta de contato em Roraima).

Anos	Precipitação (mm)						Média	Período (*)
	out	Nov	dez	Jan	fev	mar		
2000	130,9	46,8	92,0	45,4	76,4	71,0	77,1	úmido
2001	70,1	107,5	49,2	0,0	0,7	3,7	38,5	normal
2002	63,7	43,5	83,6	3,5	2,5	27,5	37,4	normal
2003	0,4	29,7	41,5	0,8	6,0	9,2	14,6	seco
2004	60,5	29,4	21,5	8,3	9,9	48,3	29,7	seco
2005	107,4	2,6	2,2	47,2	60,9	24,8	40,9	normal
2006	72,5	40,1	44,7	209,6	15,1	15,8	66,3	úmido
2007	18,4	56,0	13,1	2,6	1,8	96,7	31,4	seco
2008	135,8	11,2	95,4	44,5	31,0	66,8	64,1	úmido
2009	100,3	162,4	290,4	99,8	32,0	48,9	122,3	úmido
2010	38,0	0,0	69,6	18,8	69,4	49,0	40,8	normal

(\*) Anos Úmidos = média mensal dos 6 meses > 55,7mm; Anos Secos = média mensal dos 6 meses < 34,3mm; Anos Normais = média mensal dos 6 meses situada entre 34,3 e 55,7mm.

Fonte: Ministério da Agricultura, Instituto Nacional de Meteorologia, Delegacia Federal de Agricultura em Roraima (DFA/RR) - Estação Meteorológica de Boa Vista – RR

### 3.2.3 Determinação dos tipos florestais mais afetados

Foram utilizadas as camadas (*layers*) de vegetação na escala 1:250.000 disponibilizadas pelo Programa de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBio), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA em parceria com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (<http://www.cnpq.br/web/guest/probio>). A definição das tipologias adotada pelo PROBio para a Amazônia é a do Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992), sendo a mesma adotada neste estudo. Os polígonos gerados das áreas incendiadas por ano foram sobrepostos ao *shape* dos tipos vegetais do PROBio através da técnica de intersecção disponibilizada no ArcGis. Desta forma, foi possível estimar o quanto, em área, cada tipo florestal foi afetado pelos incêndios. Cada polígono de fogo ficou associado a um único tipo de vegetação. Feito isso, foi realizada uma inspeção em todos os “resíduos”<sup>2</sup> de polígonos que acabaram sendo caracterizados como agricultura, pecuária ou massa de água. Todos eles foram ajustados para suas respectivas vegetações originais, visto que a data dos mosaicos (2001-2003) e a escala de trabalho do PROBio (1:250.000), por vezes produziam informações temporais ou espaciais distorcidas da realidade de campo.

### 3.2.4 Estimativas do destino do carbono

A estimativa do destino do carbono atingido por incêndios florestais em Roraima (2000-2010) partiu da premissa que o carbono presente no ecossistema florestal segue quatro caminhos após a passagem do fogo: (a) permanece presente no ecossistema na forma de biomassa viva (o fogo não afetou o componente florestal a ponto de desagregá-lo física e quimicamente); (b) fica alocado (estocado) na forma de carvão do solo nos sistemas atingidos (queima incompleta da biomassa, se transformando em carvão, ou seja, carbono estocado no longo prazo; ± 1000-1500 anos); (c) segue para o compartimento de material vegetal morto pelo fogo

---

<sup>2</sup> Pequenos polígonos residuais resultantes do processamento da intersecção, e que, por conta da diferença de escala entre a visada de trabalho e os *shapes* do PROBio, acabaram sendo formados e definidos em classes de uso do solo que não representavam as áreas incendiadas.

(principalmente árvores), sofrendo a ação do tempo e entrando em processo de decomposição (carbono estocado no curto prazo; emitido lentamente pela fragmentação microbiana) e (d) é emitido instantaneamente para a atmosfera pela ação da combustão no ato da passagem do fogo (componentes da biomassa totalmente incinerados) (BARBOSA e FEARNside, 1999).

Neste sentido, para o destino do carbono derivado dos incêndios florestais em cada um dos anos avaliados em Roraima, este estudo adotou as seguintes investigações de base: (i) Barbosa et al. (2010), indicando a área original dos ecossistemas terrestres de Roraima e (ii) Barbosa e Fearnside (2011) para estimativas dos valores de biomassa total (acima + abaixo do solo / morta e viva) por tipo florestal ( $t\ ha^{-1}$ ). Neste último caso, os dados foram derivados da sistematização do Banco de Dados Georreferenciado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (BDG-IBGE), versão de 02.02.2011 ([ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/banco\\_dados\\_georeferenciado\\_recursos\\_naturais/albers/Amazonia\\_Legal/Vegetacao/](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/banco_dados_georeferenciado_recursos_naturais/albers/Amazonia_Legal/Vegetacao/)). Este BDG forneceu os valores originais de volume de madeira ( $m^3\ ha^{-1}$ ) dos inventários florestais comerciais realizados pela equipe do Projeto RADAMBRASIL para toda a Amazônia Legal Brasileira entre as décadas de 1970/80 (tabela 4).

Com o valor da biomassa total por hectare e tipo florestal, procedeu-se ao cálculo da biomassa viva acima do solo atingida pelo fogo (biomassa transformada), tomando como base o percentual estabelecido por Barbosa e Fearnside (1999) para cada fitofisionomia: 9,5%. Ou seja, do total de biomassa florestal viva atingida pelo fogo acima do solo, 9,5% foram de alguma forma transformadas em carvão, carbono emitido ou morreram e entraram em decomposição. O restante (90,5%) permaneceu vivo. Embora com uma grande carga de incertezas, foi considerado que a biomassa abaixo do solo foi atingida na mesma proporção que aquela acima do solo (9,5%); transformando-se também em necromassa (material vegetal morto que entra na classe de decomposição).

Tabela 4 – Biomassa e necromassa total acima e abaixo do solo ( $t\ ha^{-1}$ ) estimada para as fitofisionomias presentes em RR.

Grupo	Necromassa acima do solo	Biomassa acima do solo	Biomassa abaixo do solo	Biomassa Total ( $t\ ha^{-1}$ )
As	39,4	248,2	55,2	342,8
Dm	45,3	285,3	63,4	394,1
Ds	44,1	277,9	61,8	383,9
Fa	36,8	232,2	51,6	320,7*
Fs	53,1	334,3	74,3	461,7*
La	31,3	197,4	43,9	272,7**
Ld	36,7	231,2	51,4	319,3
LOt	40,3	253,9	56,4	350,8
ONt	37,8	238,0	52,9	328,8
SNt	25,3	159,2	35,4	219,9
SOT	39,2	246,8	54,9	340,9
TNt	23,9	150,9	33,5	208,4
As	7,8	49,5	11,0	68,4
T	6,9	43,5	9,6	60,2

(\*) valores médios de RO e MT, e (\*\*) AM;

As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana; Dm - Floresta Ombrófila Densa Montana; Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana; Fa – Floresta estacional Semidecidual Aluvial; Fs - Floresta estacional Semidecidual Submontana; La – Campinarana Arborizada; Ld – Campinarana Florestada; Lot - Campinarana e Floresta Ombrófila; ONt - Floresta Ombrófila e Floresta Estacional; SOT - Savana e Floresta Ombrófila; TNt - Savana Estépica e Floresta Estacional; Sa – Savana Arborizada; T – Savana Estépica

Fonte: Barbosa et al. (2010) e Barbosa e Fearnside (2011)

Para o cálculo da necromassa acima do solo atingida pelo fogo, foi presumido que cada tipo florestal possuía, na média, a mesma proporção calculada por Barbosa e Fearnside (1999) para as áreas atingidas pelos incêndios de 1997/98 em Roraima: 22,9% da necromassa total acima do solo correspondendo a liteira fina e, 77,1% à liteira grossa. Considerado esta proporção para o componente da necromassa, foi aplicado um fator de queima (% da biomassa eliminada pelo fogo) de 97,6% para liteira fina e 73,8% para a liteira grossa. Isso corresponde a um fator

de queima de alta intensidade (fogo que estressa a copa das árvores e produz uma forte assinatura espectral nas imagens de fácil detecção visual). A planilha base para uso nos resultados do estudo é apresentada na tabela 5 e a sequência de cálculos está distinta na figura 10.

Tabela 5 – Biomassa e necromassa atingidas e transformadas pelo fogo ( $t\ ha^{-1}$ ).

Grupo	Necromassa acima do solo	Biomassa acima do solo transformada pelo fogo	Necromassa abaixo do solo
As	31,24	23,58	5,24
Dm	35,59	27,11	6,03
Ds	34,73	26,41	5,87
Fa	29,37	22,06	4,91
Fs	41,34	31,76	7,06
La	25,29	18,76	4,17
Ld	29,25	21,97	4,88
LOt	31,92	24,13	5,37
ONt	30,05	22,62	5,03
SNt	20,81	15,13	3,36
SOt	31,08	23,45	5,22
TNt	19,84	14,34	3,19
Sa	7,95	4,71	1,05
T	7,25	4,14	0,92

As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana; Dm - Floresta Ombrófila Densa Montana; Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana; Fa – Floresta estacional Semidecidual Aluvial; Fs - Floresta estacional Semidecidual Submontana; La – Campinarana Arborizada; Ld – Campinarana Florestada; Lot - Campinarana e Floresta Ombrófila; ONt - Floresta Ombrófila e Floresta Estacional; SOt - Savana e Floresta Ombrófila; TNt - Savana Estépica e Floresta Estacional; Sa – Savana Arborizada; T – Savana Estépica.

Fonte: Derivação dos dados de Barbosa e Fearnside (1999; 2011) e Barbosa et al. (2010)

Com o total de biomassa atingida (e transformada) pelo fogo, foi estimado o estoque de carbono por unidade de área ( $t\ C\ ha^{-1}$ ) presente nos diferentes compartimentos: (i) para cálculo do carbono presente na necromassa foi utilizada a

concentração de carbono (%C) derivada de peças de madeira morta avaliadas por Silva (2011) em Roraima e (ii) para a biomassa viva acima e abaixo do solo, foram utilizadas as concentrações de carbono (%C) estabelecidas por Barbosa e Fearnside (1999) (tabela 6).

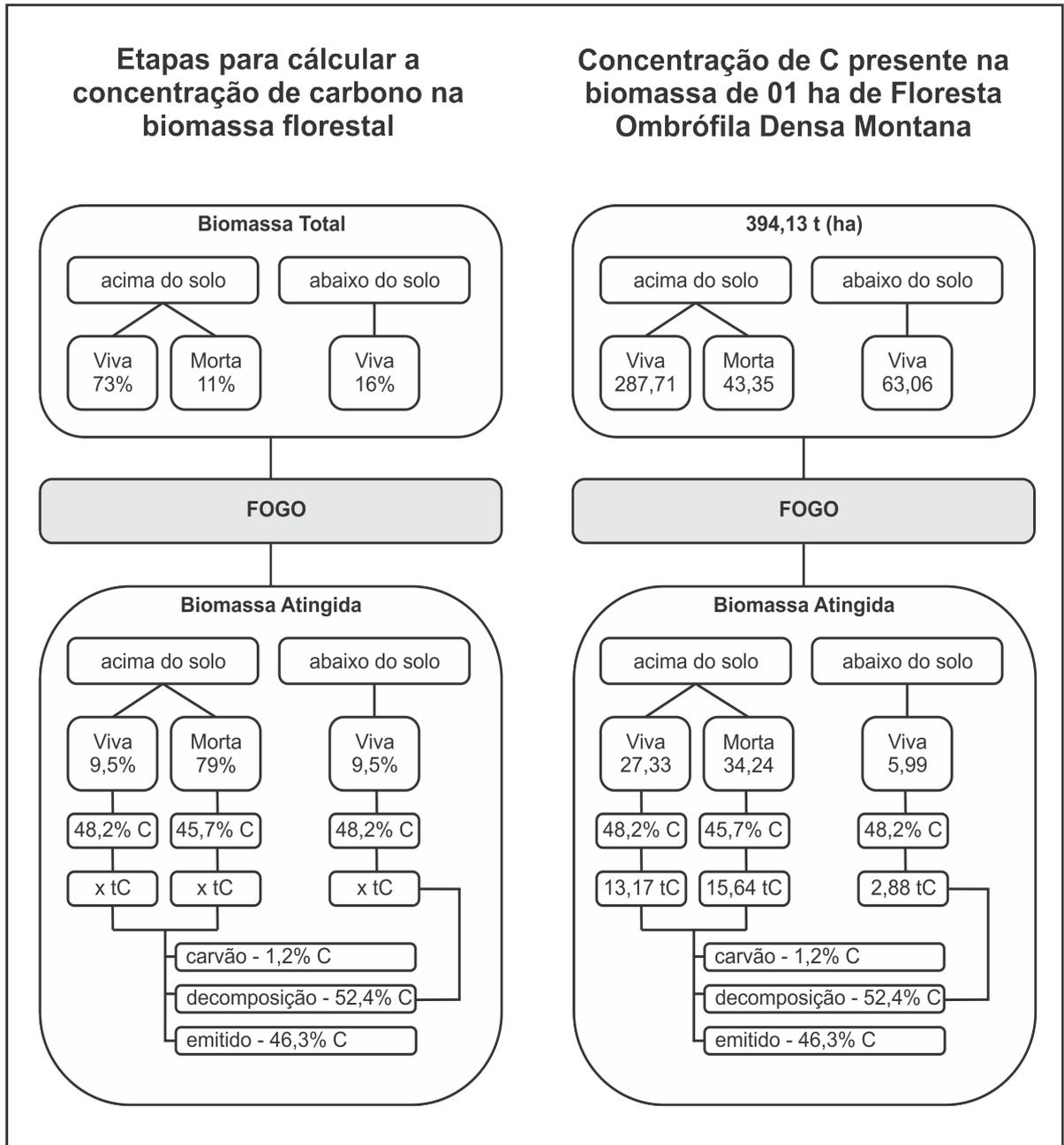
Tabela 6 – Concentração de carbono (% C) e total de carbono (t C ha<sup>-1</sup>) para os compartimentos da floresta atingidos por fogos florestais nas diferentes fitofisionomias presentes em Roraima.

Grupo	Necromassa (45,76%)	Biomassa acima do solo (48,2%)	Biomassa abaixo do solo (48,2%)	Total C (t C ha <sup>-1</sup> )
As	14,30	11,37	2,53	28,19
Dm	16,29	13,07	2,91	32,26
Ds	15,89	12,73	2,83	31,45
Fa	13,44	10,63	2,36	26,44
Fs	18,92	15,31	3,40	37,63
La	11,57	9,04	2,01	22,63
Ld	13,38	10,59	2,35	26,33
LOt	14,61	11,63	2,59	28,82
ONt	13,75	10,90	2,42	27,08
SNt	9,52	7,29	1,62	18,44
SOt	14,22	11,30	2,51	28,04
TNt	9,08	6,91	1,54	17,53
Sa	3,64	2,27	0,50	6,41
T	3,32	2,00	0,44	5,76

As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana; Dm - Floresta Ombrófila Densa Montana; Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana; Fa – Floresta estacional Semidecidual Aluvial; Fs - Floresta estacional Semidecidual Submontana; La – Campinarana Arborizada; Ld – Campinarana Florestada; Lot - Campinarana e Floresta Ombrófila; ONt - Floresta Ombrófila e Floresta Estacional; SOt - Savana e Floresta Ombrófila; TNt - Savana Estépica e Floresta Estacional; Sa – Savana Arborizada; T – Savana Estépica.

Fonte: Derivado dos dados de Barbosa e Fearnside (1999) e Silva (2011)

Figura 10 – Desenho representativo do cálculo de emissões de carbono a partir do volume de biomassa (exemplo baseado em 1 ha de Floresta Ombrófila Densa Montana – Dm presente em Roraima).



(baseada nos estudos citados no texto)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ÁREA AFETADA POR INCÊNDIOS FLORESTAIS

A área total incendiada em Roraima entre os anos 2000–2010 foi de 3.062,46 km<sup>2</sup> (tabela 7). A média anual foi de 278,4 km<sup>2</sup>. Noventa e sete por cento da área afetada por incêndios teve a sua origem a partir dos desmatamentos ocorridos nas áreas de colonização (e.g. Apiaú, Roxinho, Campos Novos, Confiança, etc) estabelecidas nos sistemas florestais. O restante teve sua origem nos fogos das savanas. Independente da origem de ignição do fogo foi estimado que 94% ocorreram em florestas não perturbadas. O ano de maior área incendiada foi 2003 (2165,8 km<sup>2</sup>), enquanto que os de menor área foram 2005 (0,01 km<sup>2</sup>) e 2009 (0,08 km<sup>2</sup>).

Tabela 7 – Área e origem dos incêndios florestais em Roraima entre 2000-2010 distribuídos em anos Seco, Úmido e Normal (similar aos anos de El Niño, La Niña e Normal).

Ano	Área Incendiada (Km <sup>2</sup> )				Área Total		
	SF		FF		Seco	Úmido	Normal
	Perturbada	Não-perturbada	Perturbada	Não-perturbada			
2000	0,48	0,02	0,20	2,05		2,75	
2001	16,97	0,26	48,19	89,59			155,01
2002	3,75		0,42				4,17
2003	23,05	30,50	39,69	2072,53	2165,77		
2004			1,72		1,72		
2005				0,01			0,01
2006	0,61		12,20	0,52		13,32	
2007	5,82	2,31	21,31	667,27	696,71		
2008	0,17		2,93	2,90		6,00	
2009			0,08			0,08	
2010			2,65	14,26			16,91
Total (Km <sup>2</sup> )	50,85	33,09	129,40	2849,12	2864,21	22,15	176,10
%		2,74		97,26	93,52	0,72	5,75

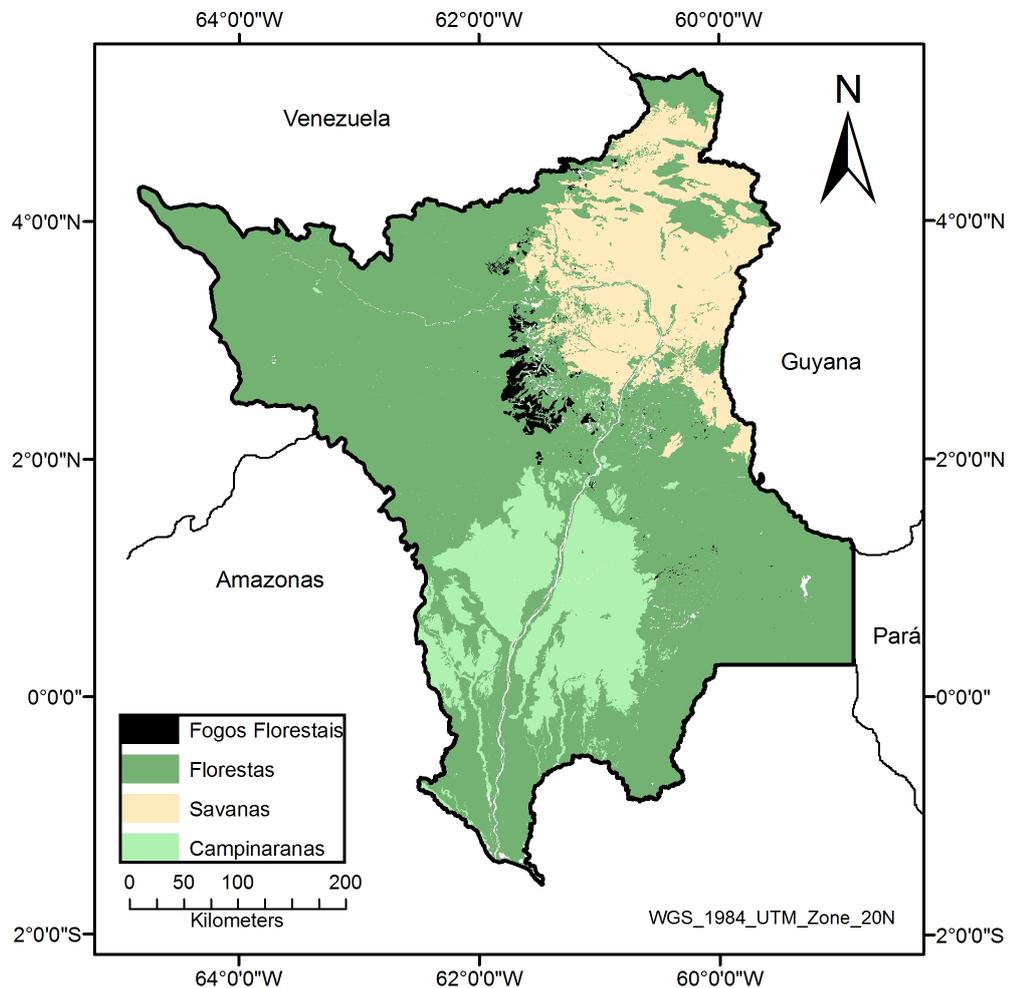
Quanto ao número de polígonos (áreas contínuas incendiadas) detectados, foram vetorizados 1435 em todo o trabalho. O número de polígonos por ano variou de 1 a 513 (tabela 8). A área média de cada polígono foi de 2,14 km<sup>2</sup> (214 ha) indicando que a área incendiada por foco de alastramento do incêndio foi cerca de duas vezes superior ao tamanho médio de um lote agrícola em Roraima (~100 ha).

Tabela 8 – Número e área média de polígonos vetorizados por ano de observação.

Ano	Número de polígonos	km <sup>2</sup> /polígono
2000	27	0,10
2001	402	0,39
2002	32	0,13
2003	513	4,22
2004	7	0,25
2005	1	0,01
2006	15	0,89
2007	390	1,79
2008	34	0,18
2009	2	0,04
2010	12	1,41
Total	1435	2,14

A maior concentração de área impactada pelos fogos florestais foi observada na região centro-oeste de Roraima, justapondo os sistemas sazonais: florestas estacionais e ecótonos (figura 11). Os sistemas florestais ombrófilos do sul do estado pouco foram afetados no período de 2000 a 2010.

Figura 11 - Distribuição espacial da área total impactada por fogos florestais em Roraima (2000 a 2010).



Vários estudos pontuaram que os incêndios florestais na Amazônia estão fortemente associados ao aumento das atividades humanas e a períodos secos prolongados, em especial em anos de El Niño (UHL et al. 1988; KAUFFMAN, 1991; NELSON, 1994; HOLDSWORTH e UHL, 1997). Esse estudo demonstrou que em Roraima, já não é mais necessário um forte evento El Niño para o alastramento do fogo no sub-bosque da floresta. Anos considerados como dentro da normal climática (e.g. 2001) também propagaram incêndios, em especial em áreas de floresta sazonais (estacionais e ecótonos).

Foi detectado que os desmatamentos foram os responsáveis pela grande maioria dos incêndios florestais ocorridos em Roraima entre 2000 e 2010. Os fogos

derivados das savanas, e que adentraram em sistemas florestais, proporcionaram uma área média impactada de  $\sim 7,6 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$  neste período; um valor 35 vezes inferior ao observado nos fogos originados das áreas de desmatamento ( $> 270 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ ). Provavelmente, isto esteja relacionado ao fato de que fogos de savanas provocam calor de pouca intensidade nas bordas da floresta (biomassa de gramíneas queimando por um curto espaço de tempo), com uma probabilidade baixa de alastramento pelo sub-bosque quando estes fogos acontecem no início da estação seca (BIDDULPH e KELLMAN, 1998).

As observações realizadas também indicam que as áreas perturbadas por extração seletiva ou com florestas secundárias antigas (adjacentes aos lotes desmatados) são uma porta de entrada dos incêndios em áreas não perturbadas. No pico do período seco (janeiro e fevereiro), a matéria orgânica depositada no chão do sub-bosque destes sistemas se transforma muito rapidamente em um combustível facilmente inflamável devido a um dossel mais aberto (COCHRANE e SCHULZE, 1999). Este fato torna os ambientes antropizados muito mais susceptíveis aos fogos devido ao acúmulo de detritos que podem produzir fogo com calor suficiente para se alastrar.

Os sistemas florestais contínuos não perturbados possuem outro padrão de propagação dos incêndios. Quando estas áreas sofrem frequentes fogos derivados das queimadas dos sistemas perturbados, em especial as das florestas da zona de transição (savana-floresta), há uma fragilização da estrutura do sistema pela perda de diversas árvores de grande porte, com cerca de 10 a 40% de mortalidade de árvores com  $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$  (HOLDSWORTH e UHL, 1997; BARBOSA e FEARNside, 1999; BRANDO et al., 2011). Desta forma, embora não haja corte raso ou qualquer outra interferência humana relacionada à extração de madeira, as áreas não perturbadas por corte seletivo ou desmatamentos ficam com a estrutura florestal original completamente comprometida. Isso provoca um sistema de retroalimentação positiva, onde a entrada de novos incêndios em uma mesma área é facilitada pelas novas condições estruturais da floresta, fazendo com que ela se torne cada vez mais susceptível a novos fogos (COCHRANE e SOUZA, 1998; BARLOW e PERES, 2008).

O presente trabalho também estimou que 461,28  $\text{Km}^2$  foram relativos a fogos recorrentes durante o período 2000 – 2010 (tabela 9). Isso representa  $\sim 15\%$  da área impactada pelo fogo no período estudado (3062,46  $\text{Km}^2$ ). Foi observado que 88,32%

(407,43 km<sup>2</sup>) das áreas atingidas por fogo recorrente, ocorreram no ano de 2007 sobre áreas anteriormente impactadas por fogo: 2003 (394,68 Km<sup>2</sup> – também ano El Niño) e 2001 (12,75 Km<sup>2</sup>). Saliento que 2002 - 2003 foi um biênio de El Niño e 2000 – 2001 foi o final de um El Niño e o início de um La Niña. Essas áreas recorrentes foram consideradas como “sem recorrência” neste estudo por conta da falta de parâmetros de perda de biomassa e redução da estrutura florestal que pudessem alimentar o modelo de emissão de carbono por incêndios.

Tabela 9 – Área (km<sup>2</sup>) anual dos incêndios florestais recorrentes em Roraima no período de 2000 a 2010.

Ano	Fogo Recorrente (Km <sup>2</sup> )										Total	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2001	-	0,67	24,50	0,39	0,00	0,00	12,75	0,00	0,00	1,15	39,46	
2002	-	-	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,14	
2003	-	-	-	1,42	0,00	8,62	394,68	0,00	0,00	2,92	407,64	
2004	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2005	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2006	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2007	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,01	13,02	13,04	
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	
Total (Km <sup>2</sup> )	0,00	0,67	25,64	1,81	0,00	8,62	407,43	0,00	0,01	17,10	461,28	

Quanto ao protocolo amostral adotado nesse estudo, este se mostrou adequado para detecção de incêndios florestais com intensidades média e alta. Por exemplo, na vistoria aérea realizada por Barbosa et al. (2003), foi estimado um total 2.000-2.500 km<sup>2</sup> de área incendiada no ano de 2003 (resultado derivado de estimativas de sobreposição de pontos de GPS em mapas de escala de 1:1.000.000). O estudo em tela quantificou pouco mais de 2.165 km<sup>2</sup>, indicando um ajuste dentro da faixa de resultados apresentados à época. Contudo, fogos de baixa intensidade (fogos pontuais que não formam linhas de incêndio) não puderam ser detectados pelo método aqui apresentado, pois não estressam as copas das árvores

o suficiente para gerarem uma assinatura espectral diferente da assinatura padrão da floresta sem perturbação; logo, não há possibilidade de serem detectados por varredura visual.

Equipes locais que estejam familiarizadas com as regiões de maior impacto de desmatamento podem facilmente utilizar este protocolo para gerenciar as áreas incendiadas. Essa é uma ferramenta de grande importância para o Comitê de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais de Roraima, que atua localmente auxiliando nas decisões sobre gestão territorial e monitoramento ambiental local.

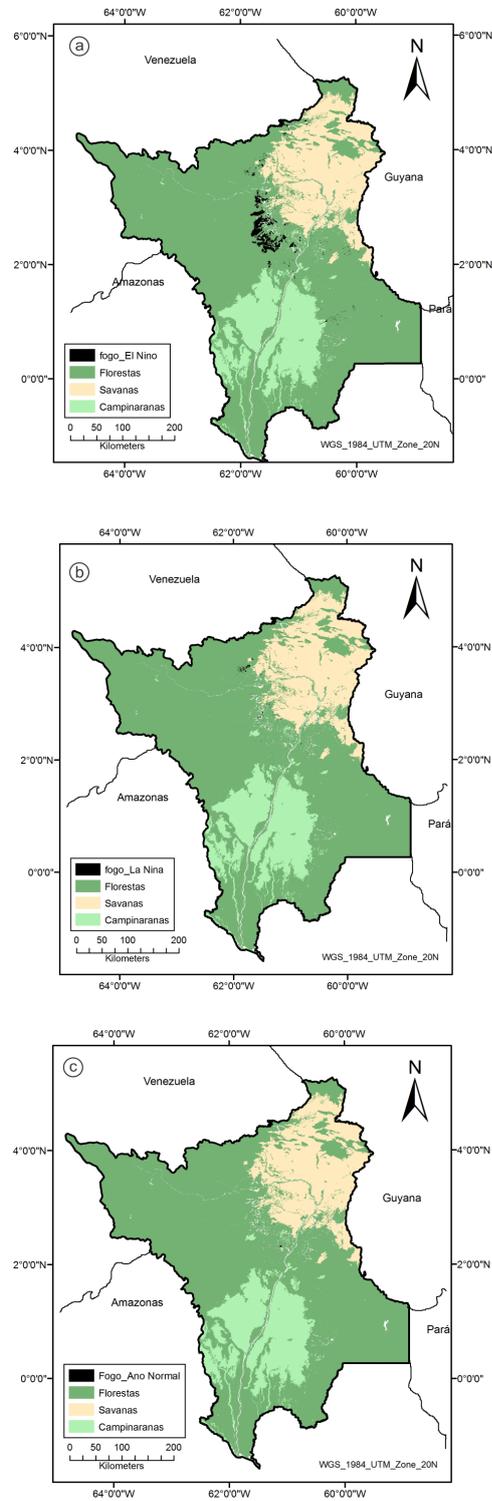
#### 4.2. ASSOCIAÇÃO DOS INCÊNDIOS AOS EVENTOS CLIMÁTICOS

Com relação aos incêndios florestais *versus* eventos climáticos, dos 3062,46 km<sup>2</sup> de área afetada pelo fogo, 2864,2 km<sup>2</sup> (93,5%) ocorreram em ano definido como Seco<sup>3</sup> (El Niño). Nos anos Normais (normal climática) e Úmidos (La Niña) as áreas afetadas por incêndios florestais foram de 176,1 km<sup>2</sup> e 22,2 km<sup>2</sup> respectivamente. A média de área incendiada nos anos secos foi de 954,73 km<sup>2</sup>. A figura 12 apresenta a distribuição espacial dos incêndios florestais por anos El Niño, La Niña e Normal.

---

<sup>3</sup> O Comitê de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais do Estado de Roraima faz o controle sistêmico dos anos considerados como secos, úmidos e normais através do controle do número de focos de calor observados pelo satélite NOAA-AVHRR (BARBOSA, 2010). Geralmente, esses anos coincidem com os biênios de El Niño (Seco), La Niña (Úmido) e Normais (normal climática).

Figura 12 – Distribuição espacial dos incêndios florestais ocorridos em Roraima em anos com diferentes eventos climáticos (El Niño, La Niña e Normal); (a) distribuição espacial da área incendiada nos anos El Niño; (b) área incendiada em anos La Niña e (c) anos sem eventos climáticos (Normal).



De acordo com os resultados divulgados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) haverá ainda neste século o aumento da temperatura por todo o planeta. Com isso, regiões que sofrem com escassez de água poderão ficar mais secas. Também é esperado o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como furacões, inundações e secas prolongadas. (IPCC, 2007). Projeções em modelos climáticos globais indicam um padrão de aquecimento mais frequente na temperatura das águas superficiais do oceano pacífico equatorial, típico do fenômeno El Niño (COLLINS, 2005). Na Amazônia, em especial, no extremo norte, o fenômeno El Niño se manifesta prolongando e intensificando o período seco. Diversos estudos registraram a ocorrência de incêndios florestais associados a anos de eventos climáticos El Niño e os efeitos de degradação decorrentes dessa associação nas florestas tropicais de todo o planeta (WILLIAMS et al., 2005, NAKAGAWA et al., 2000, AIBA e KITAYAMA, 2000, LOWLY et al., 1973, BEAMAN et al., 1985, KITAYAMA 1996, WALSH 1996); incluindo nesta lista diferentes estudos realizados na Amazônia (PERES, 1999, SOUZA et. al. 2000, BARLOW e PERES, 2003, MARENGO et al., 2008).

Esse estudo detectou que durante os anos amostrados (2000-2010), as estimativas das áreas atingidas por incêndios florestais em anos El Niño foi muito maior que em anos não-El Niño (La Niña e Normais). Esta parece ser uma tendência natural por toda a Amazônia (ARAGÃO et al., 2007). Por exemplo, Alencar et. al. (2004) relatam que em estudos realizados em três regiões da Amazônia, mais de 91% de áreas incendiadas durante um período de 10 anos foram em anos El Niño. A maioria dos anos definidos como “seco” pelo Comitê de Prevenção e Combate e Incêndios Florestais de Roraima são configurados como um El Niño. Recentemente, a política de prevenção anti-fogo de Roraima tem desenvolvido um trabalho no sentido de prevenir o alastramento dos incêndios florestais e, com isso, houve uma queda nos índices de focos de calor detectados pelo NOAA-AVHRR nos períodos mais secos do ano (BARBOSA, 2010). Os resultados do estudo em tela sugerem que a política adotada pelo Comitê de Roraima vem surtindo efeito na redução da área atingida por incêndios florestais, visto que anos recentes (e.g. 2009-2010) considerados como El Niño não estavam entre os de maior área incendiada. Portanto, políticas públicas de prevenção são positivas na descaracterização de um ano definido como El Niño como aquele de grandes ocorrências de incêndios. Contudo, sugere também que a falta da política preventiva poderá acarretar novos e

maiores incêndios devido ao aumento do contingente populacional nas regiões florestais com presença humana..

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DOS TIPOS FLORESTAIS MAIS IMPACTADOS

Dos grandes grupos florestais presentes em Roraima, os que mais foram impactados pelos incêndios florestais foram os Ecótonos com 2543,10 km<sup>2</sup> (83,04%), seguido pelas Florestas Ombrófilas Densas (301,68 km<sup>2</sup>), Campinaranas (166,28 Km<sup>2</sup>), Floresta Estacional Semidecidual (26,69 km<sup>2</sup>), Floresta Ombrófila Aberta (19,72 km<sup>2</sup>) e os sistemas florestais presente nas Savanas Estépicas (2,52 Km<sup>2</sup>) e Savanas (2,47 km<sup>2</sup>) (tabela 10). Os ecótonos (t) foram a única fitofisionomia que apresentou incêndios em todos os anos do estudo.

Tabela 10 – Área anual por fitofisionomia afetada por incêndios florestais em Roraima.

Ano	Formação							Total (km <sup>2</sup> )
	D	F	t	L	A	S	T	
2000	2,13	0,15	0,24			0,23		2,75
2001	3,33	3,55	146,34	0,04		0,49	1,27	153,26
2002	0,42	0,46	1,88			1,34	0,07	2,75
2003	239,48	21,54	1747,35	136,97	19,66	0,11	0,65	2165,01
2004	0,26		1,46					1,72
2005			0,01					0,01
2006	1,03	0,00	11,78				0,51	12,81
2007	53,07	0,99	613,00	29,27	0,06	0,30	0,02	696,39
2008	0,65		5,35					6,00
2009			0,08					0,08
2010	1,30		15,61					16,91
Total (Km <sup>2</sup> )	301,68	26,69	2543,10	166,28	19,72	2,47	2,52	3062,46
%	9,85	0,87	83,04	5,43	0,64	0,08	0,08	100,00

D – Floresta Ombrófila Densa; F – Floresta estacional Semidecidual; t – Ecótono; L – Caminarana; A – Floresta Ombrófila Aberta; S – Savana e T – Savana Estépica

As florestas de contato (estacionais e ecótonos) foram as mais impactadas por incêndios florestais por possuírem uma grande concentração de áreas de assentamentos humanos (e.g. Apiaú, Roxinho, Campos Novos, Confiança, etc) e por terem condições ambientais que favorecem a rápida expansão dos fogos nestas áreas. Neste último caso, pode-se citar a presença de espécies decíduas e semidecíduas (favorecendo maior quantidade de material combustível fino no solo da floresta) e, período seco mais longo do que as áreas de florestas ombrófilas do sul do Estado (favorecendo altas temperaturas e menor umidade no interior da floresta) (BARBOSA et al., 2003).

Foi nas florestas de contato com a Savana e ao longo das rodovias federais (BR 174 e BR 210) que os assentamentos se estabeleceram. Naturalmente os colonos utilizaram os recursos florestais como base primária de sustentação financeira e, em seguida, as atividades agropecuárias. Contudo, a agropecuária modifica o uso original da terra e traz como consequência a fragmentação da estrutura florestal (COCHRANE E LAURANCE, 2008). Além do desmatamento e do corte seletivo, a estrutura florestal vai se simplificando devido a condições ambientais adversas no interior das florestas. As condições das florestas de contato, menos densas, não servem de barreira natural antifogo. Elas são bem mais secas e ventiladas. Naturalmente essa condição já é propícia para a entrada do fogo. Essa condição se torna ainda mais inflamável quando associada ao desmatamento e ao uso da terra. Esses, por sua vez, associados aos longos períodos secos (em Roraima podem se expandir por mais de seis meses), se potencializam em ano El Niño, resultando em incêndios florestais.

A pouca entrada de fogo nas florestas através das savanas (SF) pode ser explicada devido à reduzida biomassa que forma os ambientes naturais das savanas regionais (BARBOSA e FEARNSSIDE, 2005). A savana é altamente inflamável no período de estiagem, o fogo é de alta temperatura ( $> 600-750^{\circ}\text{C}$ ), porém não se sustenta por longo tempo ( $< 120$  segundos) (MIRANDA et al., 1996). Assim sendo, não consegue penetrar com alta intensidade em sistemas florestais mais densamente povoados por vegetação arbórea (e.g. ilhas de mata presentes nas savanas). Isso foi notado com maior intensidade em anos mais úmidos ou normais, enquanto que em anos de extrema seca (e.g. 2003), o fogo conseguiu penetrar mais facilmente devido à maior inflamabilidade destes ambientes ( $<$  umidade no material combustível,  $>$  temperatura e  $<$  umidade do ar).

#### 4.4 ESTIMATIVA DO DESTINO DO CARBONO

Excluindo-se o carbono presente na biomassa viva remanescente (vegetação que não sofreu alteração) dos incêndios florestais ocorridos em Roraima entre 2000-2010, foi estimado que  $8,07 \times 10^6$  t C seguiu três destinos: (i)  $0,92 \times 10^6$  t C ( $0,03$  t C ha ano<sup>-1</sup>) ficaram estocados na forma de carvão (longo prazo),  $3,56 \times 10^6$  t C ( $1,05$  t C ha ano<sup>-1</sup>) foram emitidos instantaneamente (gases) e  $4,41 \times 10^6$  t C ( $1,31$  t C ha ano<sup>-1</sup>) entraram em processo de decomposição (necromassa). As florestas de contato (t - Ecótonos) foram as que mais emitiram carbono a partir dos incêndios florestais (81,76%) seguido pela floresta ombrófila densa (11,2%), campinarana (5,2%), floresta estacional semidecidual (1,2%), floresta ombrófila aberta (0,7%) e por último, os sistemas florestais presentes nas savanas (tabela 11).

Tabela 11 – Destino do carbono a partir dos incêndios florestais (grandes grupos) ocorridos em Roraima entre 2000-2010.

Destino do Carbono (t C)			
Formação	Carvão	Decomposição	Emitido
A	607,30	29130,66	23482,27
D	10362,94	497267,43	400700,17
F	1089,34	52298,50	42121,04
L	4747,55	227664,33	183571,98
t	75331,80	3612967,15	2912829,56
T	0,18	8,31	6,78
S	0,16	7,61	6,22
Total	92139,26	4419344,00	3562718,02

D – Floresta Ombrófila Densa; F – Floresta estacional Semidecidual; t – Ecótono; L – Caminarana; A – Floresta Ombrófila Aberta; S – Savana e T – Savana Estépica.

Durante o período de 2000 – 2010, os anos 2003, 2005, 2007 e 2010 foram anos com passagem de El Niño. Nesses anos foram atingidos ~7 milhões de t C

(~94%) por incêndios florestais (tabela 12), indicando a grande susceptibilidade da floresta ao fogo nesses anos mais secos.

Tabela 12 – Carbono atingido por incêndios florestais em anos El Niño, La Niña e Normal.

<b>Evento</b>	<b>Anos</b>	<b>t C</b>	<b>%</b>
El Niño	2003-2005-2007-2010	7588240,3	94
La Niña	2000-2001-2008	431577,0	5
Normal	2002-2004-2006-2009	50825,1	1
Total		8070642,5	100

Somente após o grande incêndio ocorrido em Roraima durante uma passagem do evento El Niño nos biênios 1997-1998, onde foram incendiados ~12.000 km<sup>2</sup> de florestas primárias (~42 milhões de t C atingidos, sendo ~31 milhões de t C em sistemas florestais primários), que a comunidade científica acelerou os estudos sobre as emissões de GEE (base no carbono) que eram derivados dos incêndios na Amazônia (BARBOSA e FEARNSTAD, 1999; NEPSTAD et al, 1999). Contudo, este ainda tem sido um grande ponto de discussão nos últimos anos, pois os relatórios sobre emissões de GEE no Brasil (e.g. BRASIL, 2010) não contemplam esta fonte de emissão devido às grandes incertezas quanto a área, tipo florestal e composição dos gases emitidos.

Por outro lado, os estudos estão avançando e incluindo variáveis que contemplam os grandes eventos climáticos que interferem na área e na quantidade de gases emitidos. Por exemplo, Alencar et al. (2006) ao fazer um estudo sobre área atingida e emissões de carbono em anos El Niño e não-El Niño em três locais da Amazônia, detectou que a área atingida por incêndios florestais em anos El Niño é 13 vezes superior ao de anos não-El Niño, representando duas vezes a área de desmatamento anual da Amazônia. No estudo em tela, em anos El Niño, o carbono atingido foi 17 vezes maior do que em anos La Niña e 149 vezes maior do que em anos normais. Essa incoerência entre os anos La Niña e Normal se deve ao fato de que em 2001, que é considerado um ano La Niña, as chuvas corresponderam a um ano dentro das normais climáticas (> 35,4 mm mensais entre outubro/2000 e

março/2001 – período seco na região). No entanto, esse ano representou o terceiro maior valor em termos de área afetada (155,01 km<sup>2</sup> atingidos pelo fogo), em especial porque o sistema de prevenção e controle dos incêndios ainda não havia sido articulado de forma adequada.

Dados sobre emissões de GEE publicados no Relatório Técnico Sintético elaborado pelo INPE (2009) sobre as Estimativas das Emissões de CO<sub>2</sub> por Desmatamento na Amazônia Brasileira, tomando o período de 1999 a 2008, indicam que as emissões brasileiras contabilizam cerca de 750 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano (em 2007 e 2008, devido a queda das taxas de desmatamento, a média de emissões cai para 520 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano). Importante ressaltar que essas estimativas não incluem as emissões por incêndios florestais, ainda indicando incertezas nos valores anuais brasileiros, em especial para toda a Amazônia. Tomando como base o estudo em tela, e considerando que a área desmatada anualmente (~277 km<sup>2</sup>) em Roraima é equivalente ao total anual atingido por incêndios florestais (278 km<sup>2</sup>), estima-se que o total de carbono emitido na forma de CO<sub>2</sub> ao longo dos 10 anos foi de ~13 milhões t (~1,19 milhões de t por ano). Isso significa que Roraima, apesar de ter uma das menores taxas de desmatamento de toda a Amazônia (< 300 km<sup>2</sup> por ano), pode representar 0,15% de novas emissões de CO<sub>2</sub> por incêndios florestais em relação às emissões anuais da Amazônia (750 milhões de t/CO<sub>2</sub>/ano). Portanto, estimativas mais elaboradas das emissões de GEE (com base no carbono) por incêndios florestais podem fornecer respostas mais efetivas aos tomadores de decisão sobre a importância desta fonte emissora para toda a Amazônia.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil, ao se tornar parte integrante da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima na Cúpula da Terra (Rio de Janeiro, junho de 1992) assumiu, entre outros compromissos, informar as quantidades de GEE que emite por fonte. O Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal (BRASIL, 2010) apresentou um avanço em relação às informações do setor de mudança do uso da terra e florestas, contudo, as emissões por incêndios florestais não foram contempladas. Essa lacuna se deve ao fato das

dificuldades encontradas em detectar os fogos devido a diferentes matrizes RGB, derivando vetorizações de imagens de satélite que podem sinalizar tanto fogos de diferentes intensidades como outros ambientes e usos da terra que não são fogos florestais. Portanto, um desafio à detecção e mapeamento destas cicatrizes que se apagam muito rapidamente (< 8 meses) em ambientes de trabalho com uso de imagens Landsat TM/ETM+ (COCHRANE e SOUZA, 1998). As técnicas automatizadas que poderiam agilizar esse levantamento apresentam graus de incerteza grandes quando aplicadas em largas áreas, como é o caso da grande bacia Amazônica (LU et al., 2003).

Diversos estudos utilizam técnicas automatizadas, porém são aplicadas à pequenas áreas e muitas vezes é possível realizar a verdade de campo ainda no período que está sendo realizada a pesquisa (VASCONCELOS et. al, 2011). Por exemplo, Lima et al. (2012) realizaram um estudo para identificar a relação espacial entre fogo e desmatamento nos processos de uso e mudança do uso da terra na Amazônia brasileira, aplicando a técnica de classificação não supervisionada (vetorização automática das cicatrizes de fogo), em uma área de estudo compreendida apenas por uma única cena: 231/67 (Landsat TM5). O presente estudo compreendeu oito cenas anuais que recobrem o universo florestal atingido por fogos em Roraima. A técnica utilizada neste trabalho permitiu estimar a biomassa e o carbono atingido por incêndios florestais, contribuindo com as informações sobre a dinâmica do destino do carbono atingido. Entender essa dinâmica permite traçar cenários atuais reais para auxiliar nos esforços que vem sendo desenvolvidos pelos institutos de pesquisa que projetam modelos de clima (CANDIDO et. al., 2007). Além disto, auxiliam os gestores no sentido de implementar ações de desenvolvimento regional que levem em consideração o princípio da precaução e prevenção.

Muitas dificuldades foram encontradas ao longo da realização deste trabalho. A primeira diz respeito às datas das cenas disponíveis no catalogo de imagens do INPE. O critério para a seleção das imagens era o de datas próximas ao período seco (março e abril). Nem sempre eram encontradas imagens sem cobertura de nuvens (limpa) nesses meses, então foi necessário aumentar esse intervalo para setembro – outubro. Isso só foi possível porque a assinatura espectral ainda era visível mesmo após 6-7 meses da ocorrência dos incêndios. Outra etapa que apresentou dificuldades foi a da vetorização dos polígonos de fogo. Ao encontrar

uma mancha, não bastava simplesmente vetorizá-la. Era necessário verificar o comportamento dessa mancha no ano anterior e no ano seguinte ao que estava sendo trabalhado. Além disto, foi necessário considerar outros fatores envolvidos, por exemplo, o contexto onde a mancha estava inserida: se em áreas de desmatamentos/assentamentos, se áreas de reservas indígenas, se áreas de extração seletiva.

Em áreas estabelecidas de extração seletiva, muitas vezes podia-se detectar uma linha em direção a mancha na floresta que é conhecido como o carreador, ou seja, o corredor por onde os caminhões (ou tratores) transitam para carregar a madeira cortada. Nesse caso o polígono era marcado como incêndio em extração seletiva. Outra característica encontrada nas imagens que deixava margem para dúvida era o padrão de cores de determinadas manchas. Por exemplo, ao encontrar uma mancha de fogo próximo a um assentamento ou áreas de desmatamento, era necessário verificar como essa mancha estava no ano anterior e no ano seguinte. Sem essa tarefa, não seria possível saber que tipo de vegetação havia incendiado. Feito essa validação, muitas vezes no ano anterior a cor da mancha se pronunciava mais clara, indicando uma floresta em estágio de regeneração. Tons de verde escuro indicavam floresta madura, contudo, com grau de incerteza grande quanto à sua maturidade, visto que muitas das vezes as manchas incendiadas podiam representar áreas exploradas e abandonadas de mais de uma dezena de anos.

Outra dificuldade encontrada foi em relação à intensidade dos fogos. Fogos de baixa intensidade não estressam a floresta suficientemente para produzir a resposta espectral na imagem (mudanças na composição RGB). Apenas os fogos de alta (e parcialmente os de média) intensidade foram considerados, pois eram os únicos com impacto de calor suficiente para estressar as copas das florestas. Por outro lado, os fogos florestais rasteiros de baixa intensidade, que não puderam ser representados neste estudo, também impactam o estoque de carbono dos sistemas florestais. Mesmo em menor quantidade, estes fogos produzem carvão, emitem gases e aumentam a mortalidade de árvores de menor porte. Logo, embora o destino do carbono representado neste estudo signifique a maior parte das áreas atingidas, uma porção de menor expressão deixou de ser contabilizada, precisando de um protocolo de campo específico para tal fim.

## 5 CONCLUSÕES

- . A área impactada por incêndios florestais durante o período de 2000 – 2010 correspondeu, em valores, a área desmatada em Roraima para o mesmo período;
- . Anos El Niño conduzem a maiores chances de ocorrência de fogos florestais contínuos. Contudo, anos considerados como dentro das normais climáticas também podem produzir pequenos incêndios que, somados, conduzem a áreas significativamente impactadas;
- . Os tipos florestais mais atingidos por incêndios foram os sazonais (ecótonos e florestas estacionais), onde estão estabelecidos grandes projetos de assentamento humano;
- . A maior parte do carbono atingido é emitido ou entra em decomposição. Uma pequena parte se transforma em carvão (estoque de longo prazo);
- . Técnicas de interpretação em imagens de sensores remotos orbitais, identificação e detecção de áreas incendiadas podem produzir resultados positivos quando realizados por corpo técnico local, pois são os profissionais que conhecem o local que está sendo estudado. Isso faz com que a identificação de localidades com maior potencial de incêndios florestais possa otimizar a aplicação dos recursos utilizados na fiscalização;
- . Entender a dinâmica dos incêndios florestais que ocorrem no estado de Roraima através do mapeamento das fontes de ignição do fogo, da área afetada, dos tipos florestais mais impactados, frequência do fogo e local pode auxiliar os atores locais e tomadores de decisão no desenvolvimento de políticas públicas e ações voltadas para essa temática.

## REFERÊNCIAS

- AIBA, S; KITAYAMA, K. Effects of the 1997–98 El Niño drought on rain forests of Mount Kinabalu, Borneo. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 18, p. 215-230, Mar. 2002.
- ALENCAR, A; NEPSTAD, D. C.; DIAZ, M. C. V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, Washington, v.6, p. 1–17, Feb. 2006.
- ALENCAR, A; SOLÓRZANO, L.A; NEPSTAD, D. C. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. **Ecological Applications**, Ithaca, v. 14, p. 139-149, 2004.
- ARAGÃO, L.E.O.C. et. al. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n.7, Apr. 2007.
- BARBOSA R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G.; **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA. 1997. 630p. p. 325-336.
- BARBOSA, R. I. Distribuição espacial e temporal de focos de calor em Roraima detectados pelo NOAA-AVHRR (1999-2009). In: IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. Curitiba, 2010. **Anais...** Curitiba: FUPEF - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2010. p. 363-370
- BARBOSA, R.I.; FEARNESIDE, P.M. Incêndios na Amazônia Brasileira: Estimativa da emissão de gases de efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento “El Niño” (1997/1998). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 29, n. 4, p. 513-534, Nov. 1999.
- BARBOSA, R.I.; FEARNESIDE, P.M. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Philadelphia, v. 216, p. 295-316, Sep. 2005.
- BARBOSA, R.I.; FEARNESIDE, P.M. **Estimativa da biomassa total das fisionomias florestais da amazônia legal com base no banco de dados georreferenciado do IBGE**. Boa Vista: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Núcleo Roraima. (Em produção em 02 fev. 2011.)
- BARBOSA, R.I; PINTO, F.; KEIZER, E. Ecossistemas Terrestres de Roraima: Área e Modelagem Espacial da Biomassa. In: BARBOSA, R.I.; MELO, V. F. **Roraima: Homem, Ambiente e Ecologia**. Boa Vista: FEMACT. 2010. 644p. p. 347-368.
- BARBOSA, R. I. et. al. Forest Fires in Roraima, Brazilian Amazonia. **International Forest Fire News**, v. 28, p. 51-56, Jan./Jun. 2003.

BARBOSA, R.I. et al. Cinzas na Amazônia: incêndios florestais reencontram Roraima. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 207, p. 22-27, ago. 2004.

BARLOW, J., AND C. A. PERES. Ecological responses to El Niño-induced surface fires in central Amazonia: management implications for flammable tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, London, v. 359, p. 367–380, Mar. 2004

BARLOW, J. et al. Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. **Ecology Letters**, Oxford, v. 6, p. 6-8, Dec. 2003.

BARLOW, J.; PERES. C. A. Fire-mediated dieback compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, London, v. 363, p. 1787-1794, May 2008.

BEAMAN, R. S. et al. Drought and forest fires in Sabah in 1983. **Sabah Society Journal**, Malasya, v. 8, p. 10-30, 1985.

BEARD. J. S. The savanna vegetation of the Northern Tropical America. **Ecological Monographs**, Ithaca, v. 23, n. 2, p. 149-215, Apr. 1953.

BESERRA-NETA, L. C.; TAVARES JUNIOR, S. S. Geomorfologia do Estado de Roraima por sensores remotos. In: Silva, P. R. F.; Oliveira, R. S.; **Roraima 20 anos. As Geografias de um novo Estado**. Boa Vista: UFRR. 2008. 276p. p. 168-192.

BIDDULPH, J.; M. KELLMAN. Fuels and fire at savanna gallery forest boundaries in southeastern Venezuela. **Journal of Tropical Ecology**. Cambridge, v.14, p. 445-461. July 1998.

BRANDO, P. M. et. al. Fire-induced tree mortality in a neotropical forest: the roles of bark traits, tree size, wood density and fire behavior. **Global Change Biology**, Oxford, v. 18, p. 630-641, Feb. 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, v. 1, 2010, 240 p.

CANDIDO, L. A. et al. O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização. **Ciência e Cultura** (SBPC), São Paulo, v. 59, n. 3, p. 44-47, Set. 2007.

COCHRANE, M.A.; SOUZA, C.M. Linear mixture model classification of burned forests in the Eastern Amazon. International. **Journal of Remote Sensing**, Basel, v. 19, n. 17, p. 3433-3440. 1998.

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

COCHRANE, M, A.; LAURANCE, W. Synergisms among Fire, Land Use, and Climate Change in the Amazon. **AMBIO**, Oxford, v. 37, n. 7-8, p. 522-527, Dec. 2008.

COCHRANE, M. A; BARBER, C. P. Climate change, human land use and future fires in the Amazon. **Global Change Biology**, Oxford, v. 15, p. 601-612, Mar. 2009.

COCHRANE, M. A. et al. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Science**, Washington, v. 284, 1832-1835, Jun. 1999.

COLLINS, M. A. E. El niño or la niña like climate change? **Climate Dynamics**, London, v. 24, p. 89-104, Jan. 2005.

ELVIDGE, C.D. et al. DMSP-OLS estimation of tropical forest area impacted by surface fires in Roraima Brazil: 1998 versus 1995. **International Journal of Remote Sensing**, Basel, v. 22, n. 14, p. 2661-2673, 2001.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. Versão 9.3 2008. 1 CD-ROM

FEARNSIDE, P.M. Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. **Climatic Change**, Dordrecht v. 46, p. 115-158, July 2000.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 2003. 134p.

FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 16, n. 44, jan./abr. 2002.

FERREIRA E. et al. **Rio Branco**: peixes, ecologia e conservação de Roraima. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA): Manaus, 2007. 201 p.

GERWING, J.J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Philadelphia, v.157, p. 131-141, out. 2002.

GEVAERD, R.; FREITAS, S. R.; LONGO, K. Numerical simulation of biomass burning emissions and transportation during 1998 Roraima fires. In: 8 th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Foz do Iguaçu, 24-28 Apr. 2006. **Anais...** Foz do Iguaçu, Brasil. 2006. p. 883-889.

HOLDSWORTH, A. R.; UHL, C. Fire in eastern Amazonian logged rain forest and the potential for fire reduction. **Ecological Applications**, v.7, p. 713-725, 1997.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira** - Manuais Técnicos em Geociências no 1. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 92p. 1992

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Ocorrência de El Niño nos últimos 130 anos**. Disponível em [www.cptec.inpe.br/enos](http://www.cptec.inpe.br/enos). Acesso em 15/01/2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Estimativa das emissões de CO2 por desmatamento na Amazônia Brasileira**. Relatório Técnico Sintético, 2009. Disponível em [www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/Emissoes\\_CO2\\_2009.PDF](http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/Emissoes_CO2_2009.PDF)

KAUFFMAN, J.B. Survival by sprouting following fire in tropical forests of the Eastern Amazon. **Biotropica**, Lawrence, v.23, n.3, p. 219-224, Sept. 1991.

KITAYAMA, K. Climate of the summit region of Mount Kinabalu (Borneo) in 1992, an El Niño year. **Mountain Research and Development**, v. 16, p. 65–75, 1996.

KNOCH, K. Die Starke atmosphärische Trubung im Jahre 1926 in Venezuela, **Meteorol. Z.**, v. 43, 421 p. 1926.

KNOCH, W. Der Einfluss von Vegetationsbranden auf die Witterung. **Meteorol. Z.**, v. 54, p. 243-254. 1937.

KOCH-GRÜNBERG, T. Vom Roraima zum Orinoco. **Dietrich Reimer**, Berlin, v. 1, p. 406, 1917.

LIMA, A. et al. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography**, Philadelphia, v. 34, p.239-246, May 2012.

LIOUSSE, C. et al. Deriving global quantitative estimates for spatial and temporal distributions of biomass burning emissions. In: GRANIER, C.; ARTAXO, P.; REEVES, C. **Emissions of trace gases and aerosols into the atmosphere**. London: Kluwer Academic Publishers, 2004.

LOWTY, J. B.; LEE, D. W.; STONE, B. C. Effect of drought on Mount Kinabalu. **Malayan Nature Journal**, v. 26, p. 178-179, 1973.

LU, D.; MORAN, E.; BATISTELLA M. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. **Remote Sensing of Environment**, Philadelphia, v. 87, n. 4, p. 456-469, Nov. 2003.

MARENGO, J.A. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, Washington, v. 21, n.3, p. 495-516, Feb. 2008.

MENDOZA, E. R. H. **Susceptibilidade da floresta primária ao fogo em 1998 e 1999: Estudo de caso no Acre, Amazonia Sul-Occidental, Brasil**. 2003. 43 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) Departamento de Ciências da Natureza, Universidade Federal do Acre. 2003.

MIRANDA, H. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: MIRANDA, H. S.; DIAS, B. F. S.; SAITO, C. H. (orgs.). **Impacto de queimadas em área de cerrado e restinga**. Brasília: ECL/Universidade de Brasília, 1996. p. 1-10.

NAKAGAWA, M. et al. Impact of severe drought associated with the 1997-1998 El Niño in a tropical forest in Sarawak. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 10, p. 355-367, Jun. 2000.

NEPSTAD, D.C. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, New York, v. 398, p. 505-508, Apr. 1999a.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A; ALENCAR, A. A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. **Brazil Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest**. Brasília: MCT, 1999b. p. 172.

NELSON, B.W. Natural disturbance and change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing Reviews**, London, v.10, p. 105-125, 1994.

PERES, C. A. Ground fires as agents of mortality in a Central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 15, n. 4, p. 535-541, Jun. 1999.

PHULPIN, T. et al. Using SPOT-4 HRVIR and VEGETATION sensors to assess impact of tropical forest fires in Roraima, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, Basel, v. 23, n. 10, p. 1943-1966, 2002.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital image Analysis – an introduction**. Springer-Verlag, Austrália, 1993, 340p.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S.; Precipitation patterns associated with high index phase of Southern Oscillation. **Journal of Climate**, Washington, v. 2, n. 3, p. 268-284, March 1989.

SHIMABUKURO, Y.E. et al. Roraima: o incêndio visto do espaço. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 157, p. 32-34, fev. 2000.

SILVA, L.F.S.G. **Produtividade de liteira grossa em duas áreas de florestas de transição (contato) não-perturbadas de Roraima**. 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2011.

SOUZA, E. B. et al. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazonica**, Manaus, v.30, n.2, p.305-318, Jun. 2000.

UHL, C; BEZERRA, O; MARTINI, A. Ameaça à Biodiversidade na Amazônia Oriental. **Série Amazônia**, Belém do Pará: Imazon, 1999. v.6, 34p.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the eastern Amazon. **Biotropica**, Lawrence, v.17, p.265-268, Jun. 1985.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation effects on fire susceptibility and the potential response of tree species to fire in the rain forest of the eastern Amazon. **Ecology**, v. 71, p.437-449, 1990.

VASCONCELOS, S.S. et al. Mapeamento das áreas afetadas por incêndios florestais no sul do Amazonas e estimativas das emissões potenciais de carbono. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 2011. **Anais...** Curitiba: SBSR, 2011. p. 8059- 8066.

WALSH, R. P. D. Drought frequency changes in Sabah and adjacent parts of northern Borneo since the late nineteenth century and possible implications for tropical rain forest dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.12, p. 385-407, Apr. 1996.

WILLIAMS, E. et al. The drought of the century in the Amazon Basin: an analysis of the regional variation of rainfall in South America in 1926. **Acta Amazonica**, Manaus v. 35, n.2, p. 231-238, Abr. 2005.