PROGRAMA DE COOPERAÇÃO ENTRE BRASIL E BANCO MUNDIAL

"REDUÇÃO DO DESMATAMENTO E DAS QUEIMADAS NO CERRADO BRASILEIRO"

PROJETO: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E MONITORAMENTO DA COBERTURA VEGETAL NO CERRADO BRASILEIRO

COMPONENTE 2.2 - DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA PREVER O RISCO DE ESPALHAMENTO DO FOGO NO CERRADO.

RELATÓRIO DE PROGRESSO SEMESTRAL DE 2020

BELO HORIZONTE– MG

SUMÁRIO

RESUMO.....6

ATIVIDADES E MARCOS DE ACOMPANHAMENTO 9

1 - Caracterização das dinâmicas espaciais e temporais do fogo no Cerrado, incluindo a geração de uma serie temporal de mapas e coleta de dados no campo sobre cargas de combustível, consumo de biomassa queimada e cicatrizes de fogo para inputs do modelo. 9

1.01 - Estudos de campo sobre o fogo no cerrado.....9

Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.....9

Parque Nacional da Serra da Canastra.....9

INPE e CPTEC.....10

Universidade de Brasília - UnB.....10

Serra da Canastra 11

Parque Nacional da Serra do Cipó 13

Parque Nacional da Serra do Cipó 13

Potsdam – Alemanha.....16

1.03 - Distâncias a municípios e áreas desmatadas.....17

1.04 - Condições climáticas.....17

1.05 – Declividade.....17

1.06 - Obstáculos ao fogo 18

1.07 - Mapas de biomassa 18

1.08 - Disponibilidade de combustível.....22

1.09 - Direção do vento.....23

1.10 - Mapas em séries temporais de cicatrizes de fogo 24

1.11 - Séries temporais de mapas de uso do solo 24

1.12 - Produtividade agrícola e produção florestal a partir de melhorias de infraestrutura e demandas crescentes dos mercados globais e mudanças de estratégias de manejo da terra.....25

2 - Adaptação do modelo FISC para o bioma Cerrado, incluindo a calibração e validação do modelo com dados de campo e melhoramento do desempenho do modelo..25

2.01 - Analise das variáveis e calibração do modelo 25

2.02 - Validação do modelo com dados de campo.....30

2.03 - Analisar e melhorar o desempenho do modelo.....30

2.05 - Acoplar o FISC a uma versão atualizada do SIMBRASIL, chamado OTIMIZAGRO, projetado para ser o instrumento central para o planejamento territorial na NIT - Ministério da Agricultura 31

2.06 - Analise dos danos pós-fogo com tabulações de dados e infográficos, extensões de áreas queimadas, tipo de vegetação afetada, estimativa de emissões de carbono..31

2.07 - Analise da eficácia dos programas de prevenção de fogo 33

2.08 - Modelar a regeneração da vegetação e sua continuidade sob diferentes cenários de regimes de fogo 33

2.09 - Analisar o potencial impacto de uma série de cenários socioeconômicos e políticos plausíveis sobre os regimes de fogo e as emissões de carbono 34

2.10 - Analisar os feedbacks entre a mudança climática, o desmatamento e expansão agrícola.....34

2.11 - Examinar diversas políticas públicas recentes sobre regimes de fogo no bioma Cerrado, juntamente com suas implicações para os serviços ecossistêmicos e bens, perdas econômicas e mitigação das mudanças climáticas.....35

3 - Operacionalização do sistema FISC-Cerrado online, incluindo o desenvolvimento de uma interface online no site Queimadas de mapas de risco de espalhamento de fogo, dados tabulares e infográficos, bem como a operação e manutenção do sistema online e suporte continuo para usuários do sistema online. 35

3.01 - Desenvolvimento de uma interface on-line no site Queimadas/INPE com mapas de risco de propagação de incêndio 36

3.02 - Operação e manutenção do sistema on-line e suporte regular para os usuários do sistema 37

4 - Operacionalização do sistema FISC-Cerrado off-line em três unidades de conservação piloto, incluindo o desenvolvimento de uma interface amigável para usuários finais do sistema FISC-Cerrado off-line. 37

4.01 - Desenvolvimento de uma interface amigável para o sistema FISC-Cerrado off-line para uso pelos usuários finais como gestores de áreas protegidas 38

4.02 - Desenvolvimento de material educativo e de divulgação (por exemplo. manuais, folhetos, CDs) 39

5 - Realização de programa de treinamento prático direcionado a atores selecionados, sobre a aplicação de ferramentas para a modelagem do risco de fogo. 43

5.01 - Oito treinamentos de 3 dias 43

01 - Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros 44

02 – Parque Nacional da Serra da Canastra 44

03 - Parque Nacional Serra do Cipó 44

04 - Parque Nacional da Serra da Canastra 45

05 - Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros 45

06 - Workshop de risco e espalhamento do fogo no cerrado 46

07 – Mundo Geo 47

08 – Curso de capacitação 48

PRORROGAÇÃO DO PROJETO - 2020 48

6 - Desenvolvendo ferramentas de análise que se adequem melhor à realidade das unidades de conservação, por meio de interfaces amigáveis, e saídas mais adequadas ao uso dos funcionários do ICMBio/MMA em cada um dos parques. 48

6.01 - Modelo para a priorização de manejo do fogo, indicando áreas prioritárias para o manejo do fogo dentro da Unidade de Conservação. 49

7 - Acompanhamento de queimas prescritas nas Unidades de Conservação para observação e aquisição de variáveis em mais uma estação de seca 49

7.01 - Modelo devidamente calibrado para cada uma das Unidades de Conservação. .. 49

8 - Visita técnica no Parque Nacional da Serra do Cipó – Lagoa Santa – MG para atualização e acompanhamento da utilização do modelo implantado. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo. 49

8.01 - Treinamento e atualização de técnicos do ICMBio/MMA. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo. 49

9 - Visita técnica no Parque Nacional da Serra da Canastra – São Roque – MG para atualização e acompanhamento da utilização do modelo implantado. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo. 50

9.01 - Treinamento e atualização de técnicos do ICMBio/MMA. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo. 50

10 - Visita técnica no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – Alto Paraíso de Goiás

– GO para atualização e acompanhamento da utilização do modelo implantado. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo. 50

10.01 - Treinamento e atualização de técnicos do ICMBio/MMA. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo. 50

11 - Continuidade da análise do potencial impacto de uma série de cenários socioeconômicos e políticos plausíveis sobre os regimes de fogo e as emissões de carbono 50

11.01 - Aprimoramento e continuidade do modelo desenvolvido no marco de acompanhamento previsto.....50

12 - Examinar diversas políticas públicas recentes sobre regimes de fogo no bioma Cerrado, juntamente com suas implicações para os serviços ecossistêmicos e bens, perdas econômicas e mitigação das mudanças climáticas 51

12.01 - Aprimoramento e continuidade do modelo desenvolvido no marco de acompanhamento previsto..... **Erro! Indicador não definido.**

13 - Análise dos impactos econômicos dos incêndios por meio dos modelos de simulação. 51

13.01 - Relatório e artigo científico. 52

RESUMO

No âmbito do Projeto: desenvolvimento de sistemas de prevenção de incêndios florestais e monitoramento da cobertura vegetal no cerrado brasileiro, o componente 2.2: desenvolvimento de um sistema para prever o risco de espalhamento do fogo no cerrado está sendo realizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto – CSR – UFMG. Para atender aos objetivos do projeto, nós desenvolvemos um modelo, espacialmente explícito, que simula o espalhamento do fogo. Esse modelo prevê o comportamento do fogo a partir de um ponto de ignição e um conjunto de variáveis ambientais. Para que o modelo pudesse ser utilizado em atividades de manejo e prevenção de incêndios em unidades de conservação, nós desenvolvemos uma série de modelos que produzem as variáveis (combustível seco, umidade, etc.), utilizadas no modelo de espalhamento do fogo, a partir de dados de sensoriamento remoto. Com isso, nosso modelo trabalha em tempo quase real, fazendo simulações para o dia e o horário desejado. Afim de atender a diferentes usuários finais dos produtos do projeto, nosso modelo possui três interfaces: 1 – interface offline do usuário final: que é uma interface amigável na qual o usuário final pode rodar a simulação de espalhamento do fogo em poucos passos, sendo a maior parte dos procedimentos automática; 2 – interface online, que roda automaticamente todos os dias modelos para as três unidades de conservação estudadas e para todo o Cerrado, com base nos pontos de ignição detectados por satélite pelo INPE-Queimadas; 3 - interface offline de análises, utilizada para as análises temporais e com finalidade científica, mais complexa e com mais opções de ajustes do modelo. Para o desenvolvimento do modelo de espalhamento do fogo, e todos os modelos utilizados para as análises deste componente, nós utilizamos a plataforma de modelagem Dinamica-EGO (https://csr.ufmg.br/dinamica/), que teve seu desenvolvimento iniciado em 1999 e ao longo dos anos foram desenvolvidas novas funções e aprimoramentos. A versão atual deste sistema é a versão Dinamica EGO 5, constituída por uma plataforma sofisticada para modelagem ambiental com excelentes possibilidades para o design, desde o modelo espacial estático muito simples até dinâmicas muito complexas, que podem envolver iterações aninhadas, transições múltiplas, feedback dinâmico, multi-região e multi-escala abordagem, processos de decisão para bifurcar e juntar pipelines de execução e uma série de algoritmos espaciais complexos para análise e simulação de fenômenos espaço-tempo. Para o desenvolvimento do modelo de espalhamento do fogo foram realizados diversos aprimoramentos na plataforma Dinamica-EGO. Dentre eles, destacam-se os avanços na performance dos modelos, como o paralelismo das análises e uso de GPU.

Tabela 1: Marcos de acompanhamento do subcomponente 2.2 encontram-se abaixo.

MARCO DE ACOMPANHAMENTO	Estado
Estudos de campo sobre o fogo no cerrado	Concluído
Distancias a rodovias	Concluído
Distâncias a municípios e áreas desmatadas	Concluído
Condições climáticas	Concluído
Declividade	Concluído
Obstáculos ao fogo	Concluído
Mapas de biomassa	Concluído
Disponibilidade de combustível	Concluído
Direção do vento	Concluído
Mapas em séries temporais de cicatrizes de fogo	Concluído
Séries temporais de mapas de uso do solo	Concluído
Produtividade agrícola e produção florestal a partir de melhorias de infraestrutura e demandas crescentes dos mercados globais e mudanças de estratégias de manejo da terra	Concluído
Analise das variáveis e calibração do modelo	Concluído
Validação do modelo com dados de campo	Concluído
Analisar e melhorar o desempenho do modelo	Concluído
Tornar o FISC flexível o suficiente para ser acoplado a modelos climáticos que simulam condições futuras para o clima a longo prazo.	Concluído
Acoplar o FISC a uma versão atualizada do SIMBRASIL, chamado OTIMIZAGRO, projetado para ser o instrumento central para o planejamento territorial na NIT - Ministério da Agricultura	Concluído
Analise dos danos pós-fogo com tabulações de dados e infográficos, extensões de áreas queimadas, tipo de vegetação afetada, estimativa de emissões de carbono	Concluído
Analise da eficácia dos programas de prevenção de fogo	Concluído
Modelar a regeneração da vegetação e sua continuidade sob diferentes cenários de regimes de fogo	Concluído
Analisar o potencial impacto de uma série de cenários socioeconômicos e políticos plausíveis sobre os regimes de fogo e as emissões de carbono	Concluído
Analisar os feedbacks entre a mudança climática, o desmatamento e expansão agrícola	Concluído
Examinar diversas políticas públicas recentes sobre regimes de fogo no bioma Cerrado, juntamente com suas implicações para os serviços ecossistêmicos e bens, perdas econômicas e mitigação das mudanças climáticas	Concluído
Desenvolvimento de uma interface on-line no site Queimadas/INPE com mapas de risco de propagação de incêndio	Concluído
Operação e manutenção do sistema on-line e suporte regular para os usuários do sistema	Concluído
Desenvolvimento de uma interface amigável para o sistema FISC-Cerrado off-line para uso pelos usuários finais como gestores de áreas protegidas	Concluído
Desenvolvimento de material educativo e de divulgação (por exemplo. manuais, folhetos, CDs)	Concluído
Oito treinamentos de 3 dias	Concluído
Desenvolvendo ferramentas de análise que se adequem melhor à realidade das unidades de conservação, por meio de interfaces amigáveis, e saídas mais adequadas ao uso dos funcionários do ICMBio/MMA em cada um dos parques.	Em andamento
Acompanhamento de queimas prescritas nas Unidades de Conservação para observação e aquisição de variáveis em mais uma estação de seca.	A ser realizado
Visita técnica no Parque Nacional da Serra do Cipó. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.	A ser realizado
Visita técnica no Parque Nacional da Serra da Canastra. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.	A ser realizado
Visita técnica no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.	A ser realizado
Continuidade da análise do potencial impacto de uma série de cenários socioeconômicos e políticos plausíveis sobre os regimes de fogo e as emissões de carbono.	Concluído
Examinar diversas políticas públicas recentes sobre regimes de fogo no bioma Cerrado, juntamente com suas implicações para os serviços ecossistêmicos e bens, perdas econômicas e mitigação das mudanças climáticas.	Concluído
Análise dos impactos econômicos dos incêndios por meio dos modelos de simulação.	Concluído

ATIVIDADES E MARCOS DE ACOMPANHAMENTO

1 - Caracterização das dinâmicas espaciais e temporais do fogo no Cerrado, incluindo a geração de uma serie temporal de mapas e coleta de dados no campo sobre cargas de combustível, consumo de biomassa queimada e cicatrizes de fogo para inputs do modelo.

Foram realizadas visitas a campo para a calibração dos modelos que geram as variáveis de entrada no modelo FISC-Cerrado. O modelo FISC-Cerrado foi construído utilizando equações obtidas por meio de experimentos controlados que estimam a relação do comportamento do fogo com diversas variáveis como vento, declividade, umidade da vegetação, combustível disponível, taxas de queima da vegetação, regeneração da vegetação e barreiras ao fogo. Dados de séries temporais sobre áreas queimadas, focos de ignição e imagens de satélite Landsat8 foram obtidos por meio da parceria com a equipe do INPE-Queimadas.

1.01 - Estudos de campo sobre o fogo no cerrado

Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros

No período de 18 a 22 de agosto de 2017 os pesquisadores *Britaldo Silveira Soares Filho*, *Ubirajara de Oliveira* e *William Leles S. Costa* estiveram na localidade de São Jorge no município Alto Paraíso de Goiás na sede do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Foram feitas visitas a áreas manejadas do parque, comunidade quilombola dos Kalungas e ainda a região do Catingueiros em Cavalcante – GO. Foram realizadas discussões com a brigada de incêndio, funcionários do parque e pessoas das comunidades para que fosse possível compilar os dados disponíveis sobre fogo na região e as experiências pessoais sobre o combate e manejo do fogo na região.

Figura 1: Trabalho de campo no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, a esquerda discussões com brigadistas e equipe do parque na sede do parque, a direita, visita aos locais do parque com diferentes fisionomias vegetais, áreas que haviam sofrido com incêndios e áreas sob manejo integrado do Fogo.

Parque Nacional da Serra da Canastra

No período de 02 a 05 de outubro de 2017 os pesquisadores *Britaldo Silveira Soares Filho*, *Ubirajara de Oliveira*, *William Leles S. Costa* e *Lucas Rodrigues de Sousa Santos* estiveram no município de São Roque de Minas na sede do Parque Nacional da Serra da Canastra. Foi realizada reunião com o Sr. *Fernando Tizianel*, Chefe do Parque e *Bianca Tizianel*, Gerente do Fogo. Recebemos diversos documentos relativos a implantação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) no parque e Relatórios de Ocorrência de Incêndios.

Neste parque o MIF ainda não havia sido implementado, tendo seu início no ano de 2018 pois, em 2017 o parque foi atingido por um incêndio de grandes proporções. Foram realizadas discussões com a brigada de incêndio e funcionários do parque para que fosse possível compilar os dados disponíveis sobre fogo na região e as experiências pessoais sobre o combate e manejo do fogo na região.

INPE e CPTEC

No período de 20 a 21 de fevereiro de 2018 os pesquisadores *Ubirajara de Oliveira* e *William Lelés S. Costa* visitaram o INPE e o CPTEC em São José dos Campos. Foram realizadas reuniões e discussões com diversos grupos de pesquisa do INPE com o objetivo de conhecer as bases de dados disponibilizadas pelo INPE, e articular meios de obtenção dos dados automaticamente para o modelo de espalhamento do fogo (interface utilizada nos parques e interface online). Com isso, nós realizamos a integração do componente INPE-Queimadas ao componente do CSR-UFMG, conforme previsto.

Visitamos os laboratórios do INPE com o acompanhamento do Dr. *Alberto Setzer* e Dr. *Fabiano Morelli*. Foi realizada uma reunião com ambos na qual nos foi apresentada as bases de dados disponíveis no INPE-Queimadas. Após a reunião fomos ao CPTEC para realizar uma reunião sobre o modelo de risco de fogo e sobre a disponibilização das variáveis climáticas para o CSR-UFMG para alimentação dos modelos. Nessa reunião nos foi dado acesso aos dados climáticos interpolados e aos dados de vento. *William Leles*, membro da equipe do CSR-UFMG, realizou uma apresentação da plataforma Dinamica-EGO para membros da equipe do Dr. *Alberto Setzer* no CPETC. Foram realizadas reuniões para discussão sobre as bases de dados e sobre o TerraMA. Na reunião sobre o TerraMA, foi apresentada suas funcionalidades. Foi realizada uma visita técnica ao INPE-OBT junto a equipe do Dr. *Claudio Almeida* onde foi apresentado os membros da equipe do projeto PRODES. Ainda foi realizado uma reunião sobre os dados de focos e cicatrizes de fogo. Nessa reunião discutimos a aplicação e disponibilização desses dados para a equipe do CSR-UFMG. Ao fim das reuniões, todos os dados solicitados foram disponibilizados pelo INPE através de endereços de FTP ou através da plataforma Terra2 MA. Desta forma, concluímos o objetivo apresentado em reunião da CCI do projeto FIP-Cerrado, realizada em Brasília.

Figura 2: Visita ao INPE para discussões sobre integração dos dados do INPE com o modelo de espalhamento do fogo desenvolvido pelo CSR-UFMG.

Universidade de Brasília - UnB

No período de 3 a 6 de abril de 2018 o pesquisador *Ubirajara de Oliveira* visitou a Universidade de Brasília – UnB para discutir aspectos da ecologia do fogo no Cerrado e da dinâmica da vegetação no Cerrado

com as professoras *Mercedes Maria da Cunha Bustamante* e *Heloisa Sinatora Miranda* e com a Dr. *Letícia Gomes da Silva*. Foram realizadas discussões sobre aspectos específicos do comportamento do fogo no Cerrado e como esses aspectos devem ser incorporados no modelo FISC. Essas discussões permitiram a melhoria do modelo. Aliado a isso, foi realizado um levantamento bibliográfico, junto às pesquisadoras, para obtermos dados específicos sobre o fogo no Cerrado para as adaptações necessárias do modelo FISC para o Cerrado.

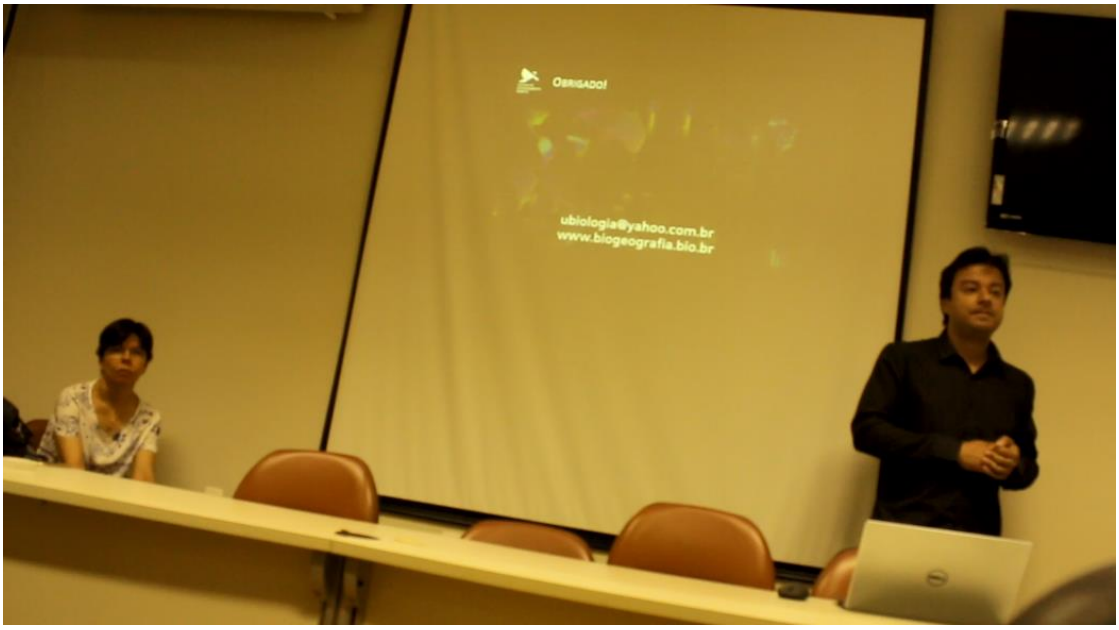


Figura 3: Visita à UnB para discussões com a Professora Mercedes Maria da Cunha Bustamante sobre ecologia do fogo no Cerrado para o aprimoramento do modelo de espalhamento do fogo.

Serra da Canastra

No período de 16 a 19 de abril de 2018 os pesquisadores *Ubirajara de Oliveira* e *William Leles S. Costa* visitaram o Parque da Serra da Canastra para acompanhar o curso de manejo integrado do fogo realizado pelo ICMBio e acompanhar a queima prescrita. Ao acompanhar a queima prescrita foram coletados dados que serão utilizados para calibrar e validar os modelos de comportamento do fogo e da vegetação. Acompanhamos as palestras realizadas no curso de manejo integrado e discutimos os trabalhos de campo com os gerentes dos parques. Além disso, acompanhamos a queima prescrita de uma área dentro do parque da Serra da Canastra. Durante a queima foram registradas as coordenadas para uso nos modelos que utilizam imagens de satélite. Além disso, após o fogo foram realizados registros fotográficos para serem utilizados junto às imagens de satélite para calibrar os modelos.

Figura 4: Trabalho de campo para realizar medições durante queima prescrita no Parque Nacional da Serra da Canastra. A esquerda, William Leles, a direita, Britaldo Soares Filho junto a Estevão do ICMBio.

Figura 5: Fotos da área da queimada prescrita no Parque Nacional da Serra da Canastra, durante e após o fogo.

Parque Nacional da Serra do Cipó

No dia 17 de maio de 2018 os pesquisadores *Ubirajara de Oliveira*, *William Leles S. Costa* e *Lilian Aline Machado* visitaram o Parque Nacional da Serra do Cipó e acompanharam o curso de manejo integrado do fogo realizado pelo ICMBio e uma queima prescrita. Ao acompanhar a queima prescrita foram coletados dados que foram utilizados para calibrar e validar os modelos de comportamento do fogo e da vegetação. Durante a queima foram registradas as coordenadas para uso nos modelos que utilizam imagens de satélite. Além disso, após o fogo foram realizados registros fotográficos para serem utilizados junto às imagens de satélite para calibrar os modelos.

Figura 6: Acompanhamento da queima prescrita no Parque Nacional da Serra do Cipó.

Parque Nacional da Serra do Cipó

No dia 27 de setembro de 2018 os pesquisadores *Ubirajara de Oliveira* e *William Leles S. Costa* visitaram o Parque Nacional da Serra do Cipó para participar do evento de planejamento do Manejo Integrado do Fogo e participar do planejamento do manejo integrado do fogo realizado pelo Parque Nacional da Serra do Cipó e apresentar os resultados do modelo de espalhamento de fogo para o Parque. Acompanhamos e participamos das discussões do planejamento do Manejo integrado do Fogo para o ano de 2019. Realizamos uma apresentação na qual divulgamos os resultados parciais do nosso modelo de combustível e probabilidade de incêndios no Parque Nacional da Serra do Cipó. A pedido da equipe do parque e de brigadistas e outros pesquisadores que participavam da discussão do plano de manejo do fogo no parque, nós desenvolvemos um modelo que prioriza as áreas mais vulneráveis a incêndios dadas as metas de conservação do parque para o manejo. Essa é uma ferramenta que ***não estava prevista no projeto***. A participação do CSR-UFMG no plano de manejo foi reportada no Boletim da APA Morro da Pedreira e Parque Nacional da Serra do Cipó (Figura 8).

Figura 7: Planejamento do Manejo Integrado do Fogo para 2019 no Parque Nacional da Serra do Cipó.

APA MORRO DA PEDREIRA E
PARQUE NACIONAL DA SERRA DO CIPÓ

BOLETIM INFORMATIVO

Nº 056_2018 Ano VI

05 de Outubro de 2018

Cabeça de Boi inaugura portal de acesso ao Parque Nacional

Dias 29 e 30 foram dias festivos na comunidade de Santana do Rio Preto, conhecida carinhosamente por Cabeça de Boi. A Prefeitura de Itambé do Mato Dentro, o Circuito Turístico do Parque Nacional da Serra do Cipó e o ICMBio Cipó-Pedreira abrem oficialmente o Portal de Cabeça de Boi. A recepção dos visitantes que fizeram a travessia inaugural Alto Palácio – Cabeça de Boi, dentro do Projeto Travessias do Parque Nacional, a reforma do posto telefônico para servir de centro de atendimento turístico, a oficina de artes promovida pelas voluntárias Carol Filizola e Déa Lima e o show de violeiros, fizeram parte desta festa. O portal tem como objetivo principal ordenar o turismo local, auxiliar na organização dos atrativos turísticos e o acesso ao Parque Nacional.

Foto Luiz Loureiro

Luiz Loureiro, servidor do ICMBio Cipó-Pedreira, conta como foi fazer a sua primeira travessia no Parque:

Fomos beneficiados pelo início da primavera. A trilha atravessa afloramentos rochosos e seus campos rupestres, que nesta época estavam explodindo em flor! Canelas-de-ema, orquídeas, bromélias, sempre-vivas, macelas, *xyris*, entre tantas outras. Vinculada à altitude da travessia, que variou entre 600 metros e 1600 metros, estão paisagens exuberantes, como o Travessão (divisa entre as bacias do São Francisco e Doce, onde se vê, do alto, o vale do Rio Bocaina e do Rio do Peixe) e o vale do Rio Maçãs, afluente do Rio do Entancado. Sem contar o avistamento de cânions, capões de mata, e alguns animais silvestres, o endêmico beija-flor-de-gravata, um marsupial, lagartos diversos e três serpentes.

Pra coroar a descida do vale do Rio Maçãs, visitamos a cachoeira do Entancado, no rio de mesmo nome. Nesta região, pode-se explorar diversas cachoeiras, como a das Maçãs, do Chuvisco, do Lajeado e dos Macacos.

Poucos quilômetros a frente, chegamos em Cabeça-de-boi. O vilarejo estava em festa, aguardando nossa chegada. Tivemos direito até a moda-de-viola na praça do distrito, localizado em Itambé-do-Mato-Dentro, e cercado por estonteantes paredões! Um belo lugar para descansar as pernas da travessia, que somou 31 km até o estacionamento das cachoeiras, onde fomos coletados pela van.

Região da Serra do Cipó planeja o Manejo Integrado do Fogo (MIF)

O fogo bem usado pode proteger o meio ambiente dos incêndios florestais – esta foi uma das várias conclusões e resultados obtidos durante o seminário sobre manejo integrado do fogo, que teve como principal objetivo disseminar a prática da gestão participativa para o planejamento e estabelecimento de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais a serem executadas no Parque Nacional da Serra do Cipó e na APA Morro da Pedreira.

Realizado no dia 27 de setembro, na sede do Parque Nacional da Serra do Cipó, o seminário contou com representantes da prefeitura municipal de Santana do Riacho, pesquisadores do Centro de Sensoriamento Remoto e do Laboratório de Ecologia das Populações da UFMG, membros da brigada anual de incêndios e servidores do ICMBio Cipó-Pedreira, representantes do Parque Estadual Serra do Intendente, do Previncêndio e do gabinete do Instituto Estadual Florestas – IEF-MG.

Os participantes discutiram estratégias para estabelecer regimes de fogo mais adequados para a proteção ambiental das unidades de conservação, através de uma abordagem compreensiva e integrada com o que já se conhece do contexto sociocultural e das relações ecológicas do ecossistema protegido.

Um dos resultados alcançados foi o estabelecimento de "Alvos de Conservação e Proteção", que são as prioridades a serem resguardadas com a adoção do manejo integrado do fogo. A prioridade foi dada às formações florestais, como as matas ripárias e os capões de montanha, por sua sensibilidade e vulnerabilidade ao fogo. Os campos rupestres também foram considerados, pois existe uma lacuna de conhecimento muito grande sobre eles. A fauna e flora exclusivas da nossa região também foram lembradas, juntamente com as nossas inúmeras nascentes e cursos d'água. Os participantes do seminário consideraram importante o conhecimento sobre o modo de vida da população e sua relação com o fogo: devemos conhecer o uso tradicional do fogo como forma de entender como o fogo diversificou a paisagem que temos hoje.

E por falar em comunidade, algumas ações voltadas às boas práticas de manejo do fogo foram pensadas, como a formação de brigadas comunitárias voluntárias, cursos de queima controlada e de novas técnicas de produção agropecuária e usos alternativos ao fogo.

Visitantes no Parque: Setembro de 2018: 7.908
Setembro de 2017: 6.056

Figura 8: Boletim informativo da APA Morro da Pedreira e Parque Nacional da Serra do Cipó destacando a participação da

equipe do CSR-UFMG no plano de manejo integrado do fogo no parque.

Potsdam – Alemanha

No período de 25 de abril à 04 de maio de 2019 os pesquisadores *Britaldo Soares-Filho* e *Ubirajara Oliveira* visitaram o Potsdam Institute for Climate Impact Research na Alemanha para discutir e aprimorar o modelo de espalhamento do fogo junto aos pesquisadores chefiados pela Dra. *Kirsten Thonicke*. Nessa visita, os pesquisadores do CSR apresentaram o modelo de espalhamento do fogo que está sendo desenvolvido no projeto FIP-Cerrado e discutiram formas de aprimoramento do modelo junto aos pesquisadores alemães.

Figura 9: Discussões realizadas com a equipe do Potsdam Institute for Climate Impact Research em Potsdam, Alemanha.

1.02 - Distancias a rodovias

Foram compilados os disponíveis em agências governamentais (IBGE, ANTT) e em bases publicadas por outras instituições (OpenStreet Map, Google Maps) para o cálculo das distâncias de estradas que seriam necessárias ao modelo. Os dados compilados, utilizados, estão disponíveis online no link: https://csr.ufmg.br/fipcerrado/cartografia-de-apoio/ .

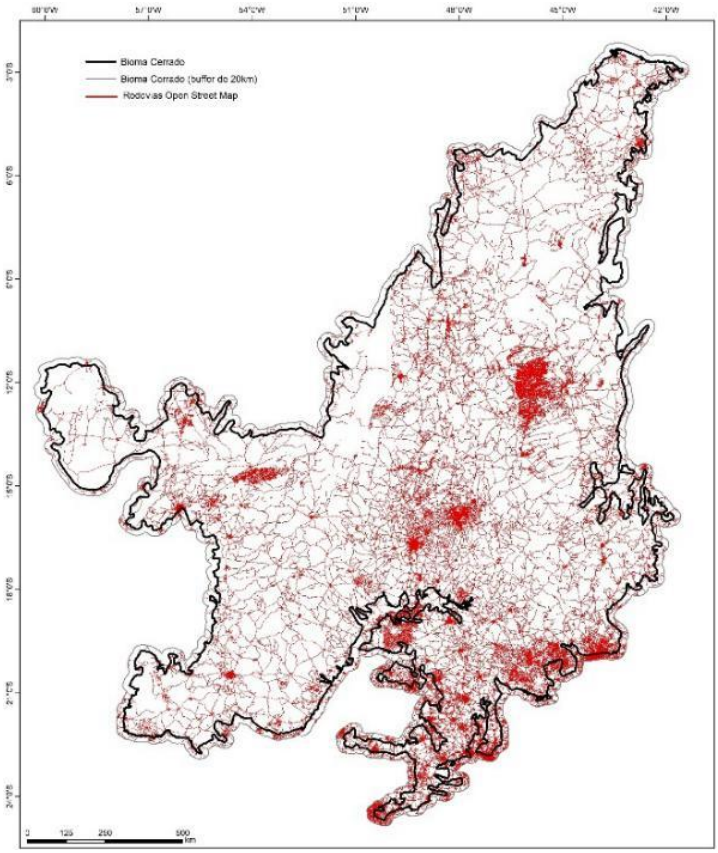


Figura 10: Dados sobre estradas obtidos do OpenStreet Map e utilizados como base no cálculo das barreiras probabilísticas ao espalhamento do fogo.

1.03 - Distâncias a municípios e áreas desmatadas

Foram compilados os disponíveis em agências governamentais (IBGE, MMA) e em bases publicadas por terceiros (Map Biomas, OTIMIZAGRO) para o cálculo das distâncias de áreas desmatadas que seriam necessárias ao modelo. Os dados compilados, utilizados, estão disponíveis online no link: https://csr.ufmg.br/fipcerrado/cartografia-de-apoio/ .

1.04 - Condições climáticas

Foram compilados dados climáticos de diversas fontes. Do INPE, obtivemos acesso a dados climáticos disponíveis em seus servidores. Dados rasterizados de temperatura e precipitação médias mensais, bem como das suas variantes (variáveis biolimáticas) foram obtidos de bases de dados do WorldClim (https://www.worldclim.org/). Também foi obtida uma longa série histórica de dados climáticos para a região do Parque Nacional da Serra do Cipó por meio da parceria com pesquisadores do Instituto de Ciências Biológicas que possuem seis estações meteorológicas instaladas na região. Essas estações coletam dados a cada 15 minutos de diversas características do clima.

1.05 – Declividade

Através de imagens SRTM e ASTER foi gerado o mapa de declividade no software Dinamica-

EGO. Os dados compilados, utilizados, estão disponíveis online no link: https://csr.ufmg.br/fipcerrado/cartografia-de-apoio/.

1.06 - Obstáculos ao fogo

Através de imagens SRTM e ASTER foi gerado o mapa de declividade e possíveis obstáculos ao espalhamento do fogo. Além disso, foram compiladas bases dedados de hidrografia e estradas que podem atuar como obstáculos ao fogo. Os dados compilados, utilizados, estão disponíveis online no link: https://csr.ufmg.br/fipcerrado/cartografia-de-apoio/.

1.07 - Mapas de biomassa

Para modelar as probabilidades de ignição de fogo, um dos principais componentes é a biomassa disponível para queima. No Cerrado, essa biomassa apresenta diferenças significativas entre os estratos da vegetação: arbóreo, arbustivo, herbáceo e de gramíneas. A dinâmica da biomassa nesses estratos apresenta comportamento distinto quanto a sua taxa de crescimento e decremento natural. Essas taxas apresentam diferenças sazonais, que são afetadas de forma distinta por eventos de fogo. A parcela da biomassa, de cada estrato, que se encontra disponível para queima, em uma dada temperatura da chama e velocidade do fogo, também são distintas entre os diferentes estratos. O comportamento de cada estrato frente a eventos de queimada também é distinto, exibindo diferentes taxas de regeneração da vegetação após queimado. Considerando esses fatores, foi construído um modelo de dinâmica da vegetação do Cerrado que incorpora tais peculiaridades da vegetação.

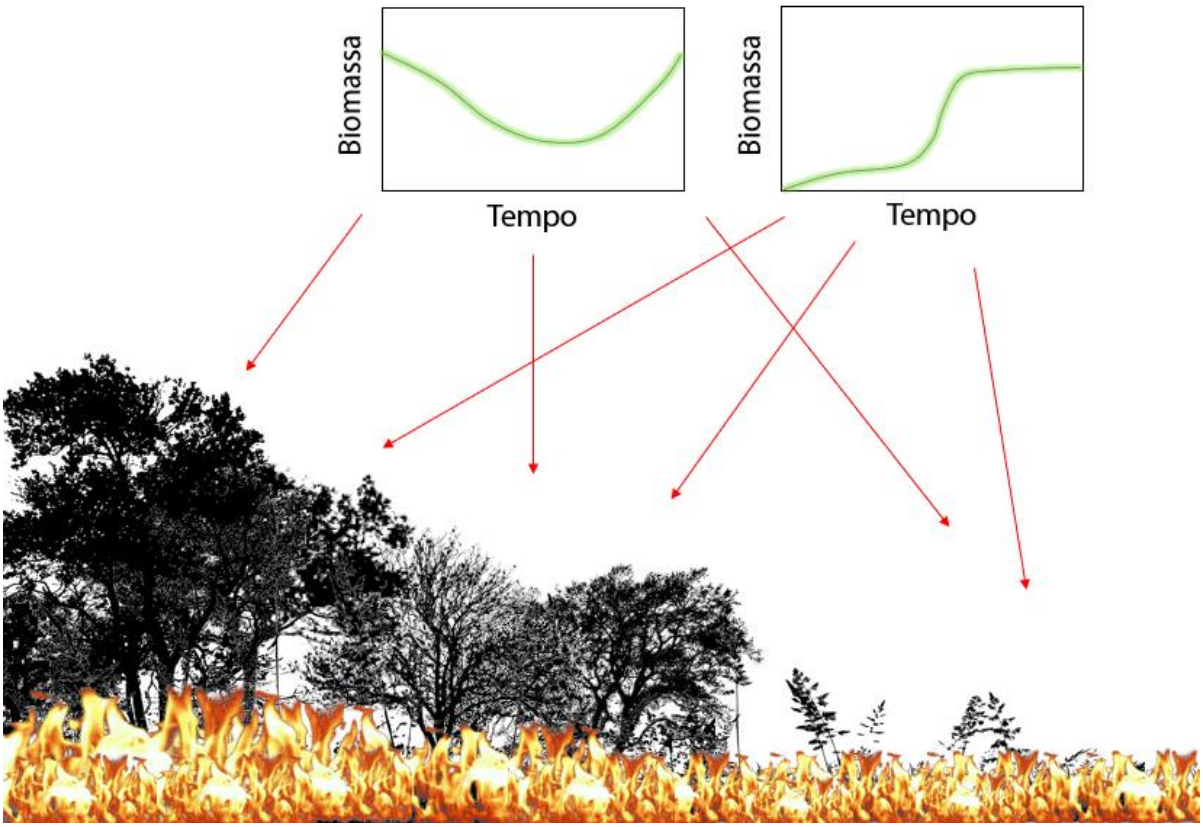


Figura 11. O modelo de dinâmica da biomassa na vegetação do Cerrado está estimando as curvas de biomassa nas diferentes fisionomias sob ação do fogo e sem a ação do mesmo.

O produto desse modelo serve como base para o modelo de ignição e espalhamento do fogo. Vale ressaltar que este ***produto não estava previsto no projeto***, mas será de grande utilidade para o manejo das áreas. Por meio do modelo de classificação do combustível no solo, foi possível investigar os padrões sazonais da biomassa seca no Cerrado. Para isso, foi necessário a classificação do Cerrado quanto às condições climáticas, através da criação de um modelo que realiza uma análise de componentes principais (PCA), pixel a pixel, das condições climáticas e posterior classificação não-supervisionada dessa PCA, para identificar as unidades climáticas do Cerrado. Assim, nós desenvolvemos uma nova função no Dinamica-EGO para a PCA. Essa função pode ser aplicada em diversas pesquisas e trabalhos técnicos, já que atende a uma ampla gama de áreas de interesse. Essa função foi uma inovação tecnológica desenvolvida que ***não estava prevista no projeto***.

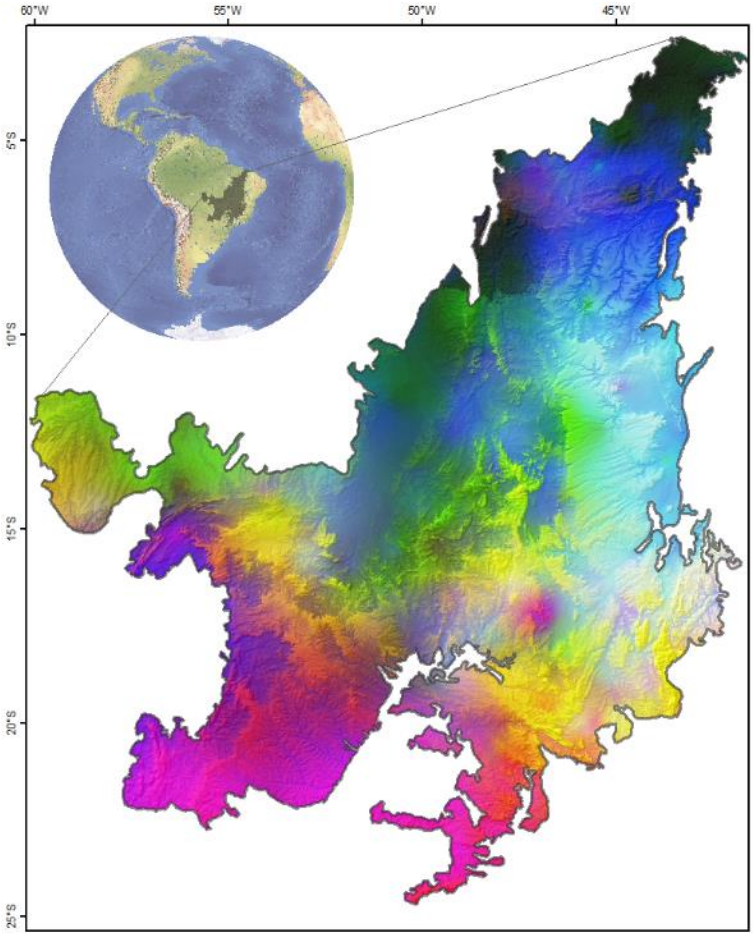


Figura 12. Mapa dos três primeiros componentes principais climáticos utilizados para identificar as diferentes regiões climáticas do Cerrado para seleção das cenas Landsat para as análises de biomassa seca. A análise de componentes principais foi implementada no Dinamica – EGO como uma nova ferramenta de análise.

Neste processo de classificação, foi utilizado o consenso das classificações geradas pelos classificadores Random Forest e Clustering for Large Applications (CLARA). Essas ferramentas de classificação não supervisionada são inovações tecnológicas desenvolvidas no projeto que empregam técnicas que estão sendo amplamente utilizadas na análise de grandes conjuntos de dados (BigData) e demonstraram ser muito úteis também para classificação de dados espacilizados (como clima ou imagens de satélite). O desenvolvimento dessas ferramentas ***não estava previsto no projeto***. De posse desta classificação, foram selecionadas as imagens Landsat-8 que representariam toda a variação de condições climáticas do Cerrado. Para a gerar os mapas de biomassa seca, foram utilizadas imagens Landsat-8, disponibilizadas pelo INPE, das quais foram selecionadas 16 cenas entre os anos de 2015 a 2018 que apresentavam cobertura de nuvens inferior a 50%. Para remover as áreas restantes cobertas por nuvens nas cenas selecionadas, foi desenvolvido um modelo, baseado na banda 2 da imagem, para a identificação e remoção destas áreas das imagens. As imagens selecionadas foram analisadas apenas em áreas que apresentaram queimadas registradas pelo componente de queimadas do INPE e, a partir da análise dessas áreas, foi possível estimar o comportamento da biomassa seca

(combustível) nas diferentes regiões do Cerrado. Os resultados obtidos indicaram um comportamento distinto da vegetação, em termos de sazonalidade, nas diferentes regiões do Cerrado e foi possível identificar o comportamento de recuperação da vegetação pós-fogo e estimar o tempo médio de regeneração do combustível para cada região.

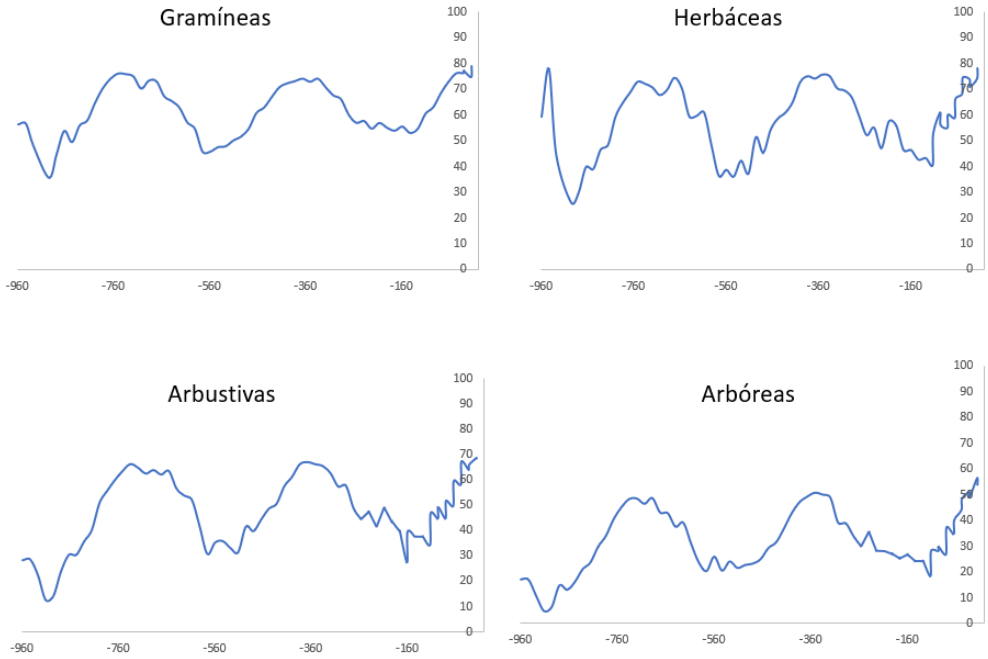


Figura 13. Gráficos da proporção de biomassa seca de cada tipo de vegetação no cerrado ao longo de 3 anos sem ação do Fogo.

Por meio desses resultados, a proporção de biomassa seca em todo o Cerrado foi modelada utilizando modelos não-estacionários (GWR-Geographicaly Weight Regression) para estimar os valores nas áreas não amostradas. O uso desses modelos se mostrou necessário, uma vez que, o comportamento da variável não é uniforme em todo o cerrado. Todas estas análises foram realizadas separadamente para cada tipo de vegetação do Cerrado, gramíneas, herbáceas, arbustivas e arbóreas. Para que essa análise fosse possível, nós desenvolvemos a nova função no Dinamica-EGO que realiza o GWR, uma função que pode ser aplicada a diversos estudos científicos e técnicos das mais diversas áreas. O desenvolvimento dessa ferramenta ***não estava previsto no projeto***.

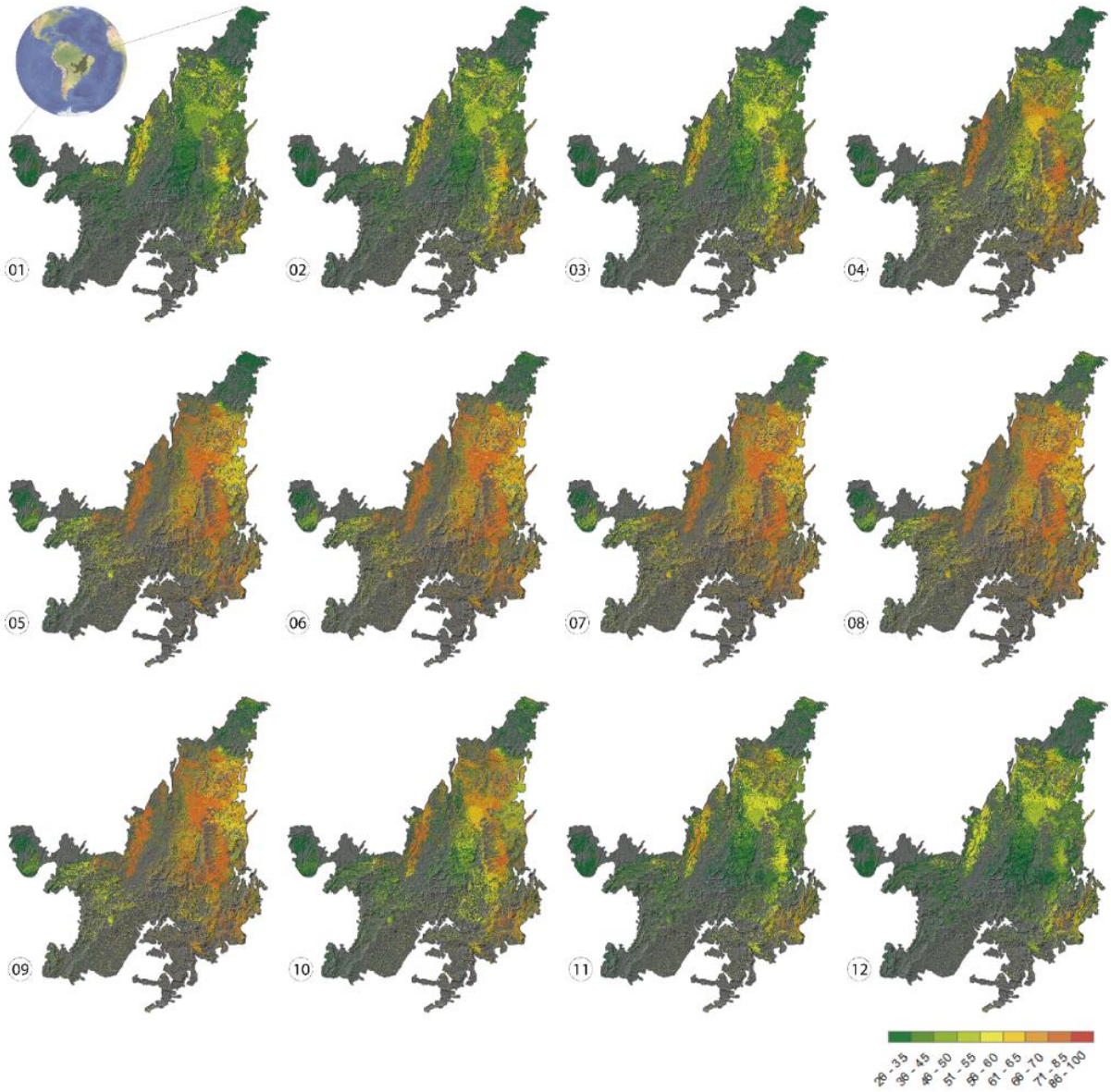


Figura 14. Proporção de biomassa seca (combustível) estimado para todos os remanescentes de vegetação nativa do Cerrado. Os números correspondem aos meses do ano.

1.08 - Disponibilidade de combustível

Para análise na escala local, bem como para servir como base para o modelo de dinâmica da vegetação do Cerrado (item 1.07) nós desenvolvemos uma reclassificação dos valores do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que evidência a porção da vegetação correspondente a biomassa seca, que serve como combustível nos incêndios. Por meio da reclassificação dos valores do NDVI de imagens Landsat-8 foram produzidos os mapas de combustível seco no solo. As classes da classificação foram calibradas a partir de dados obtidos nos trabalhos de campo realizados para o projeto. Foram realizados testes de sinal da vegetação seca por meio de séries históricas de imagens de satélite onde, a partir da análise dessa série histórica (4 anos), foram identificadas as classes do NDVI que apresentam o sinal

mais forte às mudanças sazonais da vegetação, utilizado para analisar a condição da vegetação natural ou agrícola nas imagens geradas por sensores remotos. O NDVI é computado realizando aritmética de canais espectrais dos sensores. A fórmula é como segue: NDVI = (Infravermelho – Vermelho) / (Infravermelho +Vermelho). Os valores do índice NDVI são então reclassificados de forma que os valores mais relacionados à vegetação seca ocupem os valores mais altos do índice. Assim, o mapeamento da proporção de biomassa seca pode ser realizado via satélite em intervalos de tempo muito mais curtos (16 dias entre as passagens do satélite).

Para atender às necessidades práticas do manejo do fogo, de dados diários, que nos foram informadas nos trabalhos de campo por brigadistas, funcionários dos parques, gerentes de fogo e comunidade local, nós desenvolvemos um modelo de ajuste diário dos valores de combustível seco obtidos pelas imagens de satélite. Esse modelo utiliza a tendência histórica (obtida na série de dados descrita no item 1.04) para estimar como a biomassa seca deve mudar ao longo dos dias do ano e analisa o dado observado (imagem Landsat mais atual) para ajustar os valores ao dia desejado. Isso permite que sejam feitos mapas de biomassa seca diários e também, quando necessário, sejam feitas predições para períodos futuros, de até um mês. Foi realizados testes de validação cruzada que indicam a alta acurácia dos mapas de biomassa seca previstos para até 30 dias no futuro (erro inferior a 5%). Essa função que calcula o ajuste diário do mapa de biomassa ***não era prevista no projeto***, entretanto, é uma função de grande utilidade tanto para o modelo como para gerar mapas de combustível que podem ser utilizados nos parques e por outras instituições que necessitem dessa informação.

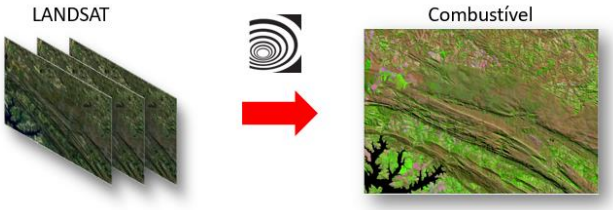


Figura 15: Representação esquemática do modelo de combustível.

1.09 - Direção do vento

Foram obtidos dados de vento, velocidade e direção, diretamente do INPE. Além disso, foram obtidos do Global Forecast System – NOAA (https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forcast-system-gfs). Esses dados apresentam resolução temporal horária. Para realizar o download desses dados de forma automática para o modelo de espalhamento do fogo (principalmente para interface do usuário final), nós criamos uma nova função no software Dinamica-EGO, a função Wind Download. Essa função é uma inovação tecnológica que permite o download dos dados de vento em tempo real para qualquer área de interesse. Esse inovação ***não estava prevista no projeto*** e pode ser útil para diversos trabalhos científicos e técnicos que necessitem desse tipo de informação.

1.10 - Mapas em séries temporais de cicatrizes de fogo

Foram utilizados os dados de queimadas produzidos pelo componente INPE-Queimadas para mapear as áreas queimadas e a frequência de queimadas bem como dados da NASA, produto MODIS burned area. Esse mapeamento foi utilizado no cálculo das superfícies de probabilidade de fogo geradas para o modelo de espalhamento do fogo. Foram realizados os cálculos dos mapas mensais, obtendo estimativas da frequência de queimadas, pixel a pixel. Esses mapas estão disponíveis online no servidor de mapas do CSR-UFMG no link: https://csr.ufmg.br/fipcerrado/.

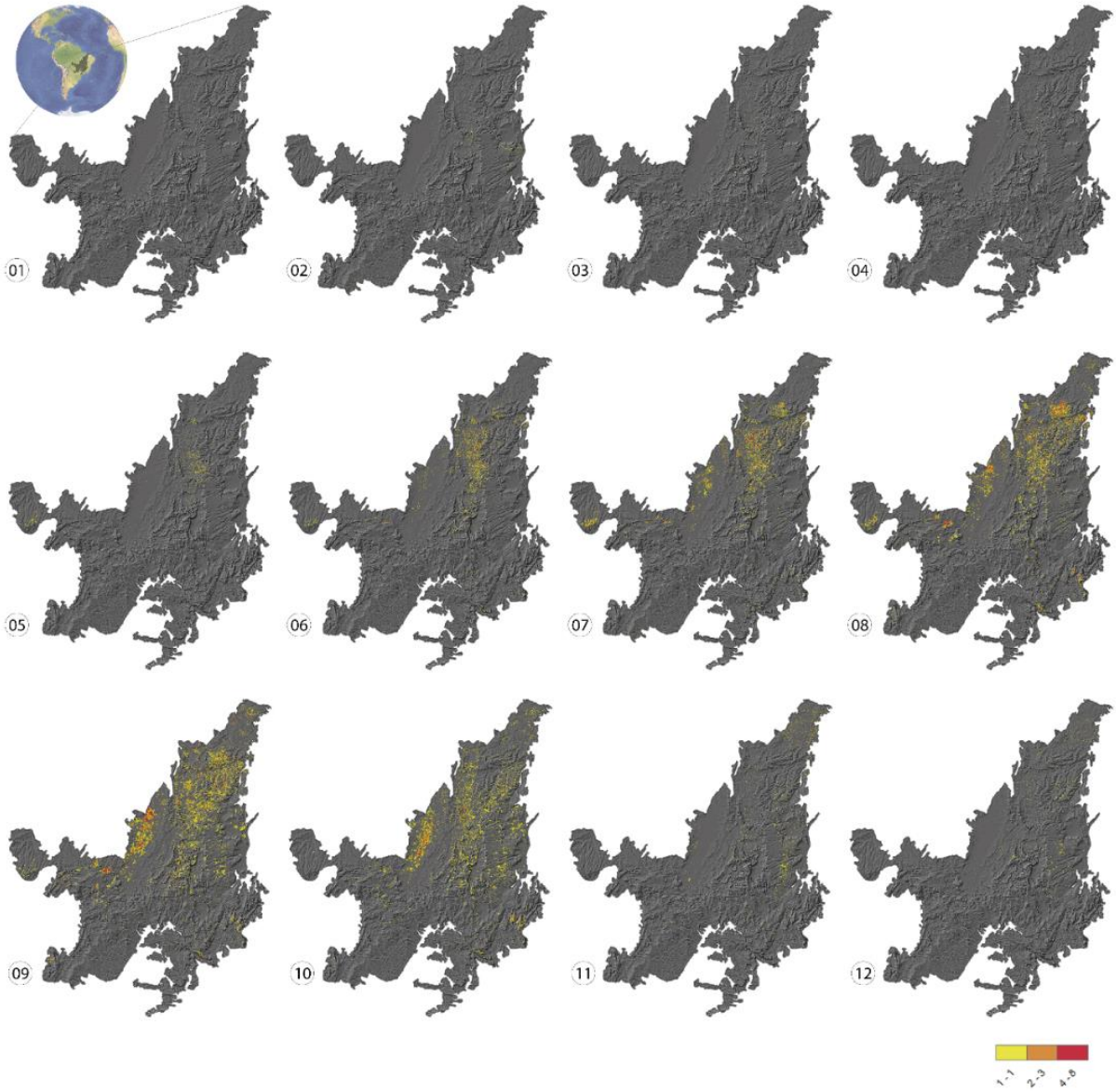


Figura 16: Mapeamento do número de eventos de queimada ao longo dos últimos 3 anos, os mapas representam os valores para cada mês do ano, indicando a frequência de fogo por mês.

1.11 - Séries temporais de mapas de uso do solo

Foram compilados os dados temporais de mudanças do uso do solo do projeto Otimizagro (https://csr.ufmg.br/dinamica/otimizagro/) também desenvolvido pelo CSR-UFMG.

1.12 - Produtividade agrícola e produção florestal a partir de melhorias de infraestrutura e demandas crescentes dos mercados globais e mudanças de estratégias de manejo da terra

Estes dados, utilizados para compor as informações necessárias à execução da atividade 1, são produtos provenientes do projeto Otimizagro, desenvolvido no CSR-UFMG. Disponível em: https://csr.ufmg.br/dinamica/otimizagro/ .

2 - Adaptação do modelo FISC para o bioma Cerrado, incluindo a calibração e validação do modelo com dados de campo e melhoramento do desempenho do modelo.

A princípio o projeto visava a adaptação do modelo FISC (https://csr.ufmg.br/dinamica/fisc/) desenvolvido para a Amazônia, entretanto, o componente de espalhamento do fogo do modelo era muito ajustado às condições amazônicas. Assim, nós decidimos refazer o modelo de espalhamento de forma que o modelo de espalhamento fosse mais geral (funcionando para qualquer ambiente e bioma) e os ajustes específicos do Cerrado fossem realizados nos modelos que produziriam as variáveis específicas do Cerrado (como combustível e umidade). Por meio da revisão bibliográfica, foram incluídas equações que apresentam melhor ajuste da relação do comportamento do fogo. Assim, o modelo FISC-Cerrado foi construído utilizando equações obtidas por meio de experimentos controlados que estimam a relação do comportamento do fogo com diversas variáveis como vento, declividade, umidade da vegetação, combustível disponível, taxas de queima da vegetação, regeneração da vegetação e barreiras ao fogo. Para isso, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica que permitiu a construção do modelo FISC-Cerrado. Várias dessas equações apresentam constantes que estão relacionadas ao comportamento local do fogo e que foram calibradas a partir dos dados adquiridos nas atividades de campo realizadas. O modelo estima a velocidade e a intensidade do fogo dadas as variáveis ambientais. A superfície base para a análise de espalhamento é uma superfície de probabilidade bayesiana da chance de fogo dado o combustível seco da vegetação, estimado para cada tipo de vegetação. Por meio desses dados, juntamente com séries históricas de imagens de satélite Landsat- 8, nós construímos um modelo de ajuste e previsão dos dados de combustível (biomassa seca) e umidade da vegetação diária (descrito no item 1.08 e disponível em vídeo palestra em: https://www.youtube.com/watch?v=ZUCzxv9oyZc.

2.01 - Analise das variáveis e calibração do modelo

Algumas das principais variáveis para o modelo de espalhamento do fogo são o combustível (biomassa seca) e umidade da vegetação. Para o cálculo da biomassa seca nós construímos dois modelos, um para o Cerrado com base no modelo de dinâmica da vegetação e um para os parques baseado na reclassificação dos valores do NDVI (descrito no item 1.08). Para umidade da vegetação nós construímos um outro modelo que estima a umidade da vegetação baseando-se em um índice de satélite NDWI (Normalized difference water index). A vantagem de se utilizar

esse índice é que pode-se obter uma medida direta da umidade da vegetação por meio da imagem de satélite. Para o cálculo desse índice nós desenvolvemos uma nova função no software Dinamica-EGO, o que ***não estava previsto no projeto***. Os mapas de umidade da vegetação baseados em NDWI além de úteis para a execução do modelo são uteis também para os parques no manejo e planejamento de combate ao fogo. Para esse dado de umidade da vegetação utilizamos uma série de dados climáticos altamente precisos de estações meteorológicas (descritos no item 1.04) para criar equações do comportamento diário da umidade da vegetação. Com essas equações foi possível realizar o ajuste hora a hora dessa variáveis e permitir que o modelo realize esse ajuste ao longo da simulação. O desenvolvimento dessa função de ajuste horário é um produto ***não previsto no projeto***, entretanto, foi ressaltado (nas discussões descritas no item 1.01) por diversos brigadistas, gerentes de fogo, funcionários dos parques e comunidade local como fundamental para a simulação mais realista do comportamento do fogo, atendendo assim, diretamente, aos usuários finais.

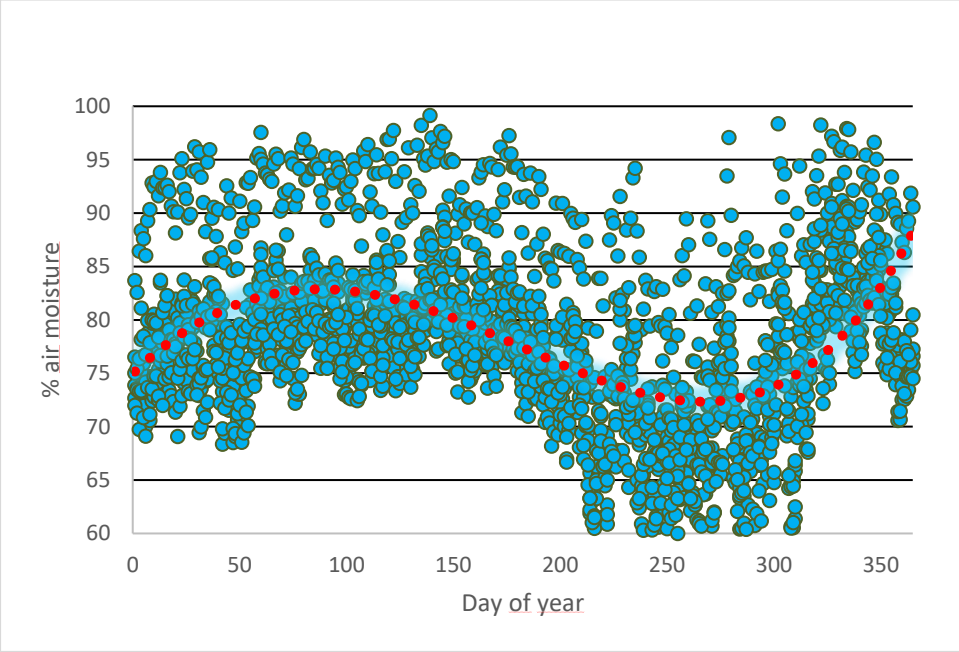


Figura 17: Dados da média da umidade relativa do ar ao longo dos dias do ano, curva mostra modelo de ajuste horário da umidade.

Como o modelo de biomassa seca e umidade da vegetação para os parques se baseiam em imagens de satélite Landsat8, nós tínhamos uma limitação da resolução temporal do modelo a 16 dias (tempo de passagem do satélite). Assim, nós realizamos uma análise da série temporal dos dados de satélite para construirmos um modelo de ajuste diário da umidade e biomassa seca (descrição item 1.08). Esse modelo realiza uma previsão dos valores da biomassa seca e da umidade da vegetação com base no valor esperado para a data desejada por meio do ajuste baseado na série histórica e no dia do ano. Esse ajuste leva em conta os dados mais recentes (última imagem Landsat 8) para realizar a previsão. Desta forma, o modelo de espalhamento do fogo está realizando uma previsão diária dos dados, apesar das imagens Landsat 8 estarem

disponíveis apenas a cada 16 dias. Esse modelo de ajuste diário dos dados permitiu também o preenchimento das lacunas dos dados, causado por nuvens nas imagens de satélite. Nós realizamos testes de validação desse modelo de ajuste diário dos dados e o erro desse modelo é inferior a 5% em ajustes para até 30 dias após a imagem Landsat 8 original. Esses teste de validação foram realizados por meio de validação cruzada das imagens de satélite.

Para que o modelo de espalhamento do fogo apresentasse um ajuste adequado ao comportamento do fogo no Cerrado, nós realizamos dois processos de calibração do modelo: 1 - visava calibrar o modelo de espalhamento, que deveria se comportar de forma adequada com a prevista para o comportamento do fogo em diferentes condições. Assim, simulamos diferentes condições experimentais conhecidas e testamos o comportamento do modelo nessas condições; 2 – para calibração do modelo em condições reais, do Cerrado, nós realizamos uma série de simulações que serviram para os ajustes do modelo nas condições observadas nos parques estudados. Para os ajustes, nós realizamos simulações em períodos passados que antecederam eventos de queimada, assim podíamos controlar o comportamento que o fogo deveria ter para se obter os resultados mais realistas. Além disso, diversos dos trabalhos de campo realizados (item 1.01) foram fundamentais para a calibração do modelo. Nós também desenvolvemos uma versão do modelo do fogo que estima a probabilidade de espalhamento do fogo sob quaisquer cenários. Esse modelo utiliza uma simulação de Monte Carlo para estimar a chance de cada pixel pegar fogo sob diversas condições de vento, combustível e umidade da vegetação. São realizadas 100 simulações para cada mês do ano para se estimar a chance média de cada pixel pegar fogo. Esse modelo de Monte Carlo é uma importante inovação tecnológica desenvolvida para o monitoramento e prevenção de incêndios. Esse modelo é extremamente útil para o planejamento do manejo integrado do fogo, realizado anualmente pelos parques. Esse modelo foi desenvolvido como uma nova função no Dinamica-EGO, e ***não estava previsto no projeto***, apesar de ser de grande relevância tanto para o manejo e prevenção de incêndios nas unidades de conservação como para as previsões de comportamento do fogo em cenários de mudanças climáticas e mudanças do uso do solo. Visando a melhoria da performance do modelo pretende-se continuar, até o final do projeto, a realização de calibrações para melhor ajuste do modelo FISC-Cerrado. (vídeo palestra sobre o modelo em: https://www.youtube.com/watch?v=ZUCzxv9oyZc).

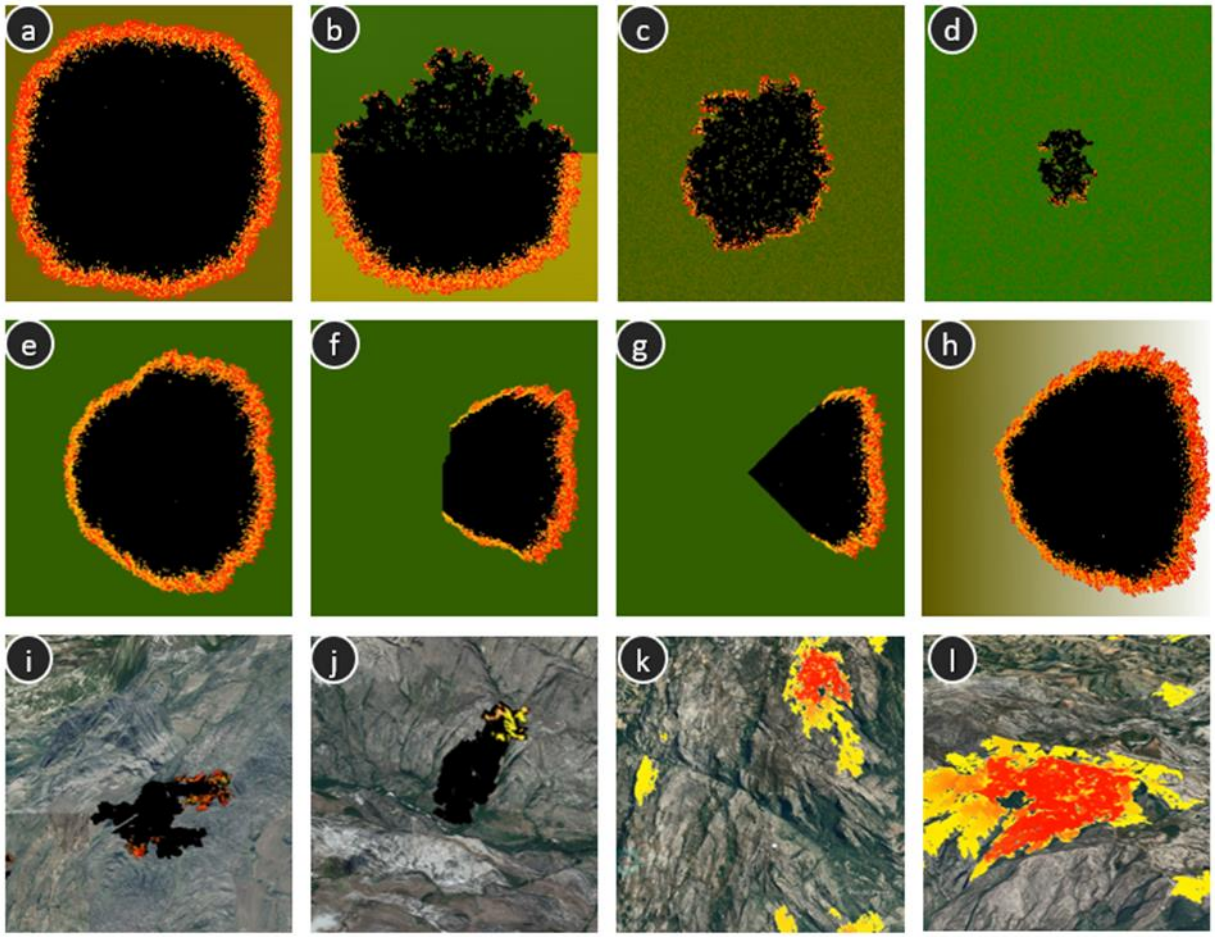


Figura 18: Resultado das simulações de calibração do modelo, de a – h, simulações em condições experimentais, sendo: a) sem restrições, vento, declividade e umidade; b) parte superior com 50% de umidade, inferior igual ao primeiro teste; c) com 50% de umidade, sem vento e declividade; d) com 70% de umidade, sem vento e declividade; e) f) e g) com ação do vento e sem restrição de outras variáveis, velocidade crescente de vento de e para g; h) com ação apenas da declividade; i e j simulações nos parques; k e l simulações de Monte Carlo nos parques.

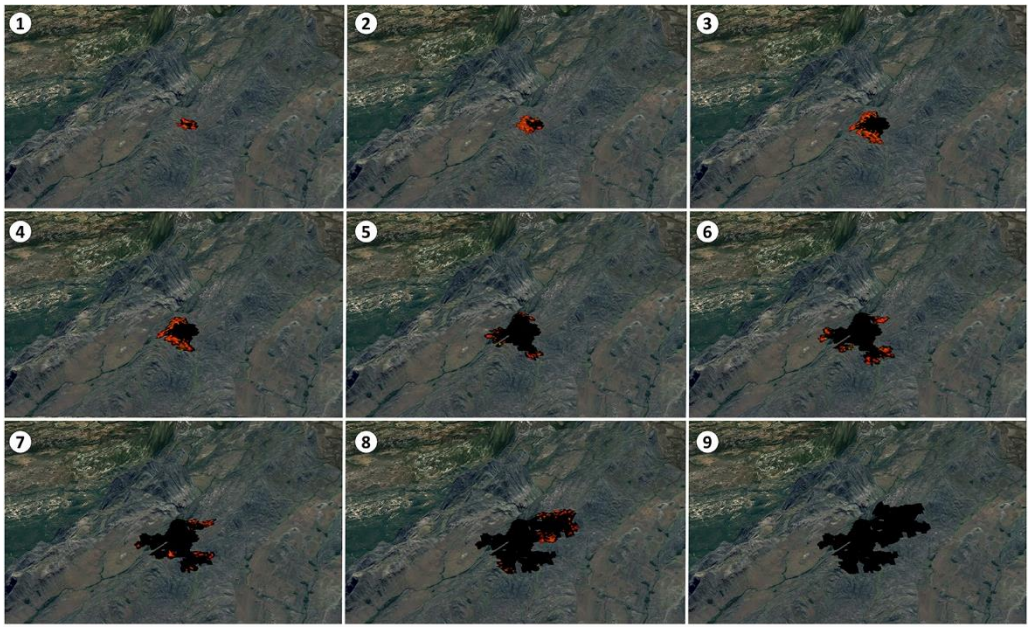


Figura 19: Exemplo de funcionamento do modelo de espalhamento de fogo no Parque Nacional da Serra do Cipó. As manchas pretas representam as áreas queimadas e as vermelhas representam as regiões em processo de queima durante a simulação. Esta simulação foi gerada utilizando-se a porção sul do Parque Nacional da Serra do Cipó.

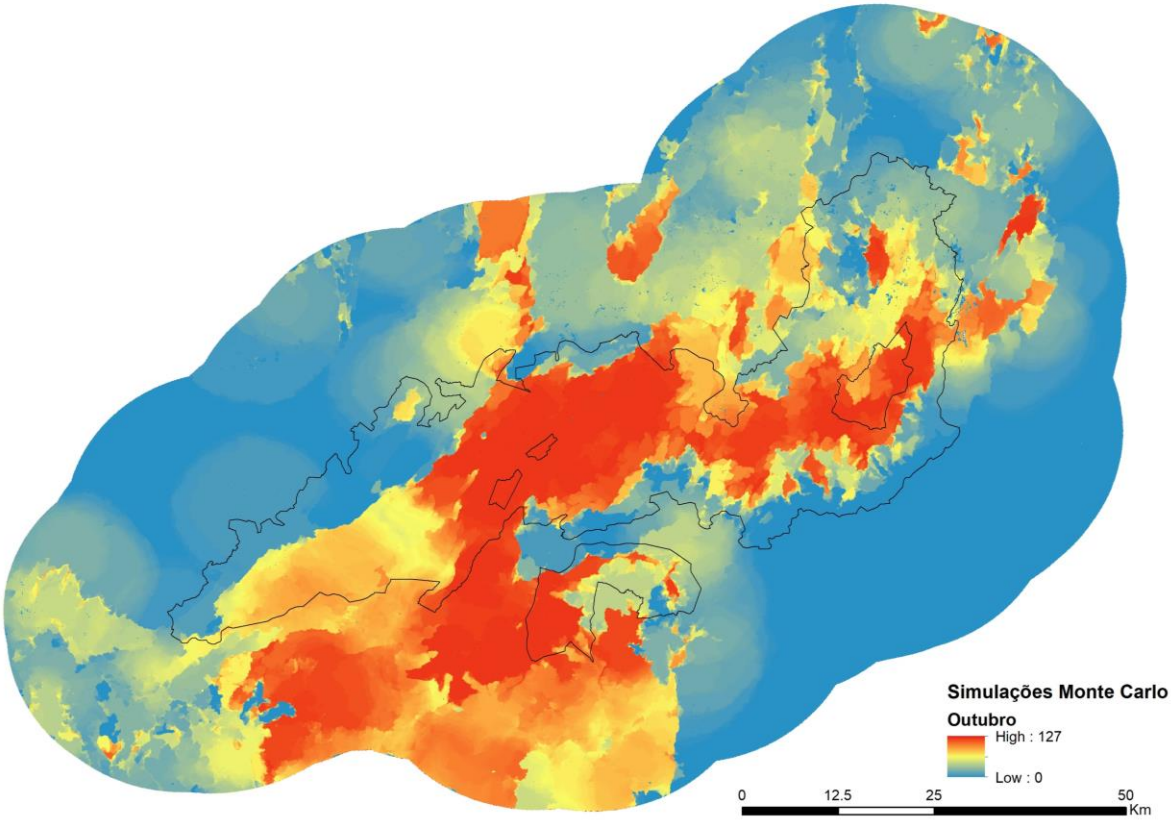


Figura 20: Resultado uma da simulação para o mês de outubro da análise de Monte Carlo para o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

2.02 - Validação do modelo com dados de campo

Os dados obtidos nos trabalhos de campo realizados, foram utilizados para a validação dos primeiros experimentos do modelo FISC-Cerrado. Além destes, dados históricos sobre o fogo fornecidos pelo INPE, também foram utilizados para realizar a validação do modelo de espalhamento FISC-Cerrado. Os resultados da validação indicam uma boa performance do modelo de espalhamento do fogo, com uma taxa de acerto de 82.17%, erro de sobreprevisão de 15.73% e de omissão de 2.08%. Como parte da validação foi realizada por validação cruzada, por meio dos dados de áreas queimadas do INPE, a taxa de sobreprevisão observada era esperada, uma vez que, as áreas queimadas não representam toda a área que tem potencial para queimar devido a ação das brigadas de combate à incêndios. Novos trabalhos de campo serão realizados para que haja continuidade na validação, melhoria e ajustes no modelo.

Figura 21: Resultado do modelo de espalhamento do fogo (à esquerda) e imagem de drone da área queimada em atividade de manejo integrado do Fogo no Parque Nacional da Serra do Cipó.

2.03 - Analisar e melhorar o desempenho do modelo

Com os aprimoramentos da plataforma Dinamica-EGO, realizados pela equipe de desenvolvimento do Dinamica-EGO do CSR-UFMG, foi possível reduzir drasticamente o tempo de processamento do modelo de espalhamento do fogo, permitindo o uso do modelo mesmo em computadores com menor capacidade de processamento. As novas tecnologias desenvolvidas no Dinamica-EGO para processamento paralelo e uso de GPU (em desenvolvimento) permitiram avanços consideráveis, também, nas análises de predição de diferentes cenários, uma vez que, essas análises exigem grande número de simulações. Atualmente, o modelo de espalhamento de fogo roda, em um computador básico (core i3, 4GB de RAM), o modelo de espalhamento para uma área de 5 x 5Km em cerca de 8 minutos. Em computadores com maior capacidade de processamento, essa simulação pode ser rodada em menos de um minuto. Esses avanços favorecem não apenas os usuários do modelo de espalhamento do fogo, uma vez que, a plataforma Dinamica-EGO é utilizada em diversos estudos em todo o mundo (https://csr.ufmg.br/dinamica/publications/) nas mais diversas áreas de estudo científico e no apoio a tomada de decisão. Estamos aprimorando ainda mais a capacidade de processamento e uso dos recursos dos computadores para que o modelo possa

ser executado ainda mais rápido até o final do projeto.

2.04 - Tornar o FISC flexível o suficiente para ser acoplado a modelos climáticos que simulam condições futuras para o clima a longo prazo.

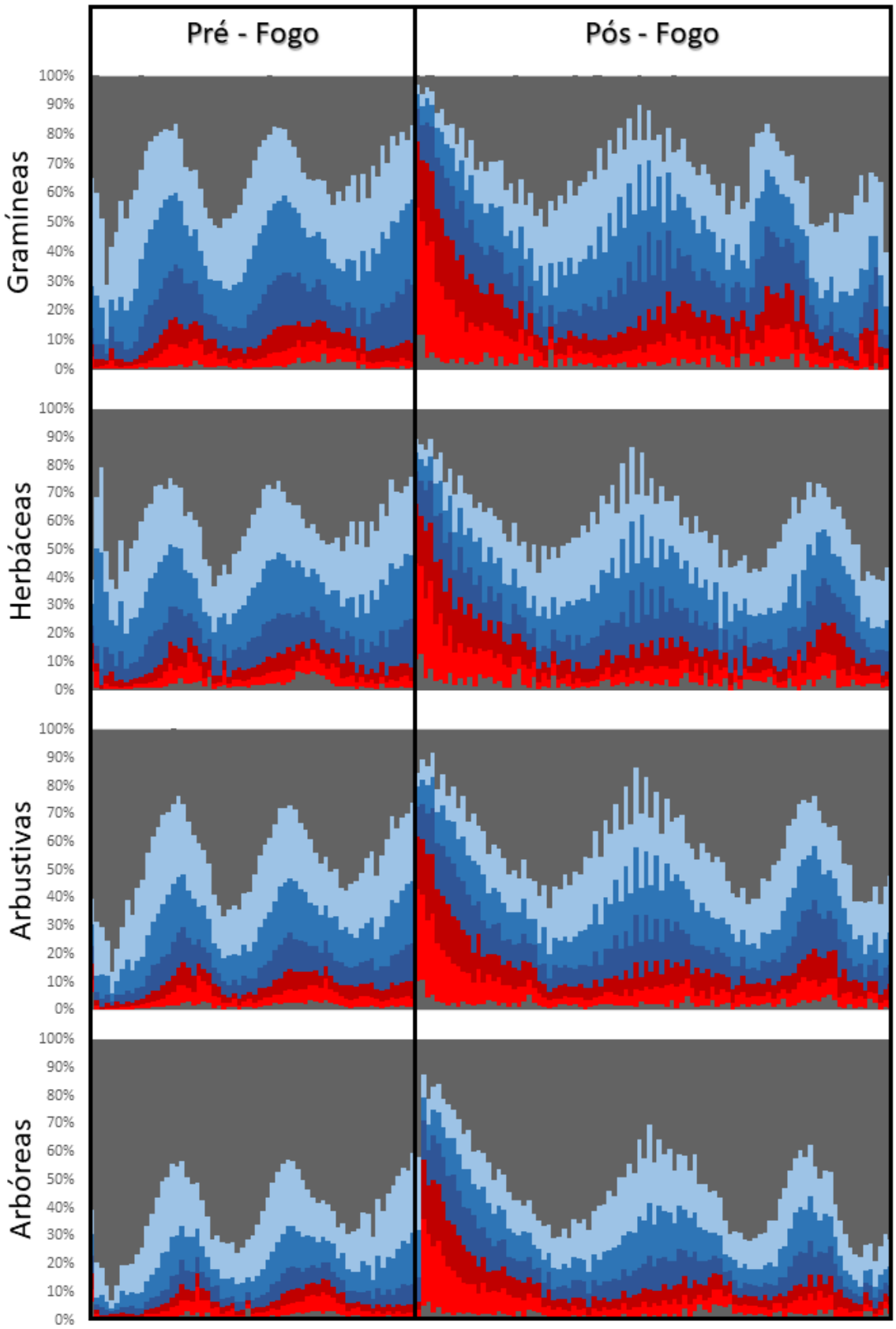
Como as principais variáveis de input do FISC-Cerrado são os modelos de vegetação seca (combustível) e a umidade da vegetação, e essas variáveis estão sendo obtidas por modelos que nós desenvolvemos utilizando modelos não-estacionários geograficamente ponderados (GWR), é de simples execução o acoplamento desses modelos com modelos de cenários de mudanças climáticas. As ferramentas desenvolvidas no Dinamica-EGO, foram planejadas para permitir esse acoplamento e análise de cenários futuros. Dessa forma, o modelo se encontra totalmente flexível para acoplamento com qualquer outro modelo climático e modelos de previsões de mudanças do uso do solo.

2.05 - Acoplar o FISC a uma versão atualizada do SIMBRASIL, chamado OTIMIZAGRO, projetado para ser o instrumento central para o planejamento territorial na NIT - Ministério da Agricultura

O modelo FISC-Cerrado foi desenvolvido para ser flexível e adequado ao acoplamento a outros modelos. Assim, ele encontra-se acoplável ao OTIMIZAGRO, de duas formas: 1-utilizando os mapas de uso do solo gerados pelo OTIMIZAGRO para identificar, juntamente com dados de outras fontes, as áreas de remanescentes de vegetação nativa do Cerrado; 2-permitindo que o OTIMIZAGRO utilize as simulações de fogo e regeneração da vegetação para simular mudanças de uso do solo.

2.06 - Analise dos danos pós-fogo com tabulações de dados e infográficos, extensões de áreas queimadas, tipo de vegetação afetada, estimativa de emissões de carbono

A nossa análise da série histórica de dados de combustível e áreas queimadas indicou como cada tipo de vegetação se comporta pós-fogo e o tempo necessário para retomada do comportamento normal pós-fogo. Além disso, nós desenvolvemos um modelo de comportamento da vegetação que nos permitiu estimar os danos a cada tipo de vegetação e o tempo de recuperação da mesma sob diferentes cenários. Para os cálculos de extensão de área queimada utilizamos os dados do INPE-Queimadas (http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal), além disso, esses dados foram utilizados para os cálculos das probabilidades utilizadas no modelo de espalhamento do fogo. Foi realizado um mapeamento detalhado, incluindo outras fontes (ICMBio e UCs) para o mapeamento dos eventos de incêndios mês a mês ao longo dos últimos anos (Figura 16). O modelo de espalhamento do fogo calcula ao término da simulação a área queimada em hectares, além de outros parâmetros sobre o comportamento do fogo, como velocidade, tempo de queima, intensidade média, etc. Nosso modelo calcula as emissões de carbono, levando em conta os diferentes tipos de fisionomias vegetais do Cerrado e a intensidade do fogo simulado.



THE WORLD BANK
UFMG UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FUNDEP
CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
PÁTRIA AMADA BRASIL GOVERNO FEDERAL

Figura 22: Infográfico da frequência das classes de valores de NDVI ao longo do período de 6 anos, 3 pré-fogo e 3 pós-fogo. As classes em vermelho são indicadoras de áreas expostas (principalmente pela queimada), as classes em azul são as melhores indicadoras da vegetação seca (combustível).

2.07 - Analise da eficácia dos programas de prevenção de fogo

Nossa validação do modelo de espalhamento de fogo dentro dos parques, que possuem programas de prevenção de incêndios e planos de manejo, indicou um valor alto de sobreprevisão do modelo (16%), o que indica, dado que essa análise foi realizada por meio de validação cruzada de dados dos últimos 3 anos, que as brigadas e programas de prevenção de incêndios e planos de manejo integrado do fogo estão sendo efetivos na redução da área queimada. A alta sobreprevisão do modelo indica que áreas que potencialmente queimariam não foram queimadas, indicando a eficiência dessas ações. Por meio das visitas aos parques nós acompanhamos as atividades do monitoramento integrado do fogo, e realizamos análises a posteriori das áreas queimadas no manejo do fogo. Com isso, monitoramos a quantidade de combustível dessas áreas. Além disso, atuamos diretamente, criando novas ferramentas, ***não previstas no projeto***, solicitadas para o planejamento do manejo integrado do fogo, no parque da Serra do Cipó. Essas ferramentas de planejamento, incluem modelos de áreas prioritárias para o manejo e prevenção de incêndios, mapas de combustível e risco de fogo. O modelo de áreas prioritárias de manejo do fogo, é um produto não previsto no projeto, mas será de grande utilidade para todas as unidades de conservação. Com isso, estamos não só avaliando a efetividade dos programas de prevenção do fogo, mas criando ferramentas para modificar e melhorar essa prevenção. Estamos preparando as bases de dados para realizar simulações de cenários frente às atividades de manejo realizadas nos parques. Com isso, teremos uma visão mais precisa da eficácia dos programas de prevenção do fogo. Essa atividade irá se estender até o fim do projeto, pois será realizada constantemente com a aquisição de novos dados de campo.

2.08 - Modelar a regeneração da vegetação e sua continuidade sob diferentes cenários de regimes de fogo

No Cerrado, a vegetação apresenta diferenças significativas de dinâmica sazonal entre os estratos da vegetação: arbóreo, arbustivo, herbáceo e de gramíneas. A dinâmica da biomassa nesses estratos apresenta comportamento distinto quanto a sua taxa de crescimento e decremento natural. Essas taxas apresentam diferenças sazonais, que são afetadas de forma distinta por eventos de fogo O comportamento de cada estrato frente a eventos de queimada também é distinto, exibindo diferentes taxas de regeneração da vegetação após queimado. Considerando esses fatores, foi construído um modelo de dinâmica da vegetação do Cerrado que incorpora tais peculiaridades da vegetação. Esse modelo funciona por meio de um modelo não-estacionário geograficamente ponderado GWR (Geographicaly Weight Regression), a dinâmica da vegetação pré e pós-fogo, esse que permitiu modelar o comportamento da vegetação e estimar sua recuperação sob diferentes cenários.

2.09 - Analisar o potencial impacto de uma série de cenários socioeconômicos e políticos plausíveis sobre os regimes de fogo e as emissões de carbono

Esse marco de acompanhamento teve seu prazo prorrogado na prorrogação do projeto FIP, tendo como nova data de entrega o mês de dezembro de 2020. As análises deste tópico já foram iniciadas e os prazos serão adequadamente cumpridos.

2.10 - Analisar os feedbacks entre a mudança climática, o desmatamento e expansão agrícola

As projeções das superfícies de probabilidade de incêndios para os cenários de mudanças climáticas indicaram um aumento nas áreas com as maiores probabilidades, em relação ao cenário atual. Esse cenário indica que aliado às mudanças de uso do solo (desmatamento, expansão agrícola, etc.) pode haver uma grande perda de áreas de vegetação nativa devido a incêndios mais intensos, frequentes e severos. Para a análise de cenários de mudanças climáticas nós desenvolvemos uma versão do modelo do fogo que estima a probabilidade de espalhamento do fogo sob quaisquer cenários. Esse modelo utiliza uma simulação de Monte Carlo para estimar a chance de cada pixel pegar fogo sob diversas condições de vento, combustível e umidade da vegetação. São realizadas 100 simulações para cada mês do ano para se estimar a chance média de cada pixel pegar fogo. Além disso, realizamos previsões do nível de impacto do fogo em cenários de mudanças climáticas e de mudanças do uso do solo. Nós realizamos uma análise de uma série histórica de dados (2001-2019) para obtermos os fatores determinantes do fogo no Cerrado, e consequentemente, sua relação com políticas públicas e mudanças climáticas e mudanças do uso do solo. Para isso, nós sumarizamos as diferentes dimensões dos incêndios no cerrado (número de eventos de queimada, área queimada média, intensidade do fogo, tempo médio entre os eventos de queimadas e estação predominante de ocorrência do fogo) em uma análise de componentes principais (PCA). O primeiro eixo da PCA correspondeu a mais de 99% da variação dos dados, sendo utilizado como variável dependente, representando o grau de impacto do fogo. Como variáveis candidatas (preditoras) do fogo, nós testamos variáveis climáticas (pluviosidade média, temperatura média e temperatura máxima), variáveis de uso do solo, relacionadas diretamente com políticas públicas de incentivo à produção agrícola e expansão agrícola (distância de áreas rurais, cidades, áreas que sofreram mudança de áreas de remanescentes de vegetação nativa para áreas rurais e áreas urbanas, densidade de gado em pastagens e unidades de conservação), além disso, também foram testados a quantidade de combustível seco e média de raios no período. Utilizamos um modelo autorregressivo espacial para testar a explicação das variáveis. Nossos resultados indicaram que 25% da explicação do modelo (R^2=0.72, Rho=0.88) correspondem a fatores relacionados diretamente com políticas públicas, como mudança do uso do solo e densidade de gado. As áreas protegidas são alvos frequentes dos incêndios no Cerrado, explicando 13% do modelo. O clima contribui para 56% da explicação, indicando o papel de mudanças climáticas no fogo.

Nesses cenários, previu-se áreas até dez vezes maiores que as atuais com fogo de alto impacto.

Estamos trabalhando em um manuscrito científico na qual serão explorados os resultados dessas análises.

2.11 - Examinar diversas políticas públicas recentes sobre regimes de fogo no bioma Cerrado, juntamente com suas implicações para os serviços ecossistêmicos e bens, perdas econômicas e mitigação das mudanças climáticas

Nós realizamos uma análise de uma série histórica de dados (2001-2019) para obtermos os fatores determinantes do fogo no Cerrado, e consequentemente, sua relação com políticas públicas e mudanças climáticas e mudanças do uso do solo. Para isso, nós sumarizamos as diferentes dimensões dos incêndios no cerrado (número de eventos de queimada, área queimada média, intensidade do fogo, tempo médio entre os eventos de queimadas e estação predominante de ocorrência do fogo) em uma análise de componentes principais (PCA). O primeiro eixo da PCA correspondeu a mais de 99% da variação dos dados, sendo utilizado como variável dependente, representando o grau de impacto do fogo. Como variáveis candidatas (preditoras) do fogo, nós testamos variáveis climáticas (pluviosidade média, temperatura média e temperatura máxima), variáveis de uso do solo, relacionadas diretamente com políticas públicas de incentivo à produção agrícola e expansão agrícola (distância de áreas rurais, cidades, áreas que sofreram mudança de áreas de remanescentes de vegetação nativa para áreas rurais e áreas urbanas, densidade de gado em pastagens e unidades de conservação), além disso, também foram testados a quantidade de combustível seco e média de raios no período. Utilizamos um modelo autorregressivo espacial para testar a explicação das variáveis. Nossos resultados indicaram que 25% da explicação do modelo (R^2=0.72, Rho=0.88) correspondem a fatores relacionados diretamente com políticas públicas, como mudança do uso do solo e densidade de gado. As áreas protegidas são alvos frequentes dos incêndios no Cerrado, explicando 13% do modelo. O clima contribui para 56% da explicação, indicando o papel de mudanças climáticas no fogo.

3 - Operacionalização do sistema FISC-Cerrado online, incluindo o desenvolvimento de uma interface online no site Queimadas de mapas de risco de espalhamento de fogo, dados tabulares e infográficos, bem como a operação e manutenção do sistema online e suporte continuo para usuários do sistema online.

Diversas informações, incluindo gráficos, dados geográficos, resultados de simulações, mapas, vídeos, infográficos interativos e materiais didáticos estão disponíveis no site do projeto (http://csr.ufmg.br/fipcerrado/). Os dados do Google Analytics indicam que no ano de 2019 nosso site recebeu mais de 600 visitas de diversos países, sendo o público brasileiro o principal no site. Todos os dados dos modelos e das variáveis também já estão disponíveis em nosso site. Além disso, desenvolvemos um modelo online que roda uma simulação de incêndios para as unidades de conservação estudadas e para o Cerrado uma vez por dia. Essas simulações são baseadas nos dados de focos de incêndios fornecidos pelo INPE-Queimadas.

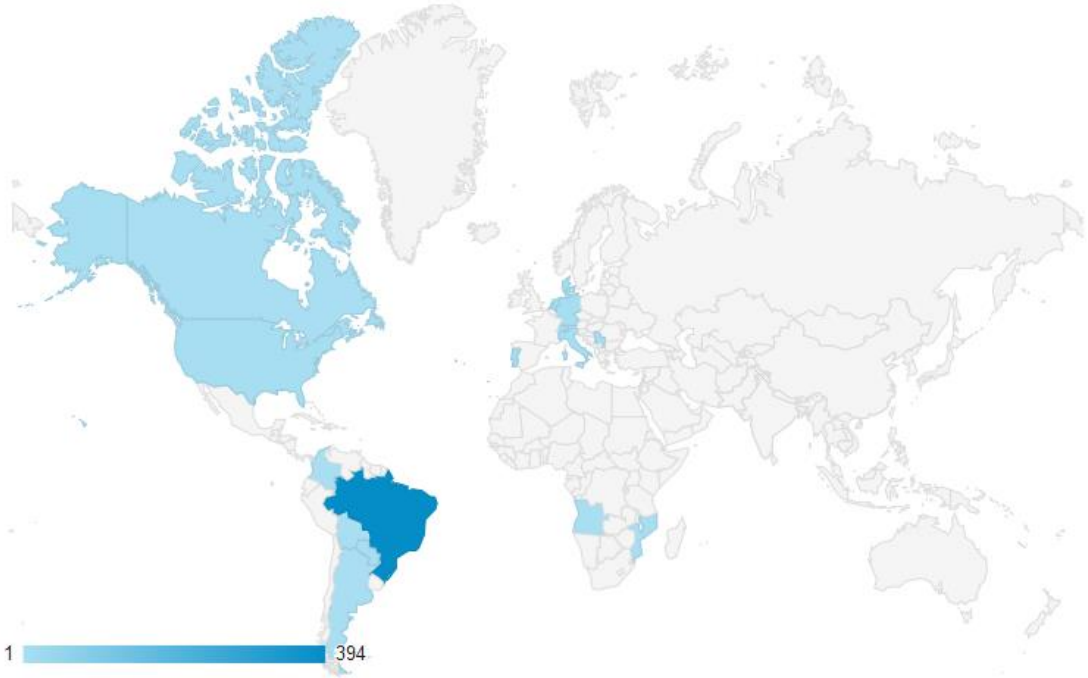


Figura 23: Número de acessos ao site do projeto: http://csr.ufmg.br/fipcerrado/ por país ao longo de 2019.

3.01 - Desenvolvimento de uma interface on-line no site Queimadas/INPE com mapas de risco de propagação de incêndio

Nós desenvolvemos uma interface online do modelo de espalhamento do fogo (item 2) que realiza automaticamente a simulação do espalhamento do fogo nas unidades de conservação foco (Serra do Cipó, Serra da Canastra e Chapada dos Veadeiros) e no Cerrado duas vezes ao dia. Essa simulação é realizada com base nos focos de incêndio identificados via satélite pelo INPE-Queimadas todos os dias às 0:00. Além da simulação de espalhamento do fogo, derivada dos pontos de ignição do INPE, nós também calculamos métricas como área queimada na simulação, mapas de probabilidade de fogo, umidade da vegetação e histórico das simulações dos últimos 15 dias, também foram disponibilizados aos usuários uma série de novos produtos como: : 1- previsão três vezes ao dia do espalhamento do fogo para o Cerrado (500 metros de resolução); 2 - previsão três vezes ao dia do espalhamento do fogo para as três unidades de conservação: Serra da Canastra, Serra do Cipó e Chapada dos Veadeiros (20 metros de resolução); 3 – Mapas diários de biomassa seca para o Cerrado e para as unidades de conservação; 4 – mapas diários de umidade da vegetação; 5 – intervalo médio entre queimadas ao longo dos últimos 19 anos; 6 – Ocorrências de queimadas dos últimos 19 anos; 7 – gráficos da estimativa de área queimada dos últimos 15 dias; 8 – mapas de combustível no padrão utilizado pelo ICMBio; 9 – mapa de realce do infravermelho, ressaltando áreas queimadas; 10 – mapa de índice de vegetação NDVI diário; 11 – mapa de índice de razão normalizada de queima (NBR) diário; 12 – Mapa RGB de alta resolução(20m), diário, para as unidades de conservação.

Todos dos dados utilizados nas análises ficam disponíveis para visualização no e manipulação no site e também para download. Assim, a simulação é rodada desde que ajam focos de incêndio detectados para o dia ou o dia anterior da simulação. Esses resultados são disponibilizados no site do projeto: https://csr.ufmg.br/fipcerrado/.

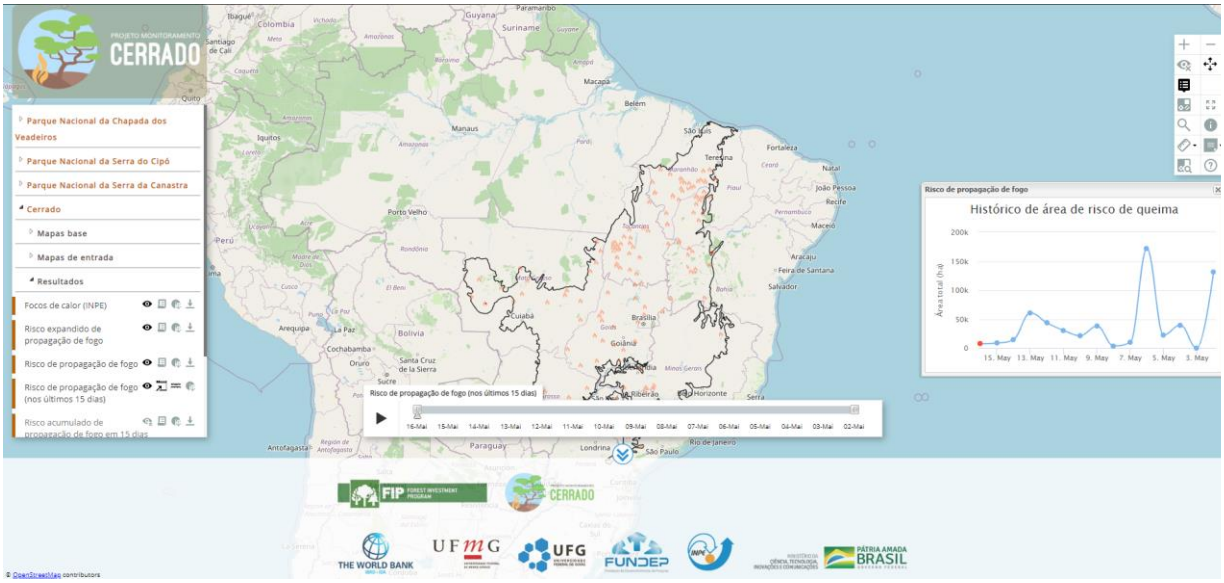


Figura24: Modelo online de espalhamento de fogo no Cerrado

3.02 - Operação e manutenção do sistema on-line e suporte regular para os usuários do sistema

O modelo online é atualizado diariamente, três vezes ao dia, de forma automatizada. Os usuários das unidades de conservação recebem suporte direto via e-mail e telefone. Além disso, demandas urgentes e planejamentos de MIF estão sendo realizadas por meio de solicitações das Unidades de Conservação por meio dos canais de comunicação. Foram criados tutoriais e vídeo aulas para o uso da plataforma para facilitar o acesso e o uso mesmo sem cursos presenciais no momento, devido a pandemia de COVID-19. No entanto, realizamos, e continuamos realizando treinamento online.

4 - Operacionalização do sistema FISC-Cerrado off-line em três unidades de conservação piloto, incluindo o desenvolvimento de uma interface amigável para usuários finais do sistema FISC-Cerrado off-line.

Ao longo dos contatos com os usuários finais (item 1.01 e 5.01) nós investigamos a melhor configuração da interface do usuário final. Para torna-la mais amigável, nós utilizamos ferramentas de desenvolvimento de interface visual do Dinamica-EGO. Com isso, nós conseguimos desenvolver uma interface amigável que atende aos usuários finais em usabilidade e em funções e opções que são mais relevantes para eles. Aliado a isso, a interface não necessita de alto desempenho computacional, podendo ser executada em qualquer

computador.

4.01 - Desenvolvimento de uma interface amigável para o sistema FISC-Cerrado off-line para uso pelos usuários finais como gestores de áreas protegidas

Para o desenvolvimento da interface amigável nós utilizamos a funcionalidade do modo Wizard do Dinamica-EGO. Essa interface já está em sua segunda versão. Vários dos desenvolvimentos e ajustes dessa interface foram realizados por solicitação dos usuários finais em nossos treinamentos (item 5.01). Os usuários das unidades de conservação, por exemplo, solicitaram que a saída dos mapas fosse em formato KML para que pudesse ser visualizada no Google Earth, software que os usuários já possuem costume de utilizar. Com isso, modificamos a interface do usuário para que automaticamente convertesse os arquivos para o formato KML incluindo animações em KMZ. A interface amigável realiza todos os procedimentos de tratamento, projeção, cálculo e processamento das variáveis para depois rodar o modelo de espalhamento do fogo. Desta forma, a interface ficou extremamente simplificada permitindo seu uso por pessoas sem nenhum conhecimento prévio e sem conhecimentos específicos em processamento de dados geográficos. Outra mudança na nova versão da interface amigável, que foi determinada por pedido dos usuários finais foi a possibilidade do usuário entrar com dados de campo sobre velocidade e direção do vento. A interface foi desenvolvida para que possa ser rodada em qualquer computador, Windows, Mac ou Linux. Atualmente a interface amigável está concluída e já foi utiliza em diversos treinamentos com os usuários finais.

Figura25: Interface amigável de análise do espalhamento do fogo na sua versão 1.0, com apenas cinco passos o usuário final consegue realizar a simulação do espalhamento do fogo para área desejada.

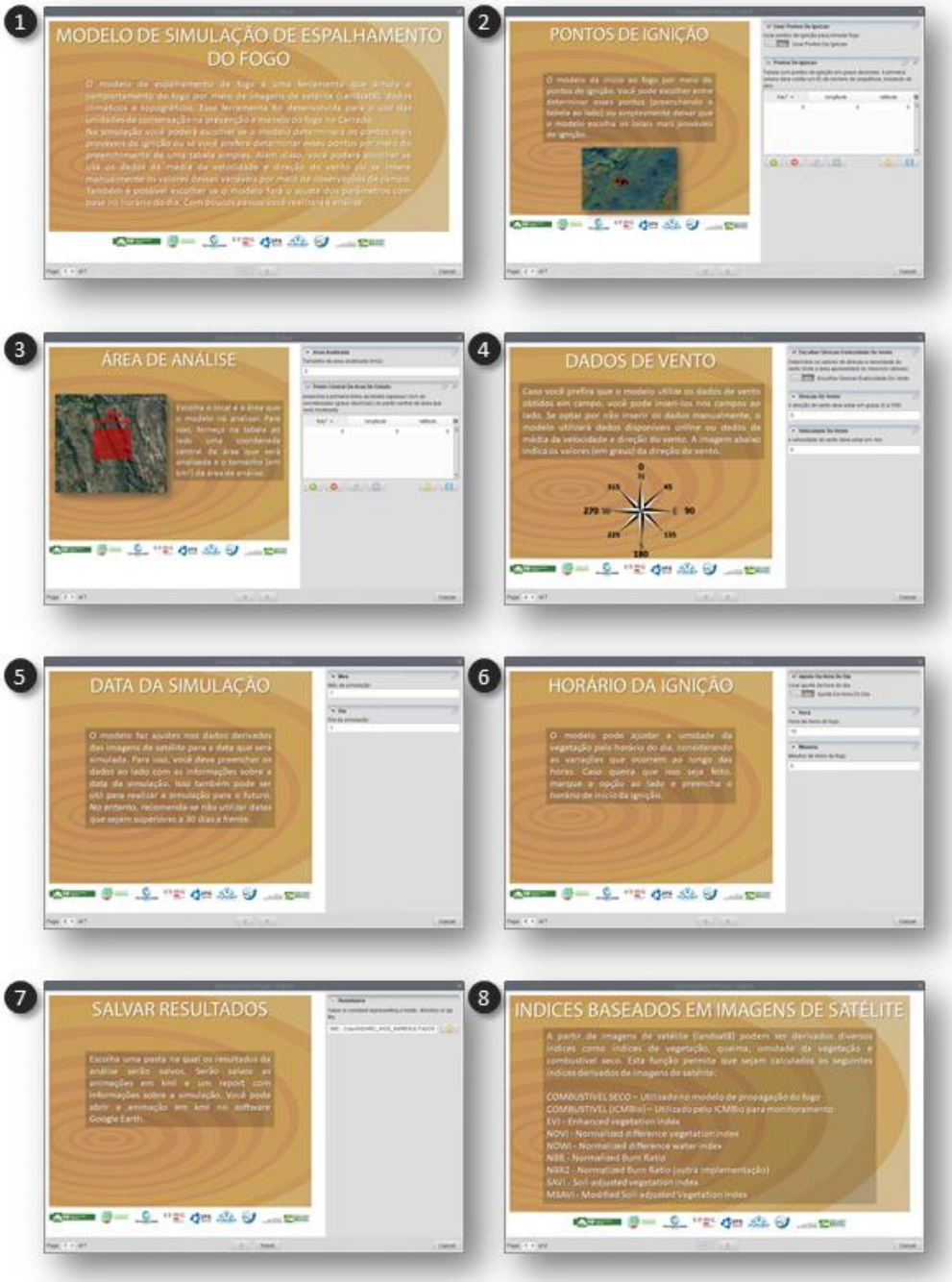


Figura 26: Interface amigável de análise do espalhamento do fogo na sua versão 2.0, Agora com modificações que tornam a análise mais rápida e uma interface mais explicativa, que apresenta, ao final um resumo dos resultados.

4.02 - Desenvolvimento de material educativo e de divulgação (por exemplo. manuais, folhetos, CDs)

Nós desenvolvemos uma série de materiais de divulgação e materiais educativos destinados aos usuários finais, além de materiais online que servem de apoio ao usuário final bem como para

divulgação do projeto. Nós participamos de diversos eventos e seminários na qual nós divulgamos nossos resultados.

No período de 18 a 19 de fevereiro de 2019 foi realizado na UFMG o Workshop de risco e espalhamento do fogo no cerrado, visando reunir para discussões os pesquisadores do CSR-UFMG, INPE e os funcionários e brigadistas dos parques. Nesse evento foram apresentados os resultados do projeto, as demandas e necessidades dos parques (representado pelo Parque Nacional da Serra do Cipó) e discutidas questões relacionadas ao avanço do projeto visando atender às necessidades dos parques. O evento foi aberto ao público geral e contou, também, com uma plateia que incluía alunos de graduação e pós-graduação, além de outros pesquisadores relacionados à pesquisa com fogo.

Figura 27: Workshop de risco e espalhamento do fogo no cerrado realizado na UFMG. a: plateia do evento; b: Integrantes da abertura do evento, Leila Fonseca – INPE, Britaldo Soares-Filho – CSR-UFMG, Edward Elias Júnior – ICMBio – Serra do Cipó; Apresentações de c: Alberto Setzer – INPE; d: Hermann Oliveira Rodrigues – CSR-UFMG; e: Willian Rosa – INPE; f: Ubirajara Oliveira – CSR-UFMG.

No período de 24 à 26 de junho de 2019 o pesquisador *Ubirajara de Oliveira* participou do evento MundoGEO em São Paulo. Nesse evento o pesquisador realizou uma apresentação oral do modelo de espalhamento do fogo desenvolvido pelo CSR-UFMG.

No dia 22 de agosto de 2019 o pesquisador *Ubirajara de Oliveira* ministrou uma palestra sobre o desenvolvimento do Modelo de espalhamento do Fogo, seus usos e aplicações no evento I Workshop Ignite: Subsídios para o manejo do fogo no Cerrado. Esse evento contou com amplo público de pessoas do setor público e privado, com interesse no manejo do fogo no Cerrado. A apresentação no evento foi filmada e divulgada em mídias sociais

(https://www.youtube.com/watch?v=M12P1KnrxK4).

I WORKSHOP IGNITE: SUBSÍDIOS PARA O MANEJO DO FOGO NO CERRADO

Certificamos que **UBIRAJARA OLIVEIRA** participou na qualidade de palestrante do **I WORKSHOP IGNITE: SUBSÍDIOS PARA O MANEJO DO FOGO NO CERRADO**, no qual ministrou a palestra **MODELO DE ESPALHAMENTO DO FOGO NO CERRADO**. O evento foi realizado no período de 22 de Agosto de 2019, no Auditório da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e promovido pelo Laboratório de Ecologia Evolutiva e Biodiversidade – LEEB, com carga horária total de 10 horas.

Prof. Dr. Geraldo Wilson A. Fernandes
Coordenador do Projeto IGNITE
Belo Horizonte, 22 de Agosto de 2019

Figura 28: Certificado da apresentação no evento: I Workshop Ignite: Subsídios para o manejo do fogo no Cerrado.

No dia 28 de outubro de 2019 a pesquisadora *Letícia Gomes* realizou uma apresentação oral e uma apresentação de pôster no congresso internacional Wildfire 2019. Foram apresentados os resultados do modelo de espalhamento do Fogo e do desenvolvimento do modelo de biomassa seca do Cerrado, que serve como base ao modelo de espalhamento do fogo.

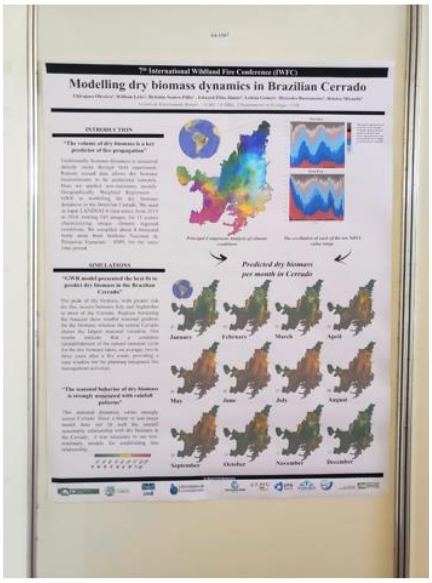


Figura 29: Apresentação oral, a esquerda, e poster, a direita, no evento Wildfire 2019 .

Todas as atividades do projeto são divulgadas na página do projeto bem como os materiais de divulgação: https://csr.ufmg.br/fipcerrado bem como nas mídias sociais do CSR-UFMG: https://www.facebook.com/centrodesensoriamentoremoto/. Nosso treinamento foi filmado e encontra-se disponível online (https://www.youtube.com/watch?v=ZUCzxv9oyZc). Além disso, nós desenvolvemos materiais educativos para os parques.

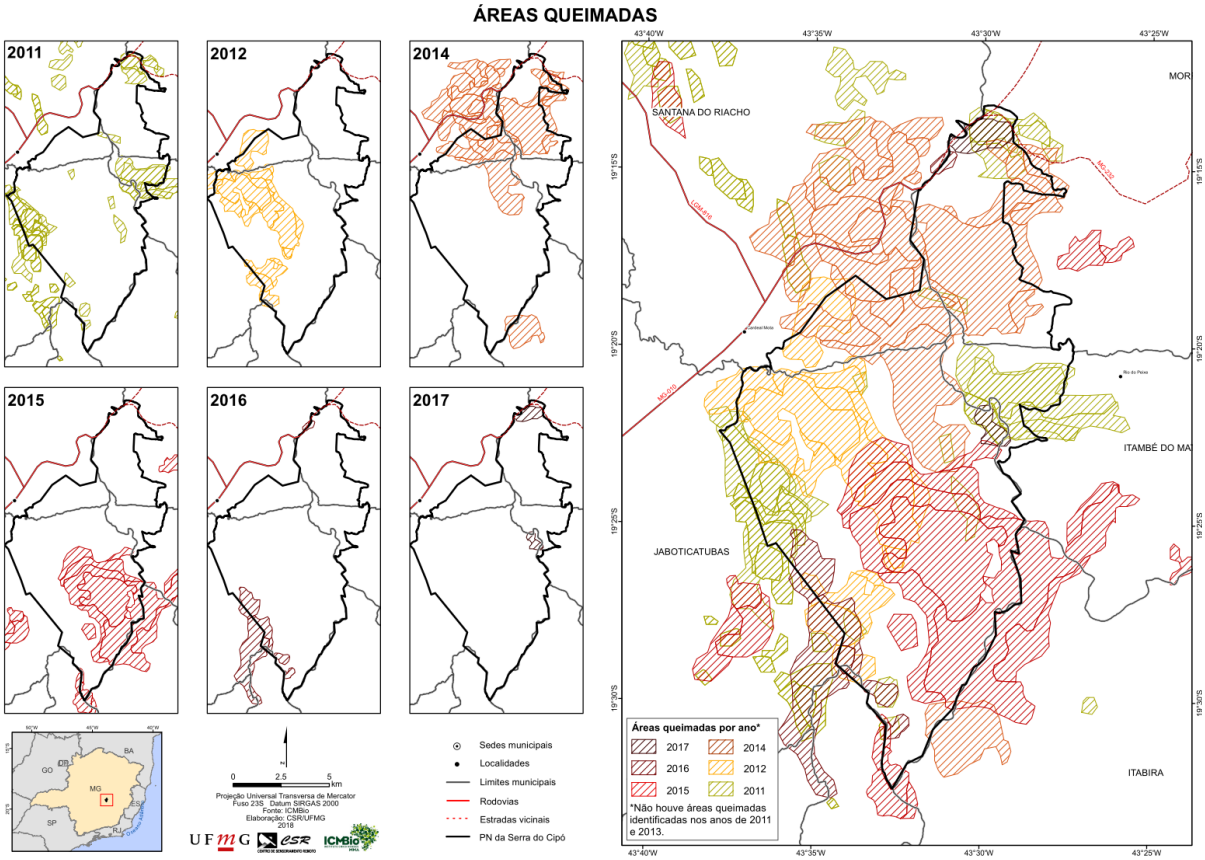


Figura 30: Material desenvolvido para o Parque Nacional da Serra do Cipó com o histórico de áreas queimadas.

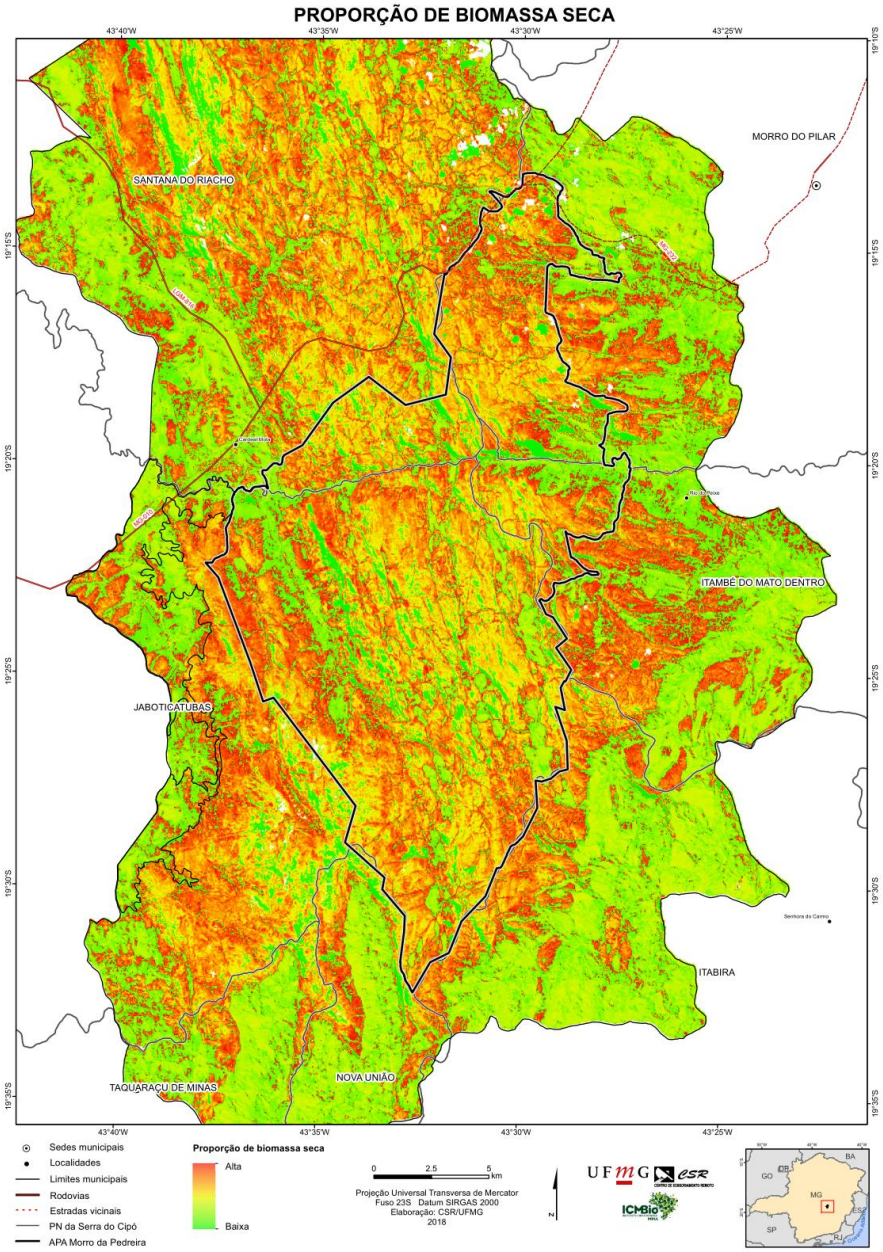


Figura 31: Material desenvolvido para o Parque Nacional da Serra do Cipó, mapa de combustível.

5 - Realização de programa de treinamento prático direcionado a atores selecionados, sobre a aplicação de ferramentas para a modelagem do risco de fogo.

Nós realizamos diversos treinamentos com os usuários finais. Os primeiros treinamentos além de capacitar os usuários finais foram fundamentais para o aprimoramento da interface final do usurário bem como para desenvolver novas parcerias e instigar o interesse de órgãos como ANNEL, AMBDA, IEF-MG, pesquisadores e outros.

5.01 - Oito treinamentos de 3 dias

01 - Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros

No período de 15 a 20 de novembro de 2017 as consultoras *Lilian Aline Machado*, *Isabela Lorenzini* e *Camila Souza Silva* estiveram na localidade de São Jorge no município Alto Paraíso de Goiás na sede do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros para participarem do evento 5º. Encontro de Pesquisadores da Chapada dos Veadeiros. No evento foram apresentados produtos conforme combinado na visita de pesquisadores realizada de 02 a 05 de outubro de 2017. Esse evento teve como público os funcionários do parque, brigada e comunidade local. No evento foram apresentados os seguintes produtos:

1 - Apresentação do projeto (Anexo III);

2 – Rotina de mapeamento de áreas queimadas (Anexo IV);

3 – Tutorial do Google Earth (Anexo V);

4 - Tutorial conexão focos de calor INPE - Google Earth (Anexo VI);

5 – Tutorial do Dinamica EGO – Geração de Mapa de Acumulo de Combustível (Anexo VII).

02 – Parque Nacional da Serra da Canastra

No período de 18 a 19 de fevereiro de 2019 os pesquisadores *Ubirajara de Oliveira* e *William Leles S. Costa* ministraram o treinamento dos funcionários do Parque Nacional da Serra da Canastra. Nesse treinamento foi apresentado o funcionamento do modelo de espalhamento do fogo e o uso da interface amigável do usuário, além de funcionalidades como os mapas de combustível e umidade da vegetação. As discussões nesse treinamento levaram a melhorias na interface do usuário, ao desenvolvimento de novas funções que atendiam a demandas da UC e produção de materiais que foram solicitados pelos usuários do parque para contribuir para o planejamento do manejo integrado do fogo. Ao todo, participaram do treinamento oito pessoas, entre funcionários e brigadistas do parque.

03 - Parque Nacional Serra do Cipó

No dia 19 de agosto de 2019 o pesquisador *Ubirajara de Oliveira* ministrou no Parque Nacional da Serra do Cipó o treinamento dos funcionários do com a plataforma de modelagem do espalhamento do fogo – interface do usuário. Foi realizada uma palestra na qual o modelo de espalhamento do fogo foi explicado e foram apresentados os avanços obtidos nas análises dos parques. O treinamento foi realizado para 10 pessoas, entre essas estavam, funcionários do parque, brigadistas e pessoas da comunidade. Foram realizadas discussões com os funcionários do parque visando melhorar as funções do modelo de espalhamento do fogo, tornando-o mais acessível e útil para os usuários do parque.

Figura 32: Treinamento e discussão sobre o modelo de espalhamento do fogo no Parque Nacional da Serra do Cipó.

04 - Parque Nacional da Serra da Canastra

No período de 12 à 14 de junho de 2019 os pesquisadores *Ubirajara de Oliveira* e *William Leles S. Costa* ministraram no Parque da Serra da Canastra o treinamento dos funcionários do Parque Nacional da Serra da Canastra com a plataforma de modelagem do espalhamento do fogo. Realizamos uma palestra na qual mostramos os avanços do modelo de espalhamento do fogo e mostramos como o modelo funciona. Foram realizadas discussões com os funcionários do parque visando melhorar as funções do modelo de espalhamento do fogo, tornando-o mais acessível e útil para os usuários do parque. Esse treinamento foi realizado para 7 pessoas, entre funcionários do parque e brigadistas.

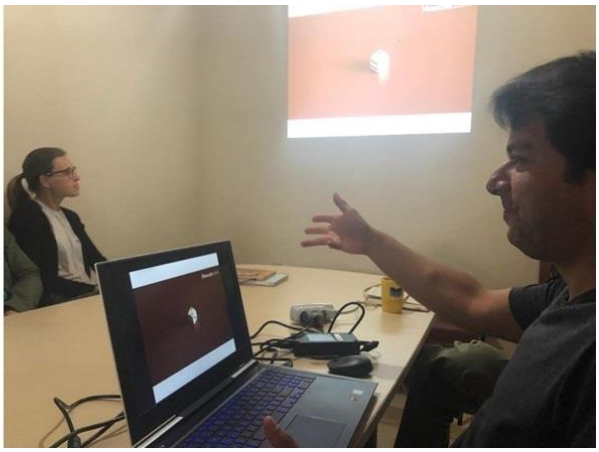


Figura 33: Treinamento e discussão sobre o modelo de espalhamento do fogo no Parque Nacional da Serra da Canastra.

05 - Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros

No período de 05 à 07 de agosto de 2019 os pesquisadores *Ubirajara de Oliveira* e *William Leles S. Costa* ministraram no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros o treinamento dos

funcionários do com a plataforma de modelagem do espalhamento do fogo. Realizamos uma palestra na qual mostramos os avanços do modelo de espalhamento do fogo e mostramos como o modelo funciona. Foram realizadas discussões com os funcionários do parque visando melhorar as funções do modelo de espalhamento do fogo, tornando-o mais acessível e útil para os usuários do parque. Dez pessoas participaram do treinamento, dentre elas funcionários, brigadistas e estagiários e voluntários do parque.

Figura 34: Treinamento e discussão sobre o modelo de espalhamento do fogo no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

06 - Workshop de risco e espalhamento do fogo no cerrado

No período de 18 a 19 de fevereiro de 2019 foi realizado na UFMG o Workshop de risco e espalhamento do fogo no cerrado, visando reunir para discussões e treinamento na interface de modelagem de espalhamento do fogo os pesquisadores do CSR-UFMG, INPE e os funcionários e brigadistas dos parques. O evento contou com pesquisadores de diferentes institutos e pessoas de diferente instituições como o IEF-MG. Nesse evento foram apresentados os resultados do projeto, as demandas e necessidades dos parques (representado pelo Parque Nacional da Serra do Cipó) e discutidas questões relacionadas ao avanço do projeto visando atender às necessidades dos parques. O evento foi aberto ao público geral e contou, também, com uma plateia que incluía alunos de graduação e pós-graduação, além de outros pesquisadores relacionados à pesquisa com fogo.

Figura 35: Workshop de risco e espalhamento do fogo no cerrado realizado na UFMG. a: plateia do evento; b: Integrantes da abertura do evento, Leila Fonseca – INPE, Britaldo Soares-Filho – CSR-UFMG, Edward Elias Júnior – ICMBio – Serra do Cipó; Apresentações de c: Alberto Setzer – INPE; d: Hermann Oliveira Rodrigues – CSR-UFMG, e: – INPE; f: Ubirajara Oliveira – CSR-UFMG.

07 – Mundo Geo

Foi realizado um treinamento da interface modelagem do espalhamento do fogo no evento Mundo Geo Connect Plus 2019, em São Paulo no mês de novembro. O evento contou com pessoas de diferentes instituições como ANNEL, funcionários de governos estaduais dentre outros.

Figura 36: Treinamento da Plataforma de modelagem de fogo do usuário, da interface 1.0, no Mundo Geo Connect 2019, no mês de novembro.

08 – Curso de capacitação

No dia 06 de dezembro de 2019 foi realizado no Instituto de Geociências da UFMG o treinamento no Curso de capacitação no Modelo de espalhamento do fogo. O curso contou com representantes dos três parques estudados, representantes do IEF-MG, estudantes de graduação, pós-graduação, membros da Brigada da AMBDA e pesquisadores de diversas áreas. Ao todo participaram 18 pessoas. Os participantes demostraram, no questionário

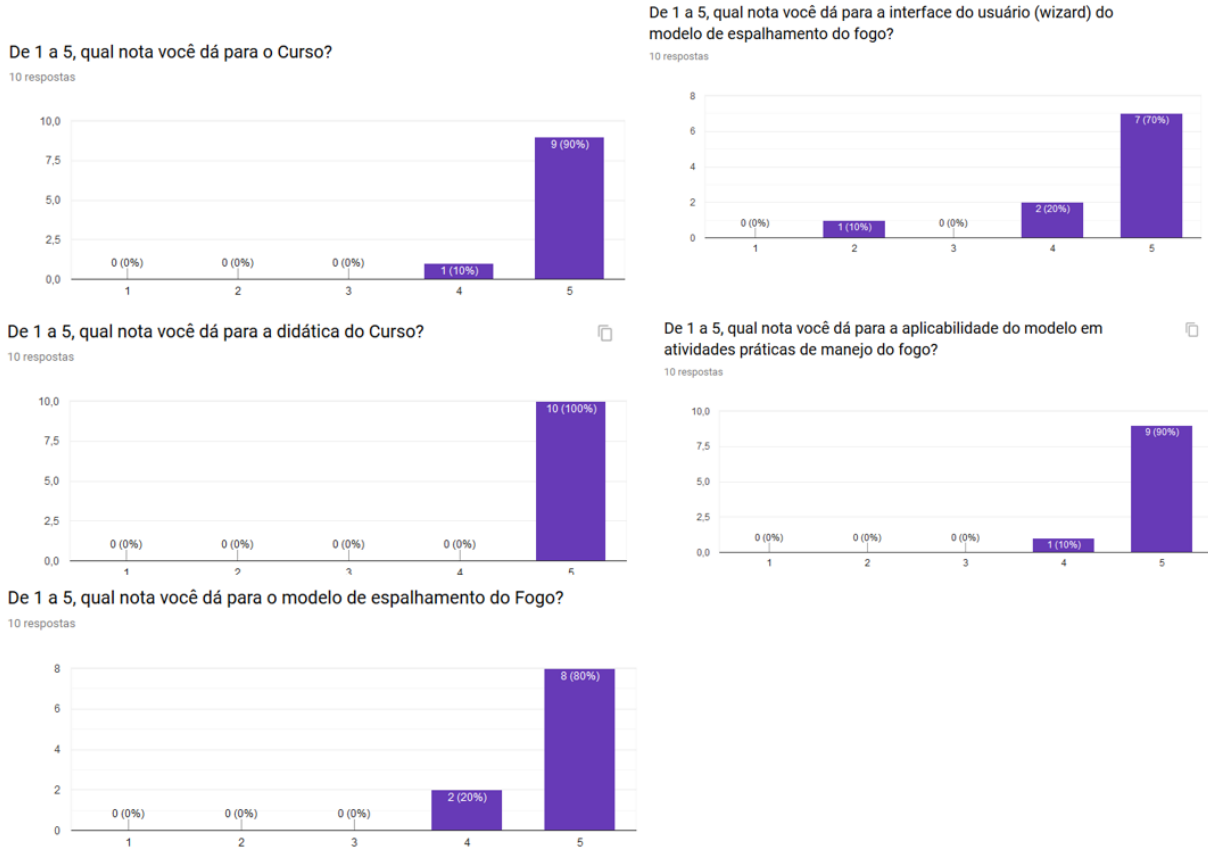


Figura 37: questionário online sobre a opinião dos usuários sobre o curso de capacitação no modelo de espalhamento do fogo e a interface do usuário.

08 – Curso de capacitação online

No dia 27 de agosto de 2020 foi realizado online o treinamento no Curso de capacitação no Modelo de espalhamento do fogo online. O curso contou com representantes das unidades de conservação, representantes do IEF-MG, estudantes de graduação, pós-graduação, membros da Brigada da AMBDA e pesquisadores de diversas áreas. Ao todo participaram 11 pessoas.

PRORROGAÇÃO DO PROJETO - 2020

6 - Desenvolvendo ferramentas de análise que se adequem melhor à realidade das unidades de conservação, por meio de interfaces amigáveis, e saídas mais adequadas ao uso dos funcionários do ICMBio/MMA em cada um dos parques.

Nós desenvolvemos um conjunto de ferramentas por meio da solicitação dos usuários finais nas unidades de conservação e brigadas de incêndio. Algumas das demandas dos usuários finais relacionam-se a dados de mapeamento de índices de satélites úteis no manejo no fogo. Assim, nós já desenvolvemos uma ferramenta que gera alguns desses mapas. Outras ferramentas

também foram desenvolvidas para a plataforma online, como mapas de histórico de fogo, tempo médio entre os incêndios, pixel a pixel, mapas de realce do infravermelho, que permitem a visualização de áreas queimadas e frentes de fogo em alta resolução (20m para as unidades de conservação), produtos disponibilizados no formato KML para download no site do modelo online, gerados diariamente, três vezes ao dia.

6.01 - Modelo para a priorização de manejo do fogo, indicando áreas prioritárias para o manejo do fogo dentro da Unidade de Conservação.

Nós desenvolvemos um modelo que prioriza as áreas para manejo do fogo, com base no combustível estimado e no histórico de fogo do local, juntamente com a previsão do risco de incêndios estimada pelo modelo monte carlo. Esse modelo já foi utilizado pela unidade de conservação Parque Nacional da Serra do Cipó. Pretendemos implementar o mesmo modelo nas outras unidades de conservação nas visitas que devem ocorrer em 2021.

7 - Acompanhamento de queimas prescritas nas Unidades de Conservação para observação e aquisição de variáveis em mais uma estação de seca.

Ao longo do primeiro semestre de 2020 seriam realizados trabalhos de campo nas unidades de conservação para o acompanhamento do manejo integrado do fogo. Entretanto, a pandemia de COVID-19 prejudicou as atividades de campo. O prazo de entrega deste item seria Setembro de 2020, entretanto, não foi possível realizar essa atividade, esperamos poder realizar essa atividade em 2021.

7.01 - Modelo devidamente calibrado para cada uma das Unidades de Conservação.

Por meio dos dados adquiridos nos trabalhos de campo de 2020 seriam realizados os últimos ajustes no modelo de espalhamento do fogo, e nos modelos que geram as variáveis utilizadas para as unidades de conservação, entretanto, a pandemia de COVID-19 prejudicou as atividades de campo. O prazo de entrega deste item seria Setembro de 2020, entretanto, não foi possível realizar essa atividade, esperamos poder realizar essa atividade em 2021.

8 - Visita técnica no Parque Nacional da Serra do Cipó – Lagoa Santa – MG para atualização e acompanhamento da utilização do modelo implantado. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.

8.01 - Treinamento e atualização de técnicos do ICMBio/MMA. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.

Esta atividade, bem como coleta de dados de campo que seriam realizadas nesse período foram prejudicadas pela pandemia de COVID-19. O prazo de entrega deste item seria Setembro de 2020, entretanto, não foi possível realizar essa atividade, esperamos poder realizar essa atividade em 2021.

9 - Visita técnica no Parque Nacional da Serra da Canastra – São Roque – MG para atualização e acompanhamento da utilização do modelo implantado. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.

9.01 - Treinamento e atualização de técnicos do ICMBio/MMA. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.

Esta atividade, bem como coleta de dados de campo que seriam realizadas nesse período foram prejudicadas pela pandemia de COVID-19. O prazo de entrega deste item seria Setembro de 2020, entretanto, não foi possível realizar essa atividade, esperamos poder realizar essa atividade em 2021.

10 - Visita técnica no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – Alto Paraíso de Goiás – GO para atualização e acompanhamento da utilização do modelo implantado. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.

10.01 - Treinamento e atualização de técnicos do ICMBio/MMA. Acompanhamento e simulação de novas queimas com validação em campo.

Esta atividade, bem como coleta de dados de campo que seriam realizadas nesse período foram prejudicadas pela pandemia de COVID-19. O prazo de entrega deste item seria Setembro de 2020, entretanto, não foi possível realizar essa atividade, esperamos poder realizar essa atividade em 2021.

11 - Continuidade da análise do potencial impacto de uma série de cenários socioeconômicos e políticos plausíveis sobre os regimes de fogo e as emissões de carbono

11.01 - Aprimoramento e continuidade do modelo desenvolvido no marco de acompanhamento previsto.

Nós realizamos uma análise de uma série histórica de dados (2001-2019) para obtermos os fatores determinantes do fogo no Cerrado, e consequentemente, sua relação com políticas públicas e mudanças climáticas e mudanças do uso do solo. Para isso, nós sumarizamos as diferentes dimensões dos incêndios no cerrado (número de eventos de queimada, área queimada média, intensidade do fogo, tempo médio entre os eventos de queimadas e estação predominante de ocorrência do fogo) em uma análise de componentes principais (PCA). O primeiro eixo da PCA correspondeu a mais de 99% da variação dos dados, sendo utilizado como variável dependente, representando o grau de impacto do fogo. Como variáveis candidatas (preditoras) do fogo, nós testamos variáveis climáticas (pluviosidade média, temperatura média e temperatura máxima), variáveis de uso do solo, relacionadas diretamente com políticas públicas de incentivo à produção agrícola e expansão agrícola (distância de áreas rurais, cidades, áreas que sofreram mudança de áreas de remanescentes de vegetação nativa para áreas rurais e áreas urbanas, densidade de gado em pastagens e unidades de conservação), além disso, também foram testados a quantidade de combustível seco e média de raios no período. Utilizamos um modelo autorregressivo espacial para testar a explicação das variáveis. Nossos

resultados indicaram que 25% da explicação do modelo (R^2=0.72, Rho=0.88) correspondem a fatores relacionados diretamente com políticas públicas, como mudança do uso do solo e densidade de gado. As áreas protegidas são alvos frequentes dos incêndios no Cerrado, explicando 13% do modelo. O clima contribui para 56% da explicação, indicando o papel de mudanças climáticas no fogo.

Nosso modelo de ciclo de biomassa (item 1.06) estimou o pico de consumo de biomassa por fogo no final da estação seca (setembro-outubro). A emissão anual de gases do efeito estufa por incêndio foi em média de 66 ± 13 milhões de toneladas de CO_2. Ao longo dos quatro anos de análise (2015-2018), o balanço entre as perdas por incêndio e os ganhos pós-incêndio foi negativo resultando numa emissão líquida de 15 ± 4 milhões de toneladas de CO_2 por ano.

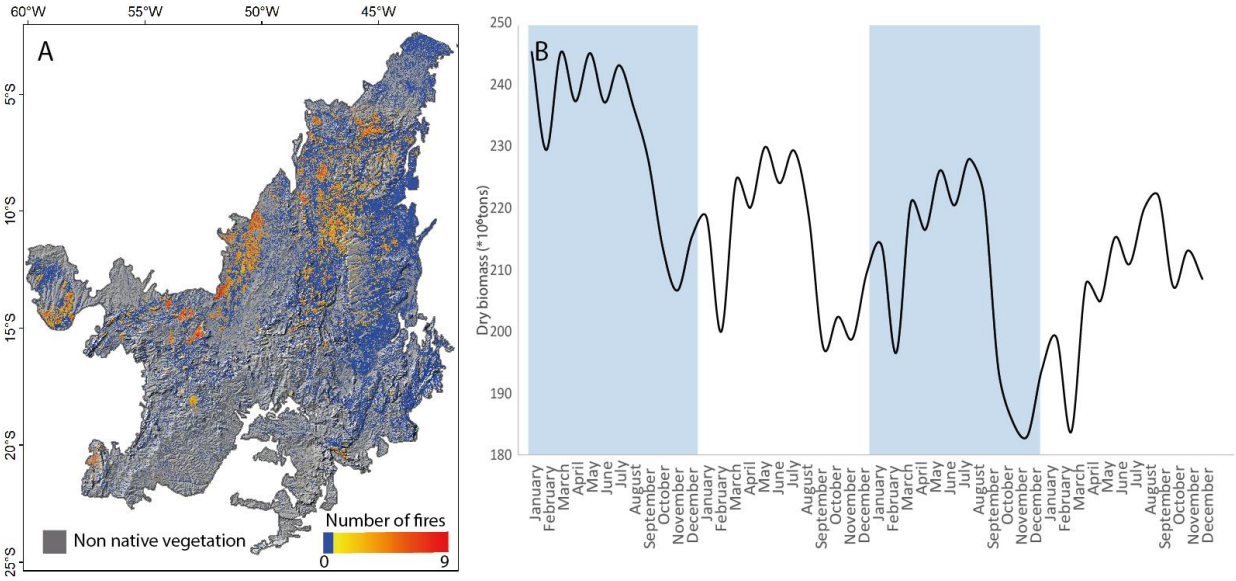


Figura 38: a) Recorrência de fogo no Cerrado, b) Ciclagem da biomassa seca entre 2015 e 2018 nas áreas queimadas no Cerrado.

12 - Examinar diversas políticas públicas recentes sobre regimes de fogo no bioma Cerrado, juntamente com suas implicações para os serviços ecossistêmicos e bens, perdas econômicas e mitigação das mudanças climáticas

13 - Análise dos impactos econômicos dos incêndios por meio dos modelos de simulação.

Nós realizamos uma análise de uma série histórica de dados (2001-2019) para obtermos os fatores determinantes do fogo no Cerrado, e consequentemente, sua relação com políticas públicas e mudanças climáticas e mudanças do uso do solo. Para isso, nós sumarizamos as diferentes dimensões dos incêndios no cerrado (número de eventos de queimada, área queimada média, intensidade do fogo, tempo médio entre os eventos de queimadas e estação predominante de ocorrência do fogo) em uma análise de componentes principais (PCA). O primeiro eixo da PCA correspondeu a mais de 99% da variação dos dados, representando o grau de impacto do fogo. Os impactos desses incêndios nos serviços ecossistêmicos foram estimados

pelo impacto na redução do índice de vegetação (NDVI) que representa bem o estado de estresse fisiológico das plantas, que são bons representantes de diversos serviços ecossistêmicos. Nós observamos uma redução média de 10% no NDVI nos locais afetados por incêndios mais impactantes em relação aos locais de vegetação nativa que não sofreram incêndios nos últimos 19 anos. Esse impacto ambiental tem implicações econômicas diretas uma vez que representa uma perda de serviços ecossistêmicos e aumento nas emissões de gases do efeito estufa. O primeiro eixo da PCA correspondeu a mais de 99% da variação dos dados, sendo utilizado como variável dependente, representando o grau de impacto do fogo. Como variáveis candidatas (preditoras) do fogo, nós testamos variáveis climáticas (pluviosidade média, temperatura média e temperatura máxima), variáveis de uso do solo, relacionadas diretamente com políticas públicas de incentivo à produção agrícola e expansão agrícola (distância de áreas rurais, cidades, áreas que sofreram mudança de áreas de remanescentes de vegetação nativa para áreas rurais e áreas urbanas, densidade de gado em pastagens e unidades de conservação), além disso, também foram testados a quantidade de combustível seco e média de raios no período. Utilizamos um modelo autorregressivo espacial para testar a explicação das variáveis. Nossos resultados indicaram que 25% da explicação do modelo (R^2=0.72, Rho=0.88) correspondem a fatores relacionados diretamente com políticas públicas, como mudança do uso do solo e densidade de gado. As áreas protegidas são alvos frequentes dos incêndios no Cerrado, explicando 13% do modelo. O clima contribui para 56% da explicação, indicando o papel de mudanças climáticas no fogo.

13.01 - Relatório e artigo científico.

Dois artigos científicos já foram submetidos para publicação, sendo que ambos encontram-se em segunda fase de revisão. No momento estamos trabalhando em mais dois manuscritos científicos que devem ser submetidos até o final de 2020.