



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

WANDERSON FARIAS DA SILVA JUNIOR

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM FRAGMENTOS
FLORESTAIS IMPACTADOS POR QUEIMAS**

Prof. Dr. MARCOS GERVASIO PEREIRA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
ABRIL – 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

WANDERSON FARIAS DA SILVA JUNIOR

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM FRAGMENTOS
FLORESTAIS IMPACTADOS POR QUEIMAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. MARCOS GERVASIO PEREIRA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
ABRIL – 2022

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM FRAGMENTOS
FLORESTAIS IMPACTADOS POR QUEIMAS**

WANDERSON FARIAS DA SILVA JUNIOR

APROVADA EM: 19/04/2022

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. MARCOS GERVASIO PEREIRA – UFRRJ
Orientador

LUIZ ALBERTO DA SILVA RODRIGUES PINTO – UFRRJ
Membro

PABLO HUGO AUGUSTO FIGUEIREDO – JARDIM BOTÂNICO UFRRJ
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus e ao destino, por terem sido tão bondosos e generosos comigo, colocando em meu caminho pessoas e oportunidades incríveis!

Falando das pessoas que passaram por meu caminho, em primeiro lugar está a pessoa que é representação máxima de força, garra e inspiração para mim, a minha mãe. A mesma me acompanha desde o meu primeiro momento de vida e continua me acompanhando até os dias de hoje. Ela começou a trabalhar aos 14 anos para ajudar no sustento de sua família, e fez de tudo para que eu pudesse ter a melhor formação possível, se sacrificando em inúmeros momentos por mim. Quando acho que algo está difícil, penso em minha mãe e vejo que o problema não é tão grande assim!

Em segundo lugar vem o meu pai, o melhor espelho que pude ter, tanto como homem quanto pai. Agradeço muito a chance de ter tido um pai, pois vi muitos homens após engravidar uma menina nova sumirem, o que causa sequelas inimagináveis, contudo meu pai permaneceu e apoiou a minha mãe em todos os momentos, o que fez muita diferença. O apoio desses dois foi fundamental para que eu pudesse sonhar em romper o ciclo das pessoas da minha família e dos locais de onde eu morei, entrando assim na Universidade.

Em terceiro lugar venho agradecer a minha avó Márcia que fez inúmeros sacrifícios, ajudando e muito a minha mãe a cuidar de mim e me ajudando no processo de formação como pessoa. Tenho inúmeras recordações de todos os momentos que passamos juntos na sua antiga casa. Todos que serão citados tiveram grande importância para eu ser quem sou hoje, mas sem esses 3 absolutamente nada seria possível!

Agradeço também a Débora, a mulher que me ajudou em tanta coisa, me ensinou tanta coisa e está ao meu lado desde o início da minha entrada na Universidade. Me deu suporte emocional para conseguir conquistar tudo o que conquistei dentro da Universidade, esteve comigo quando as coisas deram certo e, principalmente, quando não davam certo. Sou grato por você ter cruzado o meu caminho!

Sou grato também pela pessoa amiga e carinhosa, que tem uma grande luz e alegria dentro de si, um girassol que contagia todo ambiente onde passa, minha tia Bianca. Agradeço também a minha tia avó Marcela, por quem tenho um grande carinho e apreço pois desde que eu era criança, foi uma pessoa muito bondosa comigo.

O que falar sobre o Erikliis, meu grande amigo, meu parceiro, a pessoa que falo todo santo dia com inúmeros áudios e conversas aleatórias?! Você me ajudou em tanta coisa, aprendi

tanta coisa contigo... espero que nossa amizade, apesar da distância geográfica, possa ser duradoura!

Bom, de maneira geral, na Universidade passaram pessoas incríveis pelo meu caminho, como o Yann e Matheus. Jamais esquecerei todos os momentos divertidos que compartilhamos!

Antes de agradecer a UFRRJ por ter me dado a oportunidade de cursar o ensino superior num curso de altíssima qualidade, com profissionais extremamente qualificados e de forma gratuita, quero agradecer ao professor Gervasio por tudo que fez para comigo. Como disse para o mesmo, havia um Wanderson antes de conhecer/trabalhar com o Gervasio e um Wanderson completamente diferente após esse momento... sem dúvidas o professor que marcou a minha vida!

Através do mesmo pude conhecer pessoas incríveis como o Luiz, um verdadeiro anjo na Terra! Nosso professor das análises, conselheiro, sempre de bem com a vida... como riamos naquele laboratório!

Outra pessoa que pude me aproximar por conta do professor foi o Robert, que apesar de ser biscoiteiro demais, eu tenho um grande carinho! Amigo, você é perfeito e quero te levar para o resto da minha vida, apesar da distância!

Um salve especial para o Brito, a lenda Manauara que tive o prazer de conhecer, também no laboratório do Gervasio, e mantenho contato até os dias de hoje. Obrigado por tudo!

Agradeço muito ao Pablo, doutorando do Jardim Botânico da Rural por ceder as amostras da sua tese para que eu pudesse fazer esse TCC, além da ajuda com a estatística contida neste trabalho. Meus mais sinceros muito obrigado!

Agora, de maneira geral, agradeço a todos os locais que estagiei dentro da Universidade, já que em cada um deles eu tive a oportunidade de aprender, crescer e me desenvolver, não só como profissional, mas sobretudo como pessoa! O Viveiro Florestal foi o local onde tudo começou, local onde conheci o Tião e Professor Arthur, duas pessoas incríveis! A Flora Jr., Empresa Junior do curso, foi a que me fez permanecer no curso de Engenharia Florestal pois naquele momento eu estava cheio de dúvidas e incertezas se era esse mesmo o caminho que eu queria seguir e a Empresa Junior foi fundamental nessa tomada de decisão. A Universidade além de me fornecer experiências, ainda me remunerou por algumas delas como monitoria e a Iniciação Científica, duas experiências que mudaram minha vida! Agradeço também ao Grupo PET Florestas, grupo este fundamental para que eu pudesse ampliar a minha visão das ações e responsabilidades do Engenheiro Florestal quanto agente transformados da sociedade.

Por fim, meu agradecimento vai a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por permitir que um jovem negro, que nasceu numa comunidade, e viveu nela por anos, pudesse,

através da educação pública, gratuita e de qualidade, sonhar com uma mudança de vida, não somente no âmbito social/financeiro, mas principalmente no cultural! A possibilidade de conviver com pessoas diversas me fez crescer muito como ser humano! Creio que posso afirmar sim que entrei na Rural de um jeito e saio de uma forma completamente diferente, sendo esta nova versão de mim mesmo muito mais crítica, consciente, questionadora e politizada! Início que ativou em mim e fez tudo ficar mais claro por meio do meu processo de aceitação, evolução e autoconhecimento. Encerro este ciclo da vida Ruralina com o peito coberto de amor, gratidão e dominada pela esperança pela educação pública ser acessível e de qualidade para todos os brasileiros. Dentro da Rural eu aprendi a ser uma pessoa melhor a cada dia e nunca abandonar ou deixar de lado o meu senso de justiça e o espírito humanitário que me transborda.

RESUMO

O fogo está interligado com diversos processos físicos e químicos do solo, pois o mesmo aumenta a temperatura da superfície do solo catalisando o processo de decomposição da matéria orgânica do solo, causando modificações sendo uma destas a redução da fertilidade do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do fogo nos teores e estoques de carbono orgânico do solo e nas diferentes frações da matéria orgânica em fragmentos florestais. Para o estudo, foram delimitadas 12 sub-parcelas e nestas coletadas três amostras simples a uma profundidade de 0 a 10 cm no início, meio e fim de cada sub-parcela. Dessa forma foi obtida uma amostra composta por sub-parcela, sendo um total de 24 amostras compostas, a fim de quantificar os teores de carbono e as diferentes frações da matéria orgânica do solo (MOS); a saber: carbono orgânico particulado (Cop), carbono orgânico associado aos minerais (Coam), e com o emprego da densidade do solo (Ds) foram calculados os estoques de carbono orgânico total (ECOt) carbono particulado (ECOp) e carbono orgânico associado aos minerais (ECOam). Adicionalmente foram calculadas as relações %ECOp, %ECOam e Cop/Coam. Através da análise dos componentes principais verificou-se que o Cop, ECOp, %ECOp e a relação Cop/COam foram as variáveis mais influenciadas em função do número de anos desde o último incêndio, sendo observada uma correlação positiva. Por outro lado, para a %ECOam foi verificada uma maior correlação negativa com a variável tempo desde o último incêndio. Para os atributos COt, COam, ECOam e ECOt não foi verificada uma correlação direta com tempo desde o último incêndio, sugerindo que estes estão mais associados a outros fatores do que o fogo, como por exemplo as características físicas e químicas do solo; o tipo de vegetação presente no ecossistema; o relevo; e a disponibilidade de água. Concluiu-se que a ação do fogo tem influência direta na compartimentalização da MOS em ambiente florestal, principalmente no que se refere a fração física mais lábil e solúvel da MOS (COp). Estando essa fração diretamente relacionada ao intervalo de tempo desde a última ocorrência do evento durante o período de avaliação.

Palavras chave: Resiliência. Queimadas. Carbono orgânico. Bioma Mata Atlântica.

ABSTRACT

Fire is interconnected with several physical and chemical processes in the soil, as it increases the temperature of the soil surface, catalyzing the process of decomposition of organic matter, causing changes, one of which is the reduction of soil fertility. The objective of this study was to evaluate the influence of fire on soil organic carbon contents and stocks and on different fractions of organic matter in forest fragments, in a secondary forest located in the Guandu River Basin, in the municipality of Engenheiro Paulo Froton - RJ. For the study, 12 sub-plots were delimited and in these three simple samples were collected at a depth of 0 to 10 cm at the beginning, middle and end of each sub-plot. Thus, a sample composed by sub-plot was obtained, being a total of 24 samples composed, in order to quantify the carbon contents and the different fractions of soil organic matter (SOM); namely: particulate organic carbon (Cop), organic carbon associated with minerals (Coam), and with the use of soil density (Ds) the stocks of total organic carbon (ECOt) particulate carbon (ECOp) and associated organic carbon were calculated to minerals (ECOam). Additionally, the %ECOp, % ECOam and Cop/Coam ratios were calculated. Through the analysis of the principal components, it was found that Cop, ECOp, %ECOp and Cop/COam were the variables that were most influenced by the number of years since the last fire, with a positive correlation being observed. On the other hand, for the % ECOam there was a greater negative correlation with the variable time since the last fire. For the attributes COt, COam, ECOam and ECOt there was no direct correlation with time since the last fire, suggesting that these are more associated with factors other than fire, such as physical and chemical characteristics, the type of vegetation present, ecosystem relief and water availability. It was concluded that the action of fire has a direct influence on the compartmentalization of SOM in a forest environment, especially with regard to the more labile and soluble physical fraction of SOM (COp). This fraction is directly related to the time interval since the last occurrence of the event during the evaluation period.

Keywords: Resilience. Burns. Organic Carbon. Atlantic Forest Biome.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Ocupação do solo no Bioma Mata Atlântica.....	2
2.2 Fogo.....	3
2.4 Influência do fogo nos atributos do solo.....	4
2.5 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo	4
2.6 Estoque de carbono no solo.....	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1 Descrição da área de estudo.....	5
3.2 Histórico das áreas amostradas	7
3.3 Amostragem	9
3.4 Análises.....	9
3.4 Estatística.....	9
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
5 CONCLUSÕES.....	16
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	17
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Histórico de incêndios florestais nas áreas estudadas no período que compreende 1984-2020 no município de Engenheiro Paulo Frontin, sudeste do Brasil.....	9
--	---

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais motivos de queimadas e incêndios florestais, segundo dados dos relatórios de ocorrência de incêndios do PREVFOGO.....	4
Figura 2. Localização da região da bacia do rio Guandu no Estado do Rio de Janeiro, Brasil onde foi realizada o mapeamento do uso do solo (área em preto no painel superior direito) e das parcelas utilizadas para o processo de amostragem das florestas secundárias.....	6
Figura 3. Imagens da Floresta secundária do local de estudo	7
Figura 4. Visualização das combinações de banda de cor verdadeira R3G2B1, falsa cor R4G3B2 e a banda espectral do infravermelho próximo para delimitação manual dos polígonos de área queimada utilizadas para modelagem do histórico de incêndios na região do estudo.....	8
Figuras 5. Análise de componentes principais (PCA)	11
Figura 6. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos o COp das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.....	18
Figura 7. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos o ECOp das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos	18
Figura 8. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos a proporção de ECOp (%) das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.	19
Figura 9. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos a proporção de ECOam (%) das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.	19
Figura 10. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos a relação de ECOp/ECOam das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.	20

1. Introdução

O Brasil lidera o ranking dos países Sul-Americanos no tocante as queimadas, principalmente as provenientes das ações antrópicas (PEREIRA & SILVA, 2016). Embora o país tenha a Política Nacional do Meio Ambiente — PNMA (Lei nº 6.938/81) (BRASIL, 1981), que, em teoria, deveria garantir a preservação ambiental, a mesma não vem sendo respeitada, haja visto os índices do desmatamento na Amazônia brasileira divulgados pelo INPE, no qual entre o período de 1988 a 2017 foram perdidos 428 km² de vegetação nativa na Amazônia Legal (INPE, 2017).

A Mata Atlântica é o bioma brasileiro que mais foi impactado pela ação antrópica em função da fragmentação florestal, e atualmente, detém apenas cerca de 12,5% da sua extensão original com remanescentes florestais (INPE, 2014). Os incêndios florestais tem uma relevante contribuição para o avanço do quadro de degradação do bioma, sendo este uma das principais causas de problemas ambientais nos dias atuais (GOBBO et al., 2016). Além de influenciar nas perdas econômicas e ecológicas, o fogo ocasiona o aumento nas emissões globais de CO₂ (BOWMAN et al., 2009).

Durante o período entre janeiro e agosto de 2021 o Rio de Janeiro registrou 781 ocorrências de incêndios florestais a mais que no mesmo período de 2020 (G1, 2021). Estes, ocasionam grandes prejuízos tanto no âmbito ambiental e econômico, quanto no social ao longo de todo o mundo. Por isso, o fogo é tido como um dos principais fatores de ameaça à conservação da biodiversidade e dos processos ecológicos em todo o território nacional (WHITE, 2013).

O fogo é o produto da reação química de combustão que libera luz e calor, que ocorre por meio da presença de três elementos básicos: oxigênio, calor e combustão. Após ocorrer o início do processo, o calor produzido pela combustão gera a energia fundamental para que este possa continuar ocorrendo. Caso haja a ausência de algum desses elementos, não será possível a ocorrência do fogo (NUNES, 2019).

Já o incêndio florestal, é o termo utilizado para caracterizar queimadas de grandes proporções, sob qualquer tipo de vegetação, podendo ocorrer de maneira natural, através da incidência de raios solares, ou por meio da ação antrópica. Este tem a capacidade de alterar as características físicas, químicas, biológicas e morfológicas do solo. Além de causar modificações na quantidade de carbono (orgânico e inorgânico), nutrientes, biodiversidade da micro, meso e macro fauna, umidade, porosidade e densidade (CAPECHE, 2012).

O aumento da temperatura no solo catalisa o processo de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), causando consequências ao solo que terá boa parte da sua fertilidade reduzida (SILVA, 2000). A influência do fogo nos atributos químicos do solo, pode ocorrer através da diminuição da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, através da queima da MOS. Assim, os nutrientes serão rapidamente disponibilizados (RHEINHEIMER, 2003), podendo ser utilizados pelas espécies vegetais. Porém uma fração destes elementos pode ser perdida por lixiviação (NOGUEIRA, 2017), tornando os solos mais ácidos.

A camada superior do solo é a mais susceptível ao aquecimento e as mudanças, visto que é na superfície que se encontra a maior parte do material orgânico, que possui a capacidade de modificar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Contudo, vale ressaltar que as alterações que ocorrem a partir da ação da queima estão intrinsicamente ligadas a fatores como: a intensidade e frequência do fogo; ao tipo de material combustível; a textura do solo; as condições ambientais; e da permanência do fogo no ambiente (LORENZON, 2014).

Baseado nas considerações acima, foram testadas as seguintes hipóteses: **(H1)** a ação do fogo pode influenciar na compartimentalização da MOS em ambiente florestal; **(H2)** essa influência pode estar relacionada a frequência e/ou intervalo de tempo sob ação do fogo; e **(H3)** o tempo desde a última ocorrência do evento também pode afetar nessa compartimentalização ao longo de um gradiente temporal. Para testar as hipóteses, o estudo teve como objetivos *i*) quantificar os teores de carbono e as diferentes frações da MOS em fragmentos florestais impactados pelo fogo; e *ii*) verificar os estoques e a proporção de carbono armazenados na camada superficial desses fragmentos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ocupação do solo no Bioma Mata Atlântica

O Brasil ocupa a segunda posição no ranking dos países com a maior cobertura vegetal do mundo, possuindo seis biomas. Dentre eles estão: (1) Amazônia que ocupa as regiões Norte e parte Centro-Oeste; (2) Cerrado nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste; (3) Mata Atlântica nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul; (4) Pampas na região Sul; (5) Caatinga nas regiões Nordeste e Sudeste; e (6) Pantanal na região Centro-Oeste.

O bioma Mata Atlântica é tido como Patrimônio Nacional pela Constituição Federal (art. 255), ocupando 12% do território nacional. Segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2019), estima-se que cerca de 90% da sua cobertura original foi removida, sendo este o motivo pelo mesmo está classificado como ameaçado de extinção (VARJABEDIAN, 2010).

Pelo fato de ser composta por uma grande variedade de fitofisionomias e ecossistemas, o bioma pertence ao grupo das cinco regiões do planeta de maior prioridade para a conservação, sendo um dos “*hotspots*”, ou seja, uma das áreas mais ricas em biodiversidade, com elevado número de espécies endêmicas e mais ameaçadas do mundo (GALINDO-LEAL & CÂMARA, 2005).

As florestas estacionais semidecíduais estão entre as fitofisionomias que apresentavam originalmente uma grande representatividade no bioma, contudo foram consideravelmente reduzidas (RIBEIRO, 2011). Os principais motivos que levaram a redução, degradação e fragmentação da cobertura vegetal estão associadas a causa como: a expansão territorial para construção civil; queimadas causadas pelas ações antrópicas; e extrativismo (RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA, 2008).

O estado do Rio de Janeiro está totalmente inserido dentro deste bioma, possuindo cerca de 30% da cobertura original pertencente à Mata Atlântica e os remanescentes florestais correspondem à 18,6% de todo seu estado (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2016). De acordo com o IBGE, o estado do Rio tem quase metade do seu território ocupado pelas pastagens, ao passo que as áreas florestais correspondem quase 33% do território. Entre o período de 2014-2015/2015-2016, foi registrado um aumento no desmatamento em quase 37% e a área total de remanescentes da Mata Atlântica no estado chegou a 819.584 hectares em 2016 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2015).

Pelo fato do estado possuir uma área de aproximadamente 43.780,157 km² contendo cerca de 17.463.349 milhões de habitantes, o mesmo é tido como o estado de maior densidade demográfica de todo o país (IBGE, 2020). Sua topografia acidentada e a proximidade com o mar, são aspectos fundamentais que influenciam tanto a temperatura, quanto o regime de chuvas (SILVA & DEREZYNSKI, 2014), sendo as áreas que possuem maiores altitudes com precipitações mais elevadas, ao passo que nas regiões de baixada são verificados os menores índices pluviométricos.

As temperaturas menos elevadas são observadas nas regiões de baixada e planície, sobretudo na Zona Norte do estado, nos litorais das Baixadas Litorâneas e no Norte Fluminense, sendo verificadas médias entre 17,0 e 18,5 °C no inverno e 21,5 e 23,0 °C no verão. As temperaturas mais elevadas ocorrem nas regiões Metropolitana e Norte Fluminense, ficando na casa dos 26 e 27,5 °C no inverno e 32 e 33,5 °C no verão (SILVA & DEREZYNSKI, 2014).

2.2 A origem e dinâmica do fogo

A partir do domínio do fogo, a espécie humana iniciou uma grande jornada em busca de explorar locais até então não conquistados, causando assim modificações em todos os ecossistemas no qual a mesma passou a habitar. O fogo vem sendo utilizado desde a eliminação da vegetação lenhosa para limpeza de uma área, na caça, até no cozimento dos alimentos. Entretanto, a partir da chegada dos portugueses no Brasil e dos ciclos da extração massivo do pau-brasil (*Paubrasilia echinata*), da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), do café (*Coffea*) e do ouro, entre 1500 a 1900, houve um aumento exponencial dos desmatamentos ocorridos no bioma (TABARELLI, 2005).

Além desses usos, o fogo também serve para dar forma aos objetos, sobretudo aos metálicos, para fornecer calor durante as baixas temperaturas, o que permitiu o homem a explorar regiões mais frias do planeta, e até mesmo pode ser empregado como fonte de energia para alimentar as máquinas a vapor, como no início da Revolução Industrial no século XVIII (TOCCHETTO, 2014).

O fogo é um fenômeno natural que pode surgir em áreas secas, de clima árido e semiárido, ou que contenham algum tipo de vegetação, atuando em conjunto com o vento e a baixa umidade, fagulhas podem surgir de forma natural, causando incêndios que, em alguns casos, podem atingir enormes proporções (GOÉS, 2009). Existem também, as queimadas de origem antrópica, muito comuns em áreas rurais para a limpeza do pasto ou para o preparo do solo para o próximo ciclo cultural.

Vale destacar, que nas principais savanas do mundo, o fogo periódico é um fator ambiental imprescindível para a manutenção do equilíbrio biológico, sendo sua importância nas savanas da África e Austrália bem conhecida, entretanto existem grandes lacunas no conhecimento científico dos efeitos do fogo nas savanas do Brasil (Alves & Silva, 2011), e principalmente quando este atinge grandes áreas de produção de alimentos.

Desta forma, o fogo vem de maneira progressiva modelando toda a paisagem, modificando aspectos que vão desde a estrutura até o poder de regeneração de comunidades vegetais (SILVA et al., 2005), suprimindo drasticamente as florestas e outros ambientes naturais, como o Bioma Mata Atlântica (RIBEIRO, 2002).

2.3 Incêndios Florestais

Incêndio florestal é o termo utilizado para definir um fogo sem controle, que se desenvolve em condições intensas, e que tem a capacidade de consumir materiais combustíveis dentro da floresta. Esses eventos representam uma grande preocupação, pois mesmo que o fogo

desempenhe um importante papel na manutenção de alguns ecossistemas naturais e artificiais a sua forma descontrolada pode representar uma grande fonte de perturbação, acarretando perdas e danos materiais (NUNES, 2005).

A preocupação com os incêndios florestais é uma realidade global, não somente pelos prejuízos financeiros trazidos, mas principalmente pelos imensuráveis impactos promovidos à biodiversidade e aos ecossistemas. Adicionalmente, também trazem consequências negativas para os seres humanos, pois observa-se que durante longos eventos de extrema seca e aumento dos incêndios, os casos de doenças respiratórias aumentam, gerando mortes. Outro problema que surge em função das queimas está relacionado ao tráfego aéreo, devido a redução da visibilidade (BARLOW, 2012).

Existem alguns fatores que podem afetar e influenciar a propagação dos incêndios florestais (Figura 1) e dentre eles estão o material combustível, a umidade presente nesse material, as condições relacionadas ao clima, a topografia e o tipo de floresta. Para cada região e época do ano a ação desses fatores é distinta, causando diferenças nos padrões dos incêndios.

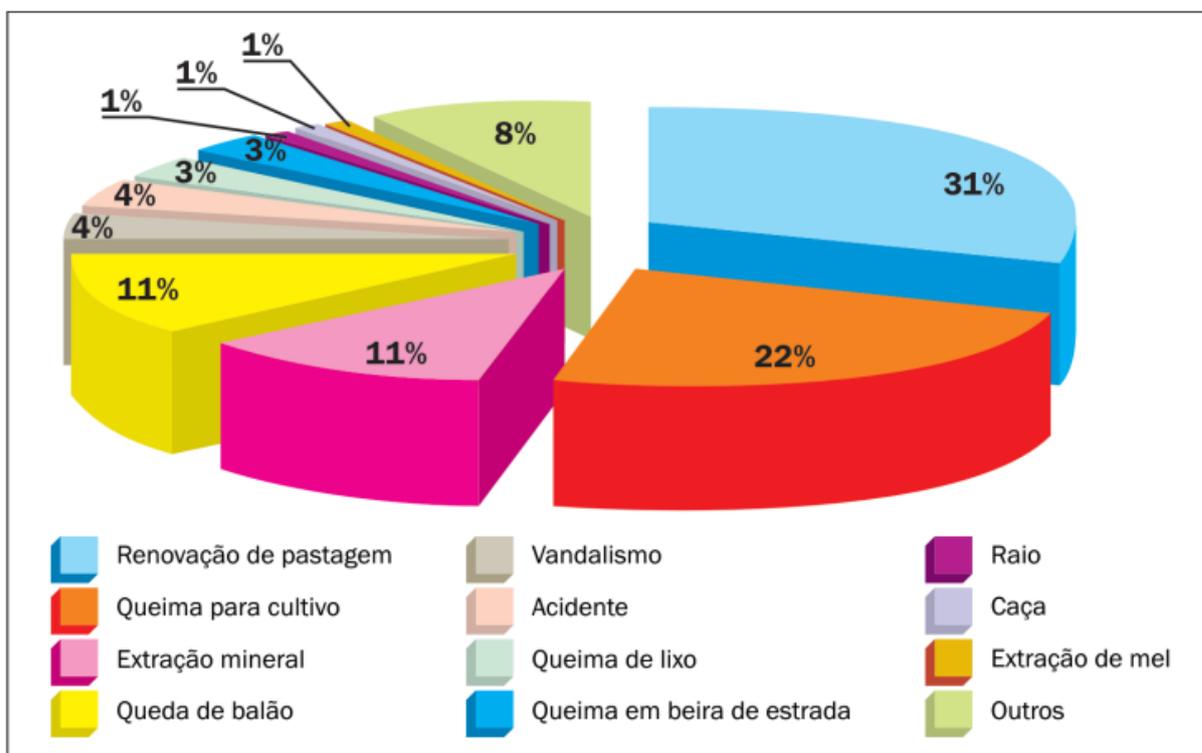


Figura 1: Principais motivos de Queimadas e Incêndios Florestais, segundo dados dos Relatórios de Ocorrência de Incêndios do PREVFOGO. **Fonte:** Dias, 2008.

2.4 Influência do fogo nos atributos do solo

O fogo tem a capacidade de gerar mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, agindo sobretudo na sustentabilidade dos ecossistemas, podendo ser fruto da decorrência das alterações na sua estrutura e funcionalidade (PORTELA, 2020).

A diminuição do volume dos macroporos, do tamanho dos agregados e da taxa de infiltração de água são algumas das alterações que ocorrem nas propriedades físicas do solo quando o mesmo é exposto ao fogo, podendo gerar um aumento da densidade do solo e, conseqüentemente, da resistência à penetração de raízes (USET, 2001).

O efeito do fogo nos atributos químicos se dá por meio da queima da vegetação que enriquece a camada superficial do solo, justamente pelo fogo atuar como um agente que catalisa o processo de mineralização (RHEINHEIMER et al., 2003). O fogo causa um aumento momentâneo dos teores de N, P, K, Ca e Mg devido as cinzas decorrentes da queima dos tecidos vegetais possuem estes nutrientes (RHEINHEIMER et al., 2003). Todavia, esses nutrientes são facilmente perdidos por lixiviação causada pela água das chuvas, acarretando em concentrações inferiores a solos que não são submetidos a ação do fogo (KNICKER, 2007).

O solo ao ter sua superfície aquecida durante a ocorrência de incêndios em temperaturas de 450 °C durante um período de 2 horas, tem aproximadamente 99% da sua MOS removida, ocorrendo alterações em sua composição (PINTO, 2009). A MOS pode ser submetida uma destilação, carbonização ou completa oxidação ao depender do incêndio a qual foi submetida (CERTINI, 2005).

2.5 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

As diferentes formas de fracionamento utilizadas nos estudos da MOS tentam reduzir a heterogeneidade das frações orgânicas, procurando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas, ao mesmo tempo, que sejam suficientemente distintas entre si (CHRISTENSEN, 2000). A escolha do método de fracionamento depende da natureza do estudo, ou seja: caracterização e identificação química de componentes específicos da MOS, ou quantificação, ou descrição dos compartimentos da MOS (COLLINS ET AL., 1997).

Para o fracionamento físico, temos dois métodos comumente utilizados, sendo eles, o fracionamento densimétrico e o granulométrico. O fracionamento densimétrico permite o isolamento e a quantificação dos compartimentos mais lábeis da MOS: a fração leve (FL), correspondente à matéria orgânica não complexada, divide-se em: leve livre (FLL) - constituída por materiais orgânicos derivados principalmente de restos de vegetais, mas que contêm quantidades de resíduos microbianos e da microfauna e apresenta rápida taxa de transformação; e leve intra-agregado (FLI) - constituída de parte da FL incorporada e fisicamente estabilizada

em macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$), compreendendo um variado conjunto de compostos orgânicos, com tamanho reduzido e grau de decomposição mais avançado em comparação a FLL. A FLL tem sido considerada como um atributo que reflete as mudanças quando submetida a diferentes sistemas de cultivo.

Já o fracionamento granulométrico visa separar MOS em duas frações básicas, obtendo-se assim o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono associado aos minerais (COam) (CAMBARDELA & ELLIOT, 1992). O COP é a fração do carbono presente na fração da MOS de tamanho semelhante à fração mineral areia ($> 53\mu\text{m}$). Ele é geralmente composto por materiais que apresentam os tecidos intactos, podendo ser resíduos de plantas, hifas ou esporos de fungos (KOGA & TSUJI, 2009). O COam está associado às frações argila e silte ($< 53\mu\text{m}$), apresenta formas de proteção que propiciam um longo tempo de permanência, proteção coloidal (KOGA & TSUJI, 2009).

O COP corresponde à fração lábil do carbono orgânico, seu método de obtenção é simples e barato, sendo mais sensível, frente as mudanças de manejo do solo. Por ser a fração mais sensível a alterações do uso e ocupação do solo e seu manejo, o COP é utilizado como indicador da qualidade da MOS em relação às alterações de manejo e a curto prazo. Por outro lado, O COam é, normalmente, menos modificado pelas diferentes formas de manejo adotadas, principalmente a curto prazo.

O fracionamento granulométrico da MOS em seus compartimentos visa contribuir para a avaliação das modificações decorrentes do uso devido à maior sensibilidade dessas frações frente ao manejo (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992).

2.6 Estoque de carbono no solo

Os ecossistemas terrestres possuem uma importância no ciclo do carbono e o solo é o seu maior reservatório (SILVA, 2007). A ação antrópica tem uma grande contribuição nas mudanças climáticas que vem ocorrendo nas últimas décadas em nosso planeta, através da emissão de gases como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4) (MARENCO, 2007). A queima, degradação, derrubada das florestas acrescentam mais de 7 gigatoneladas de carbono na atmosfera por ano (MARDAS et al., 2013; GCP, 2016).

As florestas podem dar relevante contribuição para a drenagem do excesso de carbono atmosférico, ao mesmo tempo em que produzem matéria prima que evita queima de combustíveis fósseis. O bioma Mata Atlântica além de ter uma grande importância na

biodiversidade do planeta, exerce importante função no ciclo de carbono, visto que as florestas tropicais são as maiores armazenadoras de carbono dentre os ecossistemas florestais (PAN, 2011).

Outro fator agravante do fogo está na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), com a entrada de matéria orgânica pirogênica (elevada resistência a degradação microbiana) e o aumento nas emissões de CO₂. O conteúdo de MOS é um dos principais responsáveis por manter ou melhorar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Talvez os maiores impactos do fogo sobre a MOS sejam a rápida mineralização das frações mais lábeis e a formação de carvão (carbono inorgânico ou pirogênico). O carvão é rapidamente incorporado ao solo e, devido sua composição química e morfologia, é difícil distingui-lo do carbono orgânico formado através de processos biológicos (SKJEMSTAD & GRAETZ, 2003).

O sequestro do carbono no solo depende de fatores como a cobertura vegetal, práticas de manejo e classes de solo. No Brasil, possivelmente em razão da dimensão continental e grande diversidade de uso e cobertura da terra nos diferentes biomas, são poucos os dados voltados para estimativa de estoques de carbono (OLIVEIRA, 2015), sendo necessário a realização de mais estudos acerca do tema.

3. Material e Métodos

3.1 Descrição da área de estudo

A região de estudo, a qual compreende uma área de 129639,55 ha, está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu e abrange o município de Engenheiro Paulo Frontin (Figuras 2 e 3) no estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil.

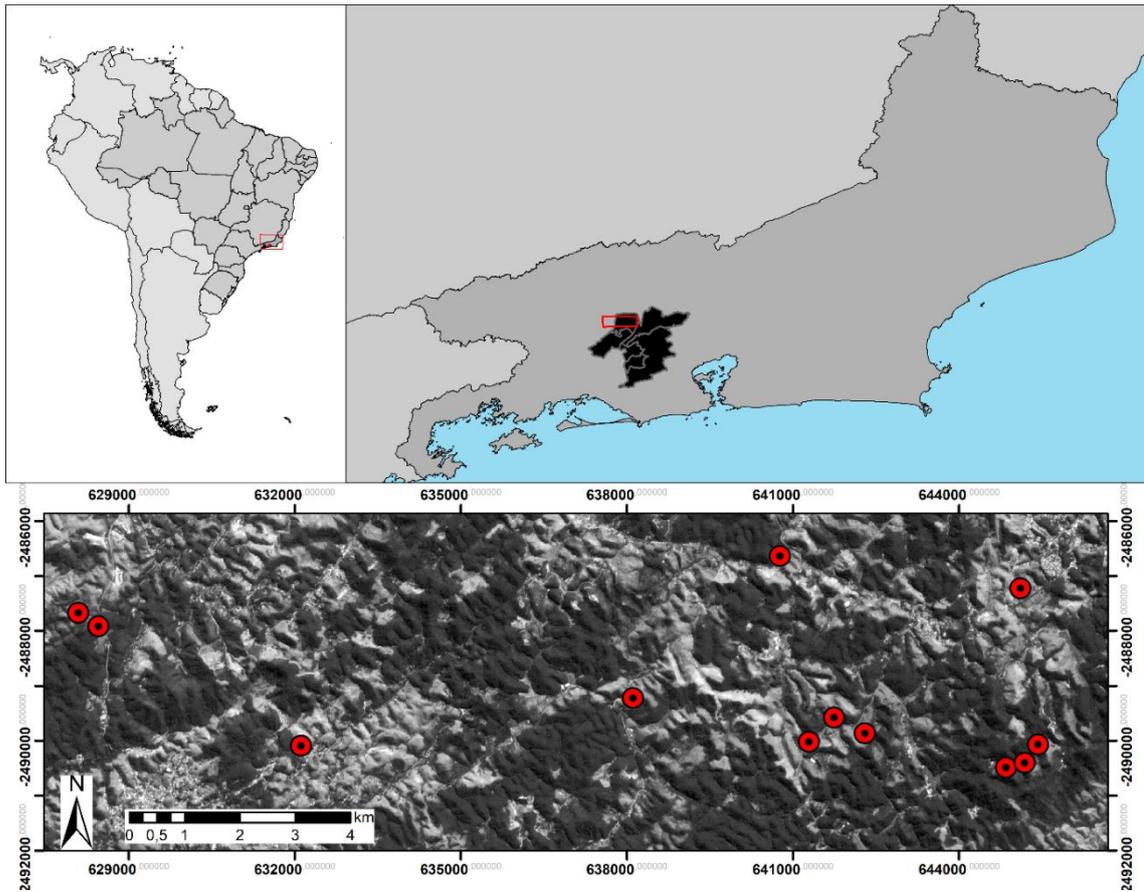


Figura 2 - Localização da região da bacia do rio Guandu no Estado do Rio de Janeiro, Brasil onde foi realizada o mapeamento do uso do solo (área em preto no painel superior direito) e das parcelas utilizadas para o processo de amostragem das florestas secundárias. **Fonte:** Pablo Hugo Augusto Figueiredo (2021).



Figura 3 – Imagens da Floresta secundária do local de estudo. **Fonte:** Pablo Hugo Augusto Figueiredo (2021).

O clima é caracterizado como tropical úmido com valores de temperatura média anual entre 20 a 27 °C e elevados índices pluviométricos, com média anual variando de 1000a 2300 mm (AGEVAP, 2016). O relevo é caracterizado por dois conjuntos fisiográficos distintos: 1) montanhas e escarpas da vertente oceânica na parte sudoeste e nordeste da bacia; e 2) extensa planície flúvio-marinha. Com presença de colinas de altura inferior a 60 metros (ANA/SONDOTÉCNICA, 2005). As classes de solo mais comuns são: Argissolos Amarelos ou Vermelhos-Amarelos, tanto Eutróficos ou Distróficos e Cambissolos Háplicos Tb Distróficos. A vegetação natural, integralmente inserida no domínio Mata Atlântica, consiste da fitofisionomia de Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012). Os remanescentes florestais mais expressivos então em terrenos íngremes e de difícil acesso e protegidos legalmente por Unidades de Conservação.

A região foi ocupada ainda no século XVI pelas fazendas de cana-de-açúcar e no século XVIII, passou a conviver com a dinâmica econômica voltada à logística de escoamento de produtos vindo do interior do país. A região serrana passou a ser explorada mais intensamente para a produção de café durante o século XIX, Após meados do século XX, uma profunda modificação latifundiária, econômica e de infraestrutura proporcionou um crescimento vertiginoso da população urbana. Com aumento das indústrias a agropecuária passou a ser uma atividade econômica pouca atrativa e decadente (OLIVEIRA, 2009). Essa situação levou ao abandono de muitas áreas marginais improdutivas e naquelas onde a atividade ainda é exercida,

é comum o emprego do fogo como forma de manejo das pastagens. Hoje, a região é uma das que apresenta grande incidência de incêndios no estado (Santos Clemente et al., 2017).

3.2 Histórico das áreas amostradas

A realização do estudo acerca do histórico de áreas queimadas foi feita a partir de 129 imagens provenientes dos satélites Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ e Landsat 8 OLI, cena 217/76, entre os anos de 1984 até 2021 (USGS). Mediante ao elevado número de imagens, a busca foi filtrada apenas para os meses entre março e outubro, que são aqueles onde ocorrem a maior incidência de queimadas na região (SANTOS CLEMENTE, 2017).

Para cada imagem foram delimitados manualmente polígonos de áreas queimadas. Esse trabalho foi realizado através da visualização das combinações de banda de cor verdadeira R3G2B1, falsa cor R4G3B2 e a banda espectral do infravermelho próximo (Figura 4). Posteriormente, os polígonos foram utilizados para extração dos valores espectrais das áreas queimadas, os quais foram empregados como amostras de treino e teste no modelo para classificação de áreas queimadas em toda a imagem.

A classificação supervisionada foi realizada pelo algoritmo Random Forest, através da função *train* do pacote *caret* (Kuhn, 2020) por meio do ambiente estatístico R 4.1.2 (R Core Team, 2020). Como dados de entrada foram utilizados os valores das sete bandas espectrais e os índices espectrais derivados NDVI, EVI, NDMI, NBR, SAVI, SR, DVI e MSAVI calculados para cada amostra (área queimada e área não queimada). O modelo de classificação foi ajustado a partir da utilização de 70% dos dados como amostras de treino e os 30% restante foram utilizados para avaliação da classificação. A média de acurácia dos modelos foi acima de 98%.

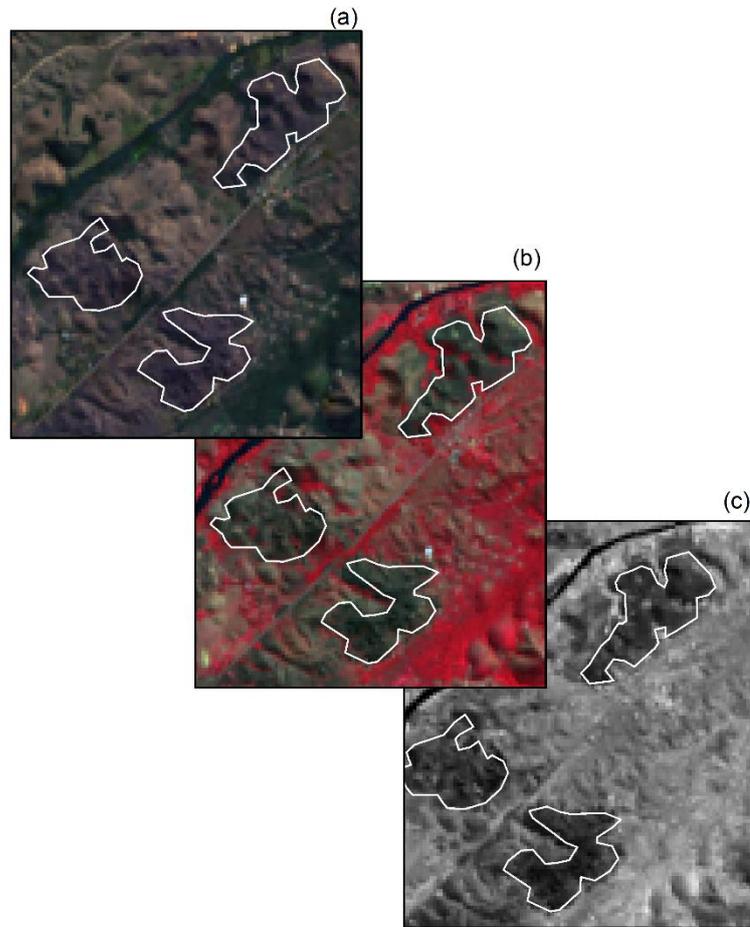


Figura 4 - Visualização das combinações de banda de cor verdadeira R3G2B1, falsa cor R4G3B2 e a banda espectral do infravermelho próximo para delimitação manual dos polígonos de área queimada utilizadas para modelagem do histórico de incêndios na região do estudo. **Fonte:** Pablo Hugo Augusto Figueiredo (2021).

Após a classificação das áreas queimadas por imagem, foram elaborados os seguintes layers: 1) número de ocorrência de queimadas anuais por pixel no período de 1984 à 2020; 2) tempo, em anos, por pixel desde a última ocorrência de queimadas; e 3) intervalo de tempo, em anos, de queimadas por pixel no período de 1984 à 2020.

3.3 Amostragem

Para avaliação dos atributos químicos e físicos do solo, foram coletadas três amostras simples a uma profundidade de 0 a 10 cm no início, meio e fim de cada sub-parcela. Dessa forma foi obtida uma amostra composta por sub-parcela (total de 24 amostras compostas e 12 sub-parcelas). As amostras 25 e 26 são de áreas que não sofrem ação do fogo há pelo menos 38 anos, sendo tidas como as amostras de referência.

Tabela 1. Histórico de incêndios florestais nas áreas estudadas no período que compreende 1984-2020 no município de Engenheiro Paulo Frontin, sudeste do Brasil.

Parcela	Frequência do fogo	Intervalo do fogo	Tempo sem fogo
1	12	3	7
2	13	3	8
3	20	2	6
4	20	2	6
5	12	3	6
6	12	3	6
7	22	2	2
8	23	2	2
9	26	1	2
10	13	3	2
11	15	3	6
12	12	3	6
13	21	2	2
14	24	2	3
15	23	2	2
16	20	2	2
17	4	10	7
18	11	3	7
19	10	4	2
20	10	4	2
21	7	5	6
22	3	13	6
23	26	1	2
24	23	2	3
25	0	0	38
26	0	0	38

Frequência do fogo em anos; Intervalo do fogo em anos; Tempo sem fogo em anos.

3.4 Análises

Após a coleta, as amostras foram devidamente acondicionadas, identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental (LISA) da UFFRJ, onde foram secas ao ar, destorroadas e posteriormente passadas por peneira de 2,00 mm de malha, obtendo-se assim a fração terra fina seca ao ar (TFSA).

A densidade do solo foi obtida através de amostras de solo com estrutura indeformada coletadas pelo método do anel volumétrico. Em cada sub-parcela foi coletada uma amostra utilizando um cilindro de aço com volume de 237,58 cm³, sendo obtidas três amostras a uma profundidade de 0 a 10 cm no início, meio e fim de cada sub-parcela. Após a coleta, as amostras

foram devidamente acondicionadas, identificadas e secas em estufa a 105 °C durante 48 h. Após secas, as amostras foram pesadas e a densidade foi obtida pela razão entre a massa seca do torrão e o volume do cilindro de aço. Para as análises foram utilizados os valores médios por sub-parcela (TEIXEIRA, 2017).

O carbono orgânico total (COt) do solo foi determinado via oxidação úmida da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio ácido (YEOMANS & BREMNER, 1988). Para o fracionamento granulométrico da MOS foi utilizado o método proposto por Cambardella & Elliot (1993), separando a MOS em duas frações, fração particulada (relacionada à fração areia do solo) e fração associada aos minerais (relativa às frações argila e silte). A determinação do carbono orgânico da fração particulada (COp) da MOS também foi realizada segundo Yeomans & Bremner (1988) e o carbono orgânico da fração associada aos minerais (COam) da MOS foi quantificado pela diferença entre o COt e o COp.

O estoque de COt e das frações granulométricas COp e COam foram quantificados somente na camada superficial, a partir do método da camada equivalente desenvolvido por BAYER (2000), e expresso na equação abaixo:

$$ECOt = ((COt \times Ds \times h)/10)$$

$$ECOp = ((COp \times Ds \times h)/10)$$

$$ECOam = ((COam \times Ds \times h)/10)$$

Em que: EC: Estoque de carbono, Mg ha⁻¹; C: teor de carbono, g kg⁻¹; Ds: Densidade do solo, Mg m⁻³; e h: espessura da camada amostrada, cm.

Para o cálculo da proporção (%) de estoque de COP e COAM, foi utilizada a seguinte equação:

$$\% ECOp = ECOp/ECOt$$

$$\% ECOam = ECOam/ECOt$$

3.5 Análise Estatística

Com objetivo de caracterizar as áreas em relação aos estoques e componentes de carbono orgânico do solo, inicialmente os dados foram submetidos a uma Análise de Componentes Principais (PCA). Em seguida, para avaliar a influência do histórico de incêndios sobre os componentes de carbono orgânico do solo, foi utilizada regressão linear múltipla para o ajuste de modelos (GOTELLI, 2011). Foram utilizadas como modelo global todas as variáveis preditoras em escala padronizadas, após remoção daquelas com coeficientes de correlação superiores a 0,5 (GOTELLI, 2011).

Após essa etapa foi verificada a relação de cada variável preditora, uma-a-uma, com as variáveis respostas. Os modelos ajustados foram comparados por meio dos valores de ΔAIC , onde foram considerados os mais parcimoniosos apenas aqueles com valor de $\Delta AIC < 2$ (BURNHAM, 2002). Finalmente, foram selecionados apenas modelos com resíduos normais, variâncias homogêneas, sem pontos discrepantes e influentes, com menor erro-padrão, maior R^2 e valor de $p < 0.05$.

4. Resultados e Discussão

A análise de componentes principais (Figura 5) expressou através do seu componente do eixo 1 que o COp foi a variável independente para a qual se observou uma maior correlação positiva com o aumento do número de anos desde o último incêndio. Ao passo que as áreas que foram submetidas a ação do fogo mais recentemente, estiveram menos correlacionadas com o COp, estando mais associadas ao COam.

Isso ocorre pois com o passar de anos desde a última ocorrência do fogo, o ambiente vai se tornando cada vez mais estável, possibilitando assim o acúmulo da fração mais lábil da MOS. A recuperação da estrutura florestal em florestas secundárias ocorre mais rapidamente do que a da composição e riqueza de espécies (BROWN & LUGO 1990, GUARIGUATA & OSTERTAG 2001). Tais mudanças são dirigidas pelo tipo de alterações estruturais nas condições físicas e químicas do solo devido ao histórico de perturbação e uso da terra, e pela disponibilidade e disposição espacial das manchas de floresta remanescentes (estrutura e configuração da paisagem), que funcionam como fontes de sementes para a regeneração (GUARIGUATA & OSTERTAG 2001).

Os resultados deste estudo foram semelhantes aos encontrados por Iwata et al. (2015), em estudo sobre as frações da MOS e o índice de sensibilidade dessas frações em relação ao manejo com resíduos orgânicos em aleias em um sistema agroflorestal manejado com ou sem fogo. Por ser a fração mais sensível da MOS, o COp é a primeira fração a ter seus teores alterados quando ocorrem modificações no manejo do solo (ROSSI, 2012). Desta forma, áreas que estão mais tempo sem serem submetidas à ação do fogo, apresentam uma correlação positiva com este atributo.

O COam representa a fração mais estável e recalcitrante da MOS, de decomposição mais lenta, favorecendo o aumento do teor de carbono associado a fração argila e silte (GAZOLLA ET AL., 2015). A partir disso, a análise de componentes principais expressou que a proporção de COam em relação ao COt tende a diminuir a medida em que se passa o tempo

desde a ocorrência do último incêndio. Isso é explicado pois com um maior intervalo da ação do fogo, os níveis de COp irão subir, e conseqüentemente a proporção do estoque de COam irá diminuir.

O COt (Figura 5) foi umas das variáveis na qual não foi verificada correlação com o passar do tempo de ocorrência do último incêndio. O efeito do fogo sob o COt é altamente variável e depende de vários fatores, incluindo tipo de fogo, intensidade, gravidade, ecossistema afetado e topografia. Os efeitos podem variar desde a destruição quase total da MOS até aumentos que podem chegar a 30% nas camadas superficiais (CHANDLER, 1983). Em outros lugares, alguns autores, incluindo Sherman et al. (2005) (áreas de campos, EUA), Meira-Castro et al. (2014) (plantação de *Pinus pinaster*, Portugal) e Guinto et al. (2001) (floresta de esclerofila seca, Austrália) relatam efeitos neutros no conteúdo de MOS após um incêndio prescrito, enquanto outros relatam valores aumentados de MOS após um incêndio de baixa intensidade.

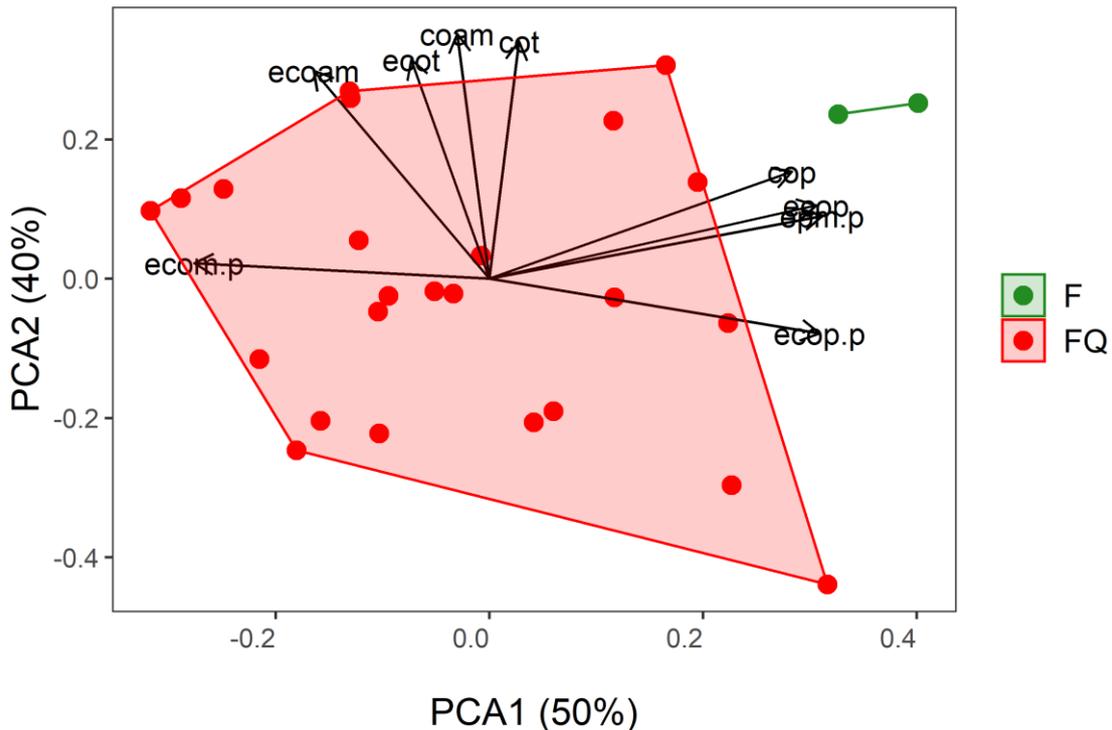
A ACP (Figura 5) não foi capaz de correlacionar a ocorrência de fogo com o estoque de carbono, sugerindo dessa forma que possa haver outros fatores que influenciem o estoque, como o tipo de solo e suas demais características físicas e químicas, o tipo de vegetação presente, ecossistema o relevo e a disponibilidade de água. Resultado similar foi encontrado por Potes (2012), em estudo sobre a MOS em áreas de pastagens queimadas em uma Floresta de Araucária no sul do Brasil. O autor verificou que a queima anual das pastagens não afetou os estoques de carbono do solo até 15 cm de profundidade, contudo houve uma redistribuição física da mesma.

O efeito do fogo sobre o estoque de carbono é um dos parâmetros envolvendo a matéria orgânica mais estudados no mundo (GÓNZALEZ, 2004), sendo tipicamente diminuído como consequência de intensas queimadas (CERTINI, 2005). Entretanto, em incêndios de baixa intensidade e ocorrência é possível serem encontrados valores de estoque de carbono aumentado devido à incorporação de fragmentos de corte não queimados ou parcialmente não queimados no solo ou devido à combustão incompleta da MOS devido às baixas temperaturas atingidas (SCHARENBRUCH, 2012).

A regressão linear múltipla expressou que tanto os teores de COp (Figura 6) quanto os de ECOp (Figura 7) tendem a aumentar com o passar dos anos. Isso é justificado pela relação existente entre a estabilidade do ambiente e a o acúmulo da fração mais lábil da matéria orgânica, conforme explicado anteriormente. Além disso, a regressão também expressou a quantidade de anos que ambas as variáveis levariam para chegar nos teores das áreas que não sofreram ação do fogo durante pelo menos os últimos 36 anos, sendo estes respectivamente 15 e 10 anos.

A regressão linear múltipla expressou que a %ECO_p tende a aumentar com o passar dos anos desde a ocorrência do último incêndio (Figura 8). Isso se deve devido ao fato de quanto maior o tempo de estabilidade do ambiente, maior a quantidade de CO_p aportado, e, conseqüentemente, maior será a sua proporção frente ao estoque total. Por outro lado, a regressão linear múltipla demonstrou que a %ECO_{am} tende a diminuir com o passar dos anos desde o último incêndio (Figura 9). Esse padrão pode ser atribuído ao aumento da % de ECO_p. Além disso, regressão linear múltipla expressou que os teores da %ECO_p e a %ECO_{am} levariam, respectivamente, 7,5 e 10 anos para atingirem os mesmos níveis das áreas que não sofreram ação do fogo por pelo menos os últimos 36 anos

Através da análise da regressão linear múltipla verificou-se que a relação entre ECO_p/ECO_{am} tende a aumentar em função do tempo desde o último incêndio (Figura 10), sendo este padrão justificado pelo mesmo motivo exposto anteriormente. A regressão também indicou que seriam necessários 10 anos sem fogo para que a relação entre ECO_p/ECO_{am} atingisse os mesmos níveis das áreas que não sofreram ação do fogo por pelo menos os últimos 36 anos.



Figuras 5. Análise de componentes principais. (CO_t = Carbono Orgânico Total; ECO_t = Estoque de Carbono Orgânico Total; CO_p = Carbono Orgânico Particulado; ECO_p = Estoque de Carbono Orgânico Particulado; ECO_p.p = proporção do Estoque de Carbono Orgânico Total pelo Estoque de Carbono Orgânico Particulado; Co_{am} = Carbono Orgânico associado aos minerais; ECO_{am} = Estoque de Carbono Orgânico associado aos minerais; ECO_{am}.p =

proporção do Estoque de Carbono Orgânico Total pelo Estoque de Carbono Orgânico Particulado).

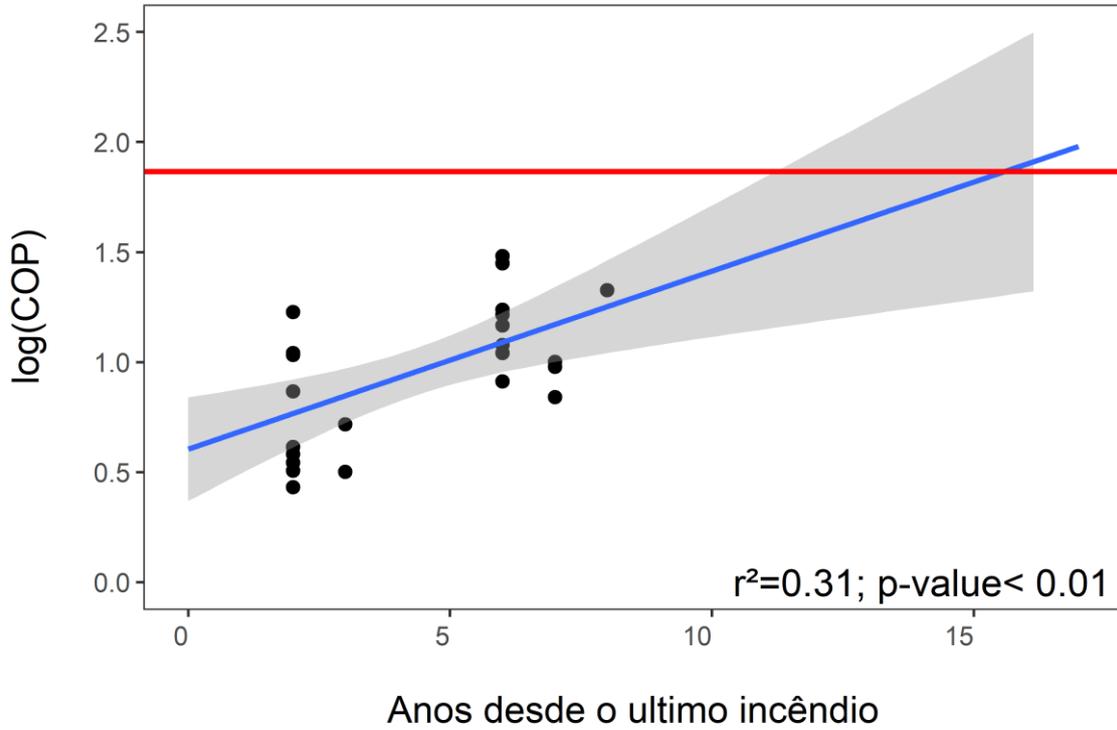


Figura 6. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos o COP das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.

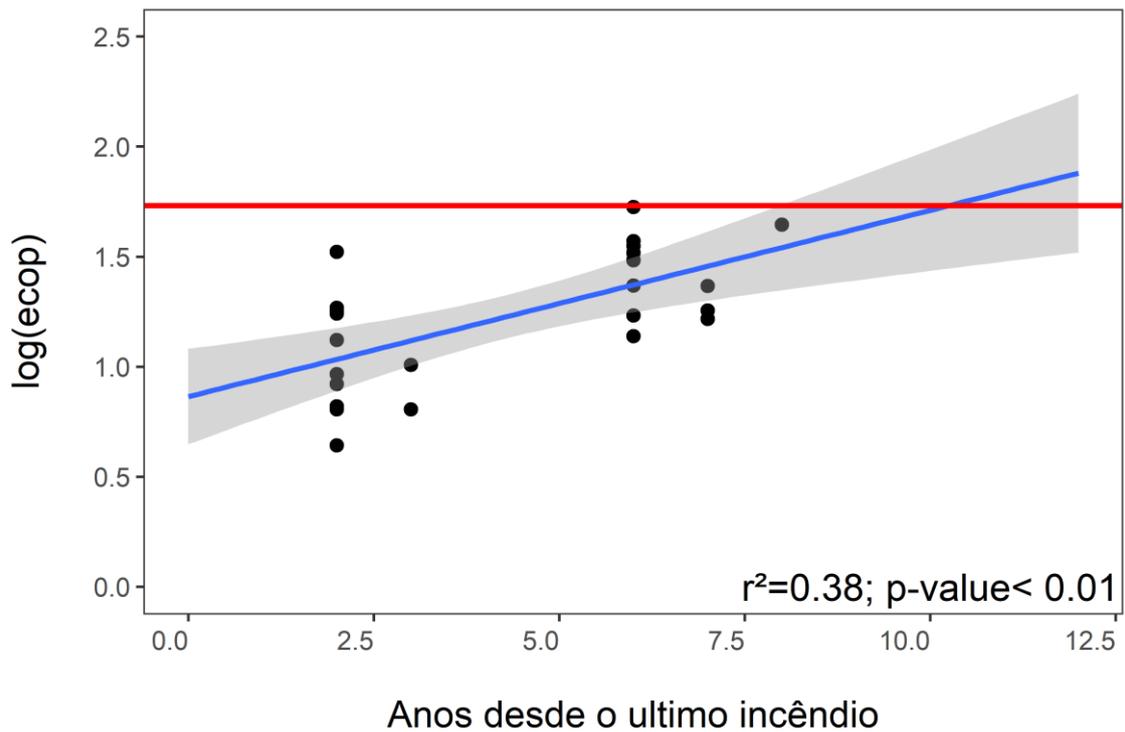


Figura 7. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos o ECoP das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.

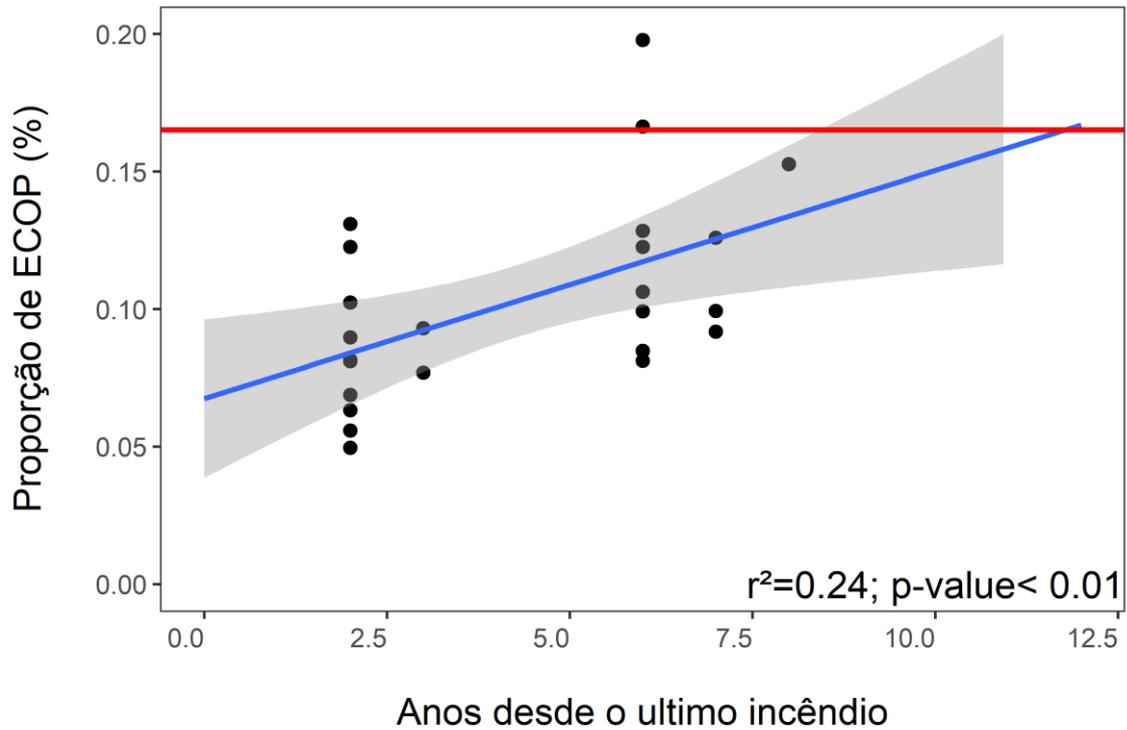


Figura 8. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos a proporção de ECoP (%) das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.

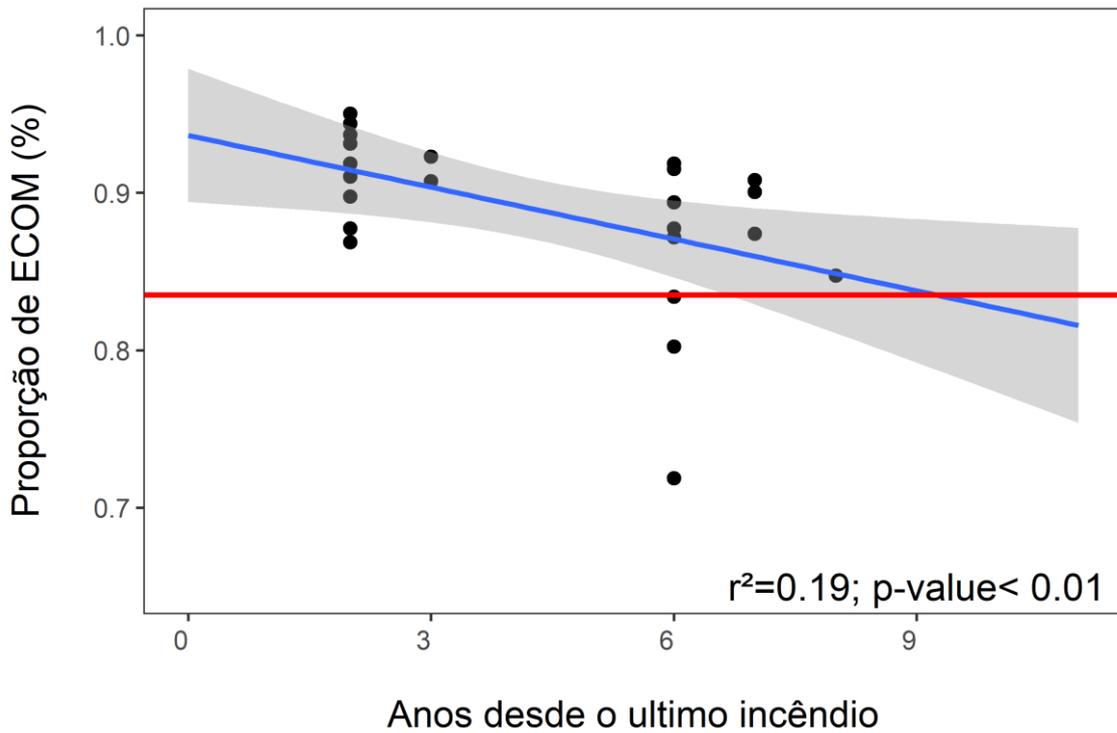


Figura 9. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos a proporção de ECOam (%) das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.

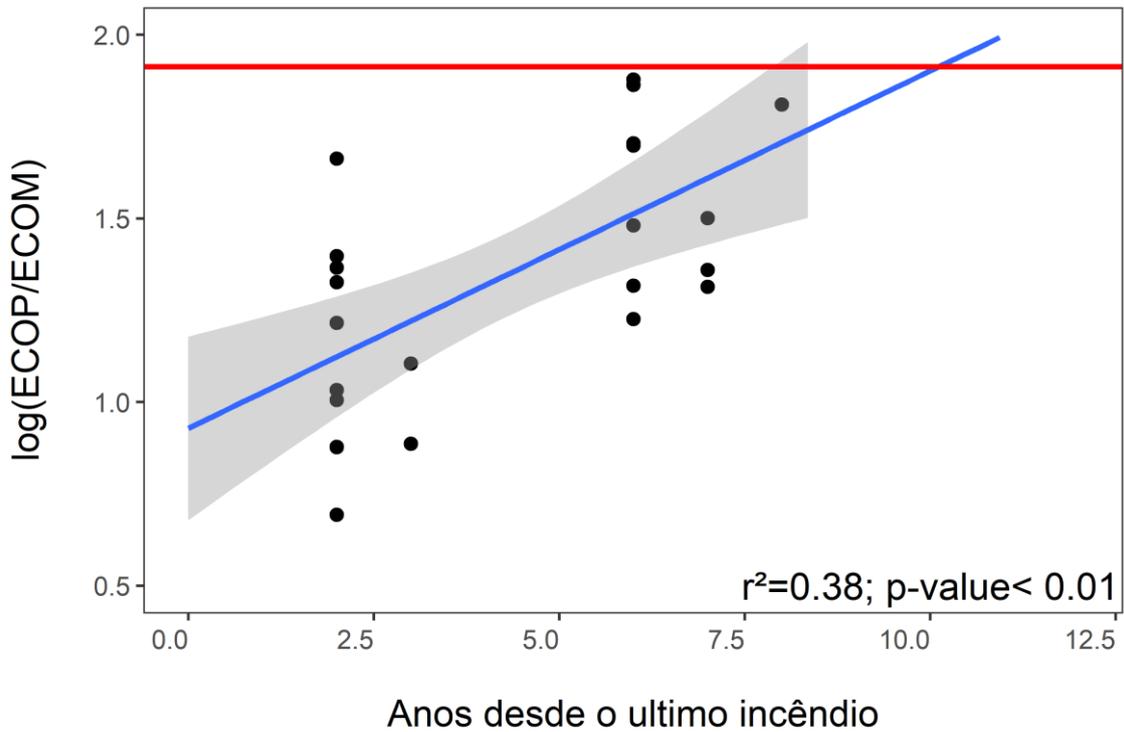


Figura 10. Regressão Linear Múltipla que indica quantos anos a relação de ECO_p/ECO_{am} das áreas afetadas pelo fogo levará para chegar aos teores das áreas que não sofreram queimadas nos últimos 36 anos.

5. Conclusão

Mediante os resultados, pode-se concluir que a ação do fogo tem influência direta na compartimentalização da MOS em ambiente florestal, principalmente no que se refere a fração física mais lábil e solúvel da MOS (COP). Estando essa fração diretamente relacionada ao intervalo de tempo desde a última ocorrência do evento durante o período de avaliação (1984-2020).

6. Considerações finais

No presente estudo não foi observada a influência significativa da ação do fogo no estoque de carbono, o que sugere que mais estudos devem ser feitos a fim de uma melhor compreensão dos fatores edáficos, ambientais e climáticos que podem influenciar no estoque de carbono em áreas de floresta secundária que antes foram impactadas por incêndios progressivos, como o carbono inorgânico, glomalina, carbono potencialmente mineralizável, matéria orgânica leve, entre outros.

O papel do solo frente ao efeito estufa é fundamental, tendo em vista que o mesmo é considerado o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema terrestre por apresentar, em média, 4,5 vezes mais carbono do que a biota e 3,3 vezes mais do que a atmosfera. Com esses valores de estoque de carbono presente no solo e na biota é evidente que a preservação desses reservatórios é de grande importância para o equilíbrio da concentração do gás carbônico na atmosfera; no efeito estufa; e na preservação dos ecossistemas e biomas presentes no planeta.

7. Referências Bibliográficas

ALVES, R.J.V.; SILVA, N.G. O fogo é sempre um vilão nos campos rupestres? **Bio Brasil Revista Científica**. N. 2, 2011.

BARLOW, J.; PARRY, L.; GARDNER, T.A.; FERREIRA, J.; ARAGÃO, L.E.O.C.; CARMENTA, R.; BERENQUER, E.; VIEIRA, I.C.G.; SOUZA, C.; COCHRANE, M.A. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. **Biological Conservation**, v.154, n.2012, p.1-8, 2012.

BATTERMAN, S. A.; WURZBURGER, N.; HEDIN, L. O. Nitrogen and phosphorus interact to control tropical symbiotic N₂ fixation: a test in *Inga punctata*. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 6, p. 1400-1408, 2013.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN NETO, L.; FERNANDES, S. A. Organic matter storage in a sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.54, p.101-109, 2000.

BOWMAN, D. M. S. J.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; CARLSON, J. M.; COCHRANE, M. A.; D'ANTONIO, C. M.; DEFRIES, R. S.; DOYLE, J. C.; HARRISON, S. P.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MARSTON, J. B.; MORITZ, M. A.; PRENTICE, I. C.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SWETNAM, T. W.; VAN DER WEF, G. R.; PYNE, S. J. Fire in the Earth System. **Science**, Washington, v. 324, n. 1, p. 481 - 484, 2009.

BRASIL. Casa Civil. Congresso Nacional. Senado Federal. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Brasília: Congresso Nacional**, 1981.

BROWN, S. & LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **J. Trop. Ecol.** 6:1-32. 1990.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. Model selection and multi-model inference. A Practical information theoretic approach. **Nova York: Springer**, 2003, 515 p.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, v.56, p. 449-457, 1993.

CAPECHE, C. L. Impactos das Queimadas na Qualidade do Solo – Degradação Ambiental e Manejo e Conservação do Solo e Água. In: II Encontro Científico do Parque Estadual dos Três Picos. Cachoeiras de Macacu.-SP. **Anais do II Encontro Científico do Parque Estadual dos Três Picos, São Paulo**, 2012, p. 17-20, 2012.

CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia** 143, 1–10. 2005.

CHANDLER, C., CHENEY, P., THOMAS, P., TRABAUD, L., WILLIAMS, D. Forest fire behaviour and effects. **Fire in Forestry**. Wiley, New York (vol. I, ed). 1983.

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS, 95 p., 2000.

DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIRA, A. M.; ISHIDA, F. Y.; OMETTO, J. P. H. B.; NARDOTO, G. B.; SABÁ, R. T.; HAYASHI, S. N.; LEAL, E. C.; VIEIRA, I. C. G.; MARTINELLI, L. A. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. **Nature**. v. 447, p. 995-998, 2007.

DIAS, GF. Queimadas e incêndios florestais: cenários e desafios: subsídios para a educação ambiental. **Brasília: MMA**, 32 p.2008.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA (2015). Disponível: <https://www.sosma.org.br>. Acesso em: 18 fevereiro de 2022.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA (2019). Disponível: <https://www.sosma.org.br>. Acesso em: 18 fevereiro de 2022.

GALINDO-LEAL, C. & CÂMARA, I. G. Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. In: Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas. **São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica**. 2005. p. 3-11.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 693, 2015.

GLOBAL CONOPY PROGRAMME (GCP). Inform: International Forest Risk Model. Versão online. 4 p, 2016. Disponível em: <http://globalcanopy.org/publications/informinternational-risk-model>. Acessado em: 19/03/2022.

GOBBO, S. D. A.; GARCIA, R. F.; AMARAL, A. A.; EUGENIO, F. C.; ALVAREZ, C. R. S.; LUPPI, A. S. L. Uso da terra no entorno do PARNA-Caparaó: preocupação com incêndios florestais. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 3, p. 350-361, 2016.

GÓNZALEZ-PÉREZ, J.A., GONZÁLEZ-VILA, F.J., ALMENDROS, G., KNICKER, H. The effects of fire on soil organic matter- a review. **Environ. Int.** 30 (6), 855–870. 2004.

GOTELLI, N J.; ELLISON, A. M. Princípios de estatística em ecologia. Porto Alegre: **Artmed**, 528 p. 2011.

GRAETZ, R.D.; SKJEMSTAD, J.O. The charcoal sink of biomass burning on the Australian continent, **CSIRO Atmospheric Research**. 64:1-6, 2003.

GUINTO, D.F., XU, Z.H., HOUSE, A.P.N., SAFFIGNA, P.G. Soil chemical properties and Forest floor nutrients under repeated prescribed-burning in eucalypt forest of South-East Queensland, Australia. **N. Z. J. For. Sci.** 31 (2), 170–187, 2001.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Censo Demográfico 2010: Aglomerados subnormais, primeiros resultados. **Brasília: IBGE**; 2011. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/92/cd_2010_aglomerados_subnormais.pdf. Acessado em: 18 de fevereiro de 2022.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Alertas do DETER na Amazônia em junho somam 2.072,03 km². **INPE**, São José dos Campos, SP, 2019.

INPE_INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. SOS Mata Atlântica e INPE apresentam dados do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2014. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3610>. Acesso em 26 de fevereiro de 2022.

IWATA, B. F.; COSTA, M.C.G.; LEITE, L.F.C.; FILHO, J.A.A; DIEGO LOURENÇO VASCONCELOS, D.L.; BRAZ, R.S.. Frações da Matéria Orgânica e Sensibilidade do Carbono Em Argissolo Manejado com Resíduos Orgânicos em Sistema Agroflorestal. **Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2015.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry, Dordrecht**, v. 85, n. 11, p. 91-118, mar. 2007.

KOGA, N.; TSUJI, H. Effects of reduced tillage, crop residue management and manure application practices on crop yields and soil carbon sequestration on an Andisol in Northern Japan. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 44, n. 4, p. 546-557, 2009.

LIMA, G.S.; TORRES, F.T.P.; COSTA A.G.; FELIX, G.A.; SILVA, J.M.R. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. **Floresta**, 48(1): 113-122, 2018.

LORENZON, A.S.; BRIANEZI, D.; VALDETARO, E.B.; SOUZA, C.M.; MARTINS, S.V.; RIBEIRO, C.A.A.S; SILVA, E.; JACOVINE, L.A.G. Análise química de um solo florestal após ocorrência de fogo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.4, n.2, p.142-147, 2014.

MAGURRAN, A.E. Ecological diversity and its measurement. **Princeton University Press, Princeton**. 1988.

MARDAS, N.; BELLFIELD, H.; JARVIS, A.; NAVARRETE, C.; COMBERTI, C. Amazon Security Agenda: Summary of Findings and Initial Recommendations. **Global Canopy Programme and International Center for Tropical Agriculture**, 2013.

MARENCO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista MultiCiência**, v. 8, p. 5-28, 2007.

MEIRA-CASTRO, A., SHAKESBY, R.A., ESPINHA MARQUES, J., DOERR, S., MEIXEDO, J.P., TEIXEIRA, J., CHAMINÉ, H.I. Effects of prescribed fire on surface soil in a Pinus pinaster plantation, northern Portugal. **Environ. Earth Sci.** 73 (6), 3011–3018, 2014.

MMA - Ministério do Meio Ambiente (2011). Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado. **Brasília, Ministério do Meio Ambiente**. 2011. 200p. Acessado em 18 de fevereiro de 2022.

MMA - Ministério do Meio Ambiente (2019) Biomass. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomass.html>. Acessado em 18 de fevereiro de 2022.

NEARY, D. G. et al. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**, v. 122, n. 1-2, p. 51-71, sept. 1999.

NOGUEIRA, R.S.; PINTO, F. J. G.; MEDEIROS, N. G.; OLIVEIRA, S. O.; SANTOS, G. R.; SILVA, F. D. B. Efeito do fogo nos atributos químicos do solo em áreas de Caatinga, floresta estacional e decídua no semiárido brasileiro. **Congresso Brasileiro de Agronomia**, 30, 2017.

NUNES, R.C.A. Contreiras FLFA (2019) Apostila da semana de prevenção contra incêndio e pânico. Disponível: <http://www.cbmerj.rj.gov.br>. Acessado em: 18 de fevereiro de 2022.

NUNES, R.S. Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná - Brasil Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 2005.

OLIVEIRA, E.S.; REATTO, A.; ROIG, H.L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n.1/2, p. 71-93, jan./ago. 2015.

PAN, Y.; BIRDSEY, R. A.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P. E.; KURZ, W. A.; PHILLIPS, A. L.; SHVIDENKO, A.; LEWIS, S. L.; CANADELL, J.G.; CIAIS, P.; JACKSON, R. J.; STEPHEN PACALA, S. W.; MCGUIRE, A. D.; PIAO, S.; RAUTIAINEN, A.; SITCH, S.; HAYES, D. A large persistent carbon sink in the world's forests. **Science** Washington, v. 333, n. 6045, p. 988-993, 2011.

PEREIRA, J. A. V.; SILVA, J. B. Detecção de Focos de Calor no Estado da Paraíba: um estudo sobre as queimadas. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 10, n. 1, p. 5-16, 2016.

PINTO, R.M.D.S. Recuperação de um solo florestal queimado por aplicação de resíduos orgânicos. Respiração induzida por substrato dos microrganismos do solo. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, 2009.

PORTELA, U.F; MILENO, E.S.P. Análise Espaço-Temporal da Distribuição dos Focos de Queimadas no Município de Vitória do Xingu-PA (2009-2018). **Revista Geo Amazônia**, v. 8, n. 15-16, 2020.

POTES, M.L; DICK, D.P; SANTANA, G.S.; TOMAZI, M.; BAYER, C. Soil organic matter in fire-affected pastures and in an Araucaria forest in South-Brazilian Leptosols. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.5, p.707-715, 2012.

RBMA – Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (2008) Revisão da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Disponível: http://www.rbma.org.br/rbma/rbma_fase_vi_06_estados_rj.asp. Acessado em 26 de março de 2021.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONELA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p.381-392, jun. 2011.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, J.C.P.; FERNANDES, V.B.B.; MAFRA, A.L.; ALMEIDA, J.A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v.33, p.49-55, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, J.C.P.; FERNANDES, V.B.B.; MAFRA, A.L.; ALMEIDA, J.A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v.33, p.49-55, 2003.

RIBEIRO MC, MARTENSEN AC, METZGER JP, TABARELLI M, SCARANO F, FORTIN MJ. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. In: Zachos FE, Habel JC, editores. Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas. **Heidelberg: Springer**, 2011.

RIBEIRO, K. T. Estrutura, Dinâmica e Biogeografia das Ilhas de Vegetação Rupícola do Planalto do Itatiaia, RJ. 2002. 116 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, p.38-46, 2012.

SCHARENBRUCH, B.C., NIX, B., JACOBS, K.A., BOWLES, M.L. Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma*, 183-184 p., 89–91p. 2012.

SHERMAN, L.A., BRYE, K.R., GILL, D.E., KOENIG, K.A. Soil chemistry as affected by first-time prescribed burning of a grassland restoration on a coastal plain Ultisol. *Soil Sci.* 170 (11), 913–927, 2005.

SILVA, C.A.; MACHADO, P.L.O.A. Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas, estratégias para os aumentos dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, P. 23, 2000.

SILVA, I. R.; MEDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p. 275-375.

SILVA, R. F. DA.; SAIDELLES F. L. F.; VASCONCELLOS, N. J. S. de ; WEBBER, D. P.; MANASSERO, D. Impacto do fogo na comunidade da fauna edáfica em florestas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*. *Revista Brasileira de Agrociência*. Pelotas, v. 17, n. 2-4, p.234-241. Abr/Jun, 2011.

SILVA, V. F.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; VENTURIN, N. Impacto do fogo no componente arbóreo de uma floresta estacional semidecídua no município de Ibituruna, MG, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*. v. 19, n. 4, p. 701-716. abr. 2005

SILVA, W.L.; DERECZYNSKI, C.P. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, 2014.

SOARES, R. V.; SANTOS, J.F. 2002. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. *Revista Floresta*, 2002.

TABARELLI M, PINTO LP, SILVA JM, HIROTA MM, BEDÊ LC (2005) Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. Megadiversidade. Disponível:

<http://www.avesmarinhas.com.br/Desafios%20e%20oportunidades%20para%20a%20conservacao%20da%20biodiversidade.pdf>. Acessado em 18 de fevereiro de 2022.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solos, plantas e outros materiais. Boletim Técnico 5. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa**. pt. 1, cap. 7, p. 65-75. 2017.

TOCCHETTO, D. Perícia Ambiental Criminal - 3ª Ed, **Editora Millennium**. 2014.

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.61, n.3-4, p.193- 202, 2001.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. Estudos Avançados, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 147-160, jan./abr. 2010.

WAN, S.; HUI, D.; LUO, Y. Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: A meta-analysis. **Ecological Applications**, v. 11, n. 5, p. 1349-1365, 2001.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for Eucalypt plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p.1467-1476, New York 1988.