

Sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas para viabilizar o licenciamento ambiental do tradicional uso do fogo visando à renovação de pastagens em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil

Iuri Buffon

Rodrigo Cambará Printes

Clódis de Oliveira Andrades-Filho

Laboratório de Gestão Ambiental e Negociação de Conflitos. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. São Francisco de Paula.

E-mails: juribuffon@gmail.com
rodrigo.printes@icmbio.gov.br
clodis-filho@uergs.edu.br

Recebido em: 3 março 2018. Aceito em: 20 maio 2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.43.447-469>

Resumo

A proibição do uso do fogo pelo Código Florestal Estadual do Rio Grande do Sul, Lei Estadual nº 9519/92, levou a pecuária tradicional a ser considerada antiecológica e antieconômica. Entretanto, os usos da terra que a substituíram nos anos seguintes tiveram um impacto ambiental ainda pior, sobretudo em relação a mudança da paisagem, o que acarretou uma redução expressiva dos Campos de Cima da Serra, ecossistema associado ao Bioma Mata Atlântica. A pesquisa e documentação do conhecimento ecológico local (CEL) sobre a pecuária tradicional é de grande relevância para a gestão deste conflito socioambiental. O objetivo do presente estudo foi testar o CEL dos pecuaristas dos Campos de Cima da Serra quanto ao período de pousio, e com base nisso, propor uma rotina de monitoramento para as licenças ambientais emitidas para o manejo dos campos através do uso do fogo. Foi proposto um sistema de monitoramento de uso do fogo utilizando sensoriamento remoto, baseado na classificação supervisionada orientada e identificação de queimadas através de sítios de treinamento, oriundos de amostras fortuitas de classes de uso conhecidas. Para isso, foi utilizado o processamento das bandas espectrais do sensor imageador OLI do satélite Landsat 8, pelo complemento “classificação semiautomática” do *software* Quantum GIS 2.4. Através das etapas metodológicas apresentadas, o Poder Público poderá monitorar simultaneamente diversas licenças, em curto período de tempo, o que, juntamente com medidas preventivas e mitigatórias, pode viabilizar o licenciamento ambiental do uso do fogo na região.

Palavras-chave: Conhecimento Ecológico Local. Uso do Fogo. Sensoriamento Remoto. Licenciamento Ambiental.

Abstract

Remote sensing and geoprocessing as tools to enable the environmental licensing of the traditional use of fire for the renewal of pastures in São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brazil

The prohibition of the use of fire by the State Forest Code of Rio Grande do Sul, Brazil, state Law number 9.519/92, led the traditional livestock to be considered as antiecológica and uneconomical. However, the land uses that replaced it in the following years were more environmentally impacting than it and are leading to the disappearance of the “Campos de Cima da Serra” (top fields of the mountain), a special ecosystem within the Atlantic Forest Biome. The research and documentation of local ecological knowledge (LEK) on traditional livestock farming is of great relevance for the administration of this conflict. The objective of the present study was to test the LEK of the cattle ranchers of “Campos de Cima da Serra” regarding the fallow period, as well as to propose a monitoring routine for the environmental licenses issued for the management of the fields through the use of fire. The fire monitoring system proposed is based on supervised classification and identification of fires through training sites from fortuitous samples of known classes of use, using OLS sensor band processing of Landsat 8 satellite, by semi-automated classification of the Quantum GIS 2.4 software. Through the proposed methodological steps, the public power can simultaneously monitor several licenses, in a short period of time. This, together with preventive and mitigating measures, makes possible the environmental licensing of fire.

Keywords: Local Ecological Knowledge. Use of Fire. Remote Sensing. Environmental Licensing.

Introdução

O conceito de manejo adaptativo dos ecossistemas pressupõe que o conhecimento ecológico local (CEL) seja provisório; um constante aprendizado, com experiências positivas sendo incorporadas ao longo do processo (GRUMBINE, 1994). Sendo assim, a pesquisa e a documentação do (CEL) podem ser de grande relevância para a gestão local dos conflitos, viabilizando a superação de impasses de gestão ambiental e favorecendo o ordenamento territorial. Segundo Davis e Wagner (2003), assim como o conhecimento acadêmico, o CEL deve formar um sistema de aprendizados e *know-how*, que surge através do tempo, de experiências individuais compartilhadas, de observações mediadas pela cultura, pelos fatores ambientais, atributos comportamentais e dinâmicas ecológicas.

Berkes *et al.* (2000) corrobora essas ideias ao afirmar que populações locais possuem alternativas e perspectivas baseadas em suas práticas de utilização de recursos e que os mecanismos sociais que regem essas práticas incluem uma série de adaptações, de acumulação/transmissão de conhecimentos. Para ele, os sistemas tradicionais de manejo são embasados em CEL e possuem muitas similaridades com o manejo adaptativo. Miller (1998) enumera diversos ecossistemas com pequenas populações que vivem desta forma no mundo e chama alguns

desses ecossistemas de “florestas sagradas” ou “pequenas áreas naturais do mundo”. Estas áreas estão sendo conservadas há séculos pelo ser humano, através do seu manejo, e podem ou não coincidir com a malha oficial de áreas protegidas dos países, mas contém os mesmos atributos defendidos pela IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), tais como alta diversidade biológica, endemismos, mínimas populações viáveis de espécies ameaçadas, etc.

Segundo Overbeck *et al.* (2009), distúrbios causados pelo fogo e pastejo são importantes nos ecossistemas campestres, influenciando a diversidade de espécies, e, em certa medida, são essenciais para sua conservação. Entretanto, o limiar entre o uso sustentável e a degradação ainda não é suficientemente conhecido. Estudos palinológicos indicam forte interação entre a expansão/contensão da floresta com araucária (*Araucaria angustifolia*) e a frequência de fogo durante os últimos 600 anos (JESKE-PIERUSCHKA; BEHLING, 2011). Oliveira (1996) resgatou a informação histórica de que o coronel do império português Christovão Pereira d’Abreu, em 1729, já relacionava a presença de gado em abundância à ocorrência de incêndios naturais na região dos Campos de Cima da Serra.

A bovinocultura extensiva, tal como praticada atualmente, pouco se diferencia de um extrativismo sustentável e sua evolução ao longo do tempo resultou no ecossistema campestre (BEHLING *et al.*, 2009; OVERBECK *et al.*, 2009). Tal ecossistema permaneceu pouco alterado até meados do século XX, posto que as cidades serranas estão situadas em relictos campestres do holoceno (RAMBO, 1956) e que seus habitantes realizavam o manejo tradicional dos campos, através do fogo. Um antigo naturalista gaúcho, o padre Balduino Rambo, registrou no seu diário de campo, em 1948, a simplicidade tecnológica da atividade pecuária, a sua rusticidade e sua relação com a conservação da região dos Campos de Cima da Serra (RAMBO, 1948 *apud* DALTO; TAVARES, 2007):

[...] O homem em quase nada mudou esta paisagem natural. As cinzentas casas de tábua, erguidas na beira dos pinheiros, ficam visíveis apenas quando a gente se acha de imediato na sua frente. São adornadas por jardins, árvores ornamentais e frutíferas e algumas pequenas plantações, mas submergem completamente sob a natureza incólume e selvagem [...].

[...] O homem integra-se à paisagem com a criação de gado, o burro de carga para o transporte e as fazendas com suas casas e galpões [...].

O Código Florestal do RS, Lei Estadual nº 9.519/92, entretanto, proibiu o uso do fogo, criminalizando, desta forma, o manejo secular dos Campos de Cima da Serra, que era realizado através da chamada “sapecada”, ou seja, a breve queima do capim seco durante o inverno. Esta proibição pode estar relacionada às tendências preservacionistas do início da década de 1990, no Brasil, bem exemplificadas pela realização, no Rio de Janeiro, da “United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)”, também conhecida como “ECO 92”, entre 03 e 14 junho 1992, a maior conferência deste tipo já realizada pela ONU.

Na melhor das hipóteses houve uma associação equivocada entre a ocorrência de incêndios florestais e o tradicional uso do fogo nos Campos de Cima da Serra para a renovação de pastagens. O fato de haver um ecossistema campestre associado a um florestal, no Bioma Mata Atlântica, pode

ter contribuído para esta confusão. Seja como for, o discurso preservacionista serviu aos interesses da silvicultura e do agronegócio, na época da discussão do Código Florestal Estadual do Rio Grande do Sul e, em 1992, quando ele foi aprovado pela Assembleia Legislativa do Estado, a proibição total do uso do fogo estava consolidada. Isto levou à desvalorização da pecuária local e favoreceu o plantio de árvores exóticas como alternativa econômica, durante primeira década de 2000. Este manejo tem sido seguido pela conversão dos campos em lavouras de *commodities* agrícolas, principalmente a partir de 2010.

Desde a proibição das queimas de campo, a pecuária tradicional tem sido apontada como antiecológica e antieconômica, e, dia-a-dia, vem sendo substituída por outras práticas consideradas mais rentáveis. Entretanto, tais atividades têm sido bem mais impactantes ambientalmente do que o antigo manejo de pastagens pelo uso do fogo (BOZIKI *et al.*, 2012; KEHL *et al.*, 2012; VIEIRA *et al.*, 2012). Na região destinada ao Parque Estadual do Tainhas, por exemplo, entre 1984 e 2009 a área de cultivo de *Pinus* sp. aumentou 18 vezes, com uma taxa de incremento de 32,2 ha/ano (ANJOS; BUFFON, 2012).

Segundo Netto (2009), a manutenção da bovinocultura, como praticada por muitos pecuaristas, está relacionada ao seu relativo atraso, pois os criadores não tem como objetivo principal a obtenção de lucro, nem seguem as lógicas de produção e os modos de vida próprios de uma economia mercantil capitalista. Para outros autores, os sistemas de produção que mantém características pré-industriais podem refletir uma adaptação ao meio físico local, na qual a modificação dos sistemas naturais está condicionada à cultura, o que constitui uma vantagem quando o assunto é conservação e desenvolvimento sustentável. Nesta mesma linha de raciocínio, para Borba e Trindade (2009), algumas áreas do Rio Grande do Sul mantêm o “privilégio do atraso”.

A implantação de mecanismos para a gestão de recursos e territórios perpassa a questão de um conflito instaurado, que pode existir antes mesmo dessa implantação, e na maioria das vezes foi o motivador da criação de tal instrumento de gestão, ou poderá ser criado a partir dela. Há inúmeros exemplos disso na literatura (DIEGUES, 2001; MILLER, 1998; FREITAS *et al.* 2012; PRIMACK; RODRIGUES, 2007; PRINTES, 2017). Entretanto, segundo Primack e Rodrigues (2007), o envolvimento da população local é muito importante para que estas pessoas adquiram a capacidade de formular seus próprios objetivos de desenvolvimento, em conformidade com a conservação dos recursos naturais utilizados localmente.

Dentre os vários aspectos do manejo tradicional dos Campos de Cima da Serra através do uso fogo, o período de pousio é um dos mais relevantes para o licenciamento e a gestão ambiental. Este período entre queimas de uma mesma área de campo é determinado através da observação empírica, pelos manejadores, do tempo que os campos levam para se recuperarem após uma intervenção. Ecologicamente, este interstício depende da resiliência da vegetação nativa. Da acurada determinação deste período, bem como da definição clara de outras variáveis relacionadas ao manejo dos campos através do uso do fogo, depende a segurança técnica do licenciamento ambiental desta atividade. Este licenciamento pode ser um importante instrumento para garantir a conservação dos Campos de Cima da Serra e o modo de vida tradicional dos seus habitantes.

Entretanto, tendo em vista a demanda reprimida que há para obter uma licença de queima de campo naquela região, como poderia o Poder Público fiscalizar a grande quantidade de licenças solicitadas e emitidas? O uso do sensoriamento remoto pode ser a solução para este problema. O monitoramento do uso de recursos terrestres está relacionado, de forma indissociável, ao próprio surgimento do sensoriamento remoto. Novo (2008) cita dois períodos distintos da evolução dos sistemas sensores: de 1860 a 1960, quando toda a aquisição dos dados era baseada em fotografias aéreas e de 1960 aos dias atuais, em que há uma diversidade de sistemas sensores orbitais, com as mais diferentes aplicações ambientais. Entretanto, o desenvolvimento destes sensores está invariavelmente associado a uma representativa seleção de reflectâncias dos alvos naturais. É isto o que determina a locação e o número ótimo de bandas espectrais, bem como a sensibilidade requerida (BOWKER; DAVIS, 1985).

Embora estudos com imagens provenientes de sistemas sensores sejam amplamente determinados pela combinação de bandas espectrais e contrastes atribuídos a elas, uma seleção adequada das bandas analisadas obrigatoriamente passa pelo conhecimento do comportamento espectral dos alvos (MENESES; ALMEIDA, 2012). Isto ainda não havia sido feito, até o presente estudo, para as pastagens queimadas nos Campos de Cima da Serra (RS).

Porém, sabe-se que estudos de reflectância de áreas de pastagem com diferentes composições fitossociológicas e manejos diversificados podem colaborar para a classificação e discriminação das pastagens, através de sensoriamento remoto (BARBIERI *et al.*, 2013). Silveira *et al.* (2013), por exemplo, conseguiram, por meio de técnicas de análise de imagens, identificar características bastante particulares da vegetação campestre, como ciclo anual e variações fenológicas.

Segundo Lombardi *et al.*, 2005, a identificação e quantificação de áreas queimadas a partir de dados orbitais podem ser abordadas sob dois pontos de vista distintos: 1) observação das queimadas no momento em que estas estão ocorrendo; 2) observação das áreas após a ocorrência do fogo, mediante a detecção da cicatriz deixada por ele no terreno, utilizando dados adquiridos nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético.

No Brasil, as experiências de monitoramento de queimadas, bem como de infrações ambientais relacionadas ao uso do fogo, tem sido protagonizadas pelo Poder Público, através de programas como o "Terra Legal", de responsabilidade do Sistema de Proteção da Amazônia, que monitora o desmatamento em glebas regularizadas da Amazônia Legal, e o Monitoramento de Queimadas em Incêndios, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Segundo Behling *et al.*, (2009) informações que envolvam o conhecimento sobre a intensidade do fogo e a frequência de queimadas, bem como os efeitos de ambas sobre a vegetação, podem ser aplicadas na criação de planos de manejo sustentável a longo prazo e trabalhos de monitoramento. Nossos objetivos no presente estudo foram: 1) testar o CEL dos pecuaristas dos Campos de Cima da Serra quanto ao período de pousio, determinando-o tecnicamente; 2) propor uma rotina de monitoramento para licenças ambientais de uso do fogo na região.

Materiais e Métodos

A fim de testar o período de pousio mínimo de três anos que é praticamente um consenso entre os manejadores locais (MACEDO, 2012), bem como outras práticas tradicionais de uso do fogo na pecuária, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

Foi realizada, primeiramente, uma análise de cobertura e uso do solo da região dos Campos de Cima da Serra, com o objetivo de identificar queimadas recentes e já regeneradas nas imagens do satélite *Landsat 5* sensor TM, órbita/ponto 221/80. Foram utilizados dois pares de cenas em diferentes épocas, que foram comparados entre si para avaliar os interstícios da paisagem que não sofreram queimadas em períodos distintos. Comparações foram feitas entre as cenas dos períodos de queimada (junho a setembro) dos anos de 1990, 1991 e 1993. Este período foi selecionado por ser anterior (ou imediatamente posterior) à proibição das queimas de campo, que ocorreu com a aprovação do Código Florestal do RS (Lei Estadual nº 9.519/1992), pois nesta época o manejo dos campos ainda era realizado seguindo as práticas do conhecimento ecológico local. O início da década de 1990 também foi escolhida devido a integridade da paisagem campestre àquela época.

Utilizando o software *Quantum GIS 2.4*, mais especificamente o seu complemento de classificação automatizada de uso do solo, foi realizada a classificação supervisionada das áreas queimadas para as cenas citadas anteriormente. As classes para classificação automática a serem utilizadas pelo software como *sítios de treinamento* foram previamente definidas como aquelas correspondentes a queimadas com algum grau de regeneração ou com poucos dias de manejo. Estes sítios de treinamento foram interpretados e vetorizados manualmente, através de inspeção visual, como regiões de interesse para posterior classificação mediante um algoritmo pré-definido, que no presente estudo foi o de máxima verossimilhança (CATTANI *et al.*, 2013). As classes de uso e cobertura foram: queimada no instante (representando queimadas com poucos dias de ocorrência) e queimada regenerada.

Após a classificação supervisionada, foi utilizado o mesmo software para constatar a mudança de classes entre os anos pesquisados. Foi realizada uma análise de mudança de cobertura, na qual as cenas comparadas foram processadas através da técnica de álgebra de mapas pelo módulo *land change*, presente no complemento classificação semiautomática. Foram comparadas as classificações referentes a 1990 versus 1991 e 1990 versus 1993, com respectivamente um ano e três anos de diferença. Foi realizada ainda uma comparação dentro do mesmo ano (1991), entre os meses de agosto e setembro, a fim de avaliar o período de regeneração após a queima do campo nativo.

Além disso, foi utilizada queima controlada em parcelas amostrais de 1m², buscando replicar, num experimento científico de pequena escala, o manejo tradicional praticado na região (Figura 1). O experimento foi realizado numa propriedade no município de São Francisco de Paula (Figura 2), na qual se usa o manejo de pastagens tradicional, com a concordância e participação do proprietário. O experimento foi regularizado pela Autorização Ambiental nº 27/2013, expedida pela Prefeitura Municipal de São Francisco de Paula.



Figura 1: Queima da parcela amostral com auxílio de gabarito com 1m² (Foto: R. C. Printes).

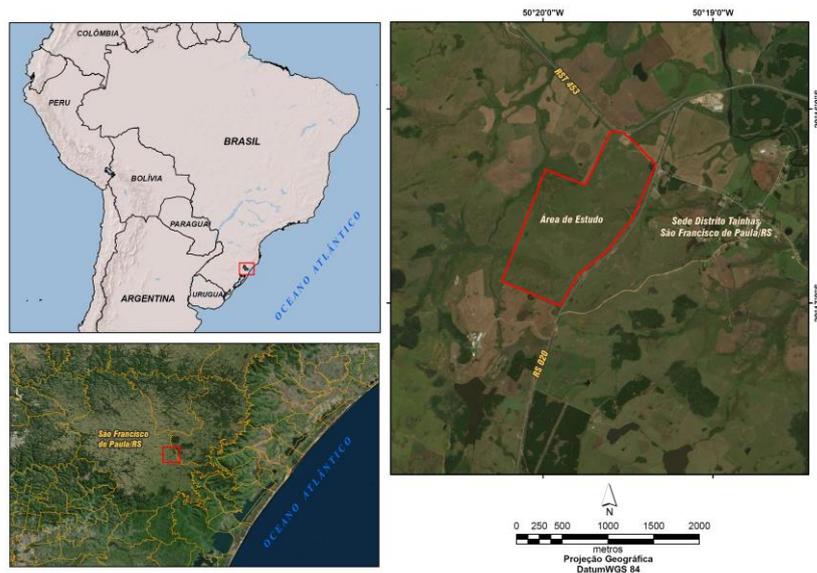


Figura 2: Área de estudo.

As parcelas foram estabelecidas em cinco coxilhas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** 3), num arranjo radial em torno de cada coxilha, respeitando a orientação do relevo (Figura 4), nas direções nordeste, noroeste, sudoeste e sudeste. *Coxilha* é uma denominação regional utilizada no Rio Grande do Sul para identificar pequenas elevações ou colinas de forma arredondada e de baixa elevação (GUERRA, 1972).

As classes de regeneração utilizadas foram: a) no instante da queimada; b) após quinze dias de regeneração; c) controle (pastagem não manejada). Foram estabelecidas vinte parcelas para cada classe de regeneração, totalizando 60 parcelas. A diferença de tempo de queima entre as parcelas foi de quinze dias, simulando o tempo de revisita do satélite *Landsat 8*.

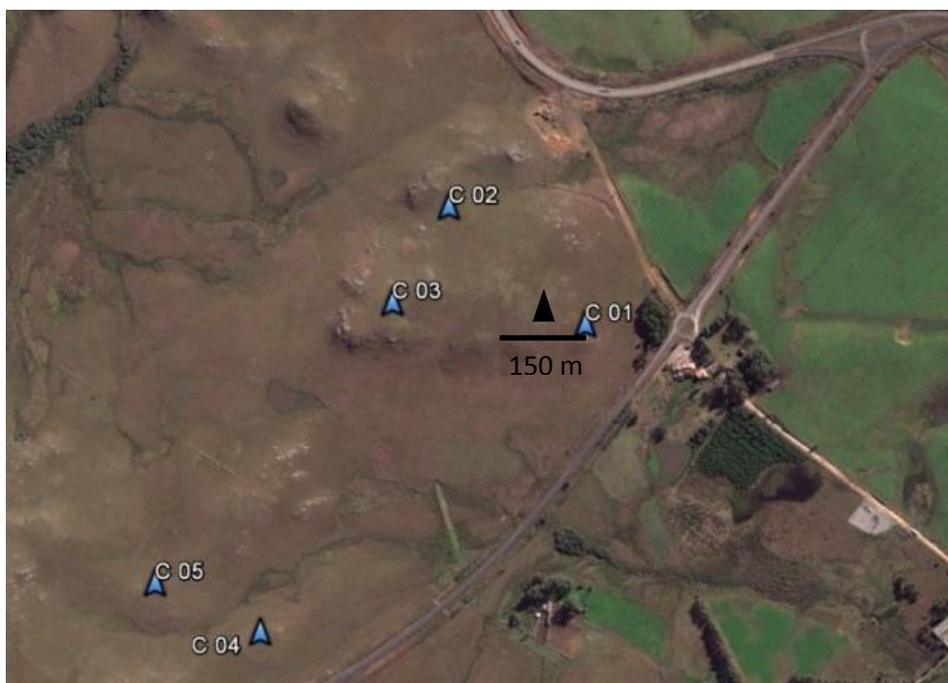


Figura 3: Distribuição espacial das coxilhas que compuseram o experimento.

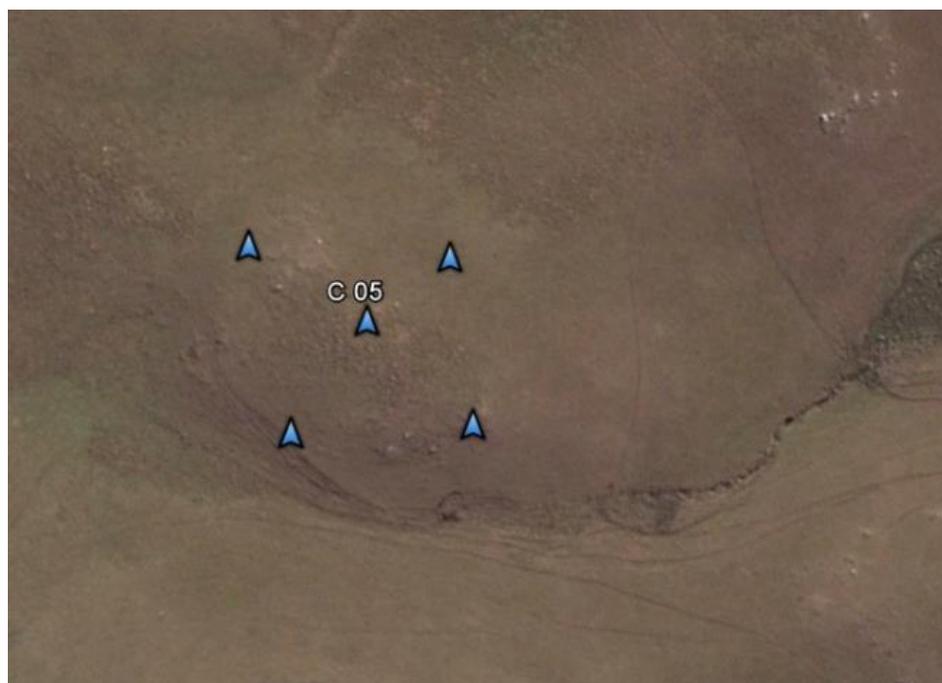


Figura 4: Arranjo geométrico das parcelas em uma coxilha respeitando a orientação do relevo.

Essa distribuição objetivou obter dados sobre o comportamento espectral do campo em diferentes níveis de radiância, direção solar, posição e em suas diversas etapas de regeneração, em especial propiciada pelo rebrote do capim-caninha *Andropogon lateralis* (Ness.).

Após as queimadas das parcelas de um metro quadrado foi realizada medição com espectrorradiômetro. O equipamento utilizado foi um modelo *FieldSpec III*, da fabricante *ASD Inc*. Em 06 de setembro de 2013, o espectrorradiômetro foi calibrado, em superfície lambertiana, no mesmo período de incidência solar dos níveis de reflectância e radiância, para cada uma das classes de regeneração das parcelas, com quinze dias de intervalo.

Os dados coletados em campo foram processados em forma de curvas de reflectância, respeitando os intervalos correspondentes aos comprimentos de onda relativos às bandas espectrais do sensor *OLI* do satélite *Landsat 8*.

Os dados de resposta espectral, obtidos através do experimento de queima controlada, após a sua filtragem referente as bandas do sensor *OLI* do satélite *Landsat 8*, foram utilizados como parâmetro para a escolha das bandas para a classificação semiautomatizada das queimadas ocorrentes na região, parte principal do sistema de monitoramento proposto. Este satélite foi escolhido por suas imagens serem de fácil obtenção, gratuitas, com tempo de revisita adequado ao evento monitorado, resolução espacial de 30 metros/pixel, identificação prévia de queimadas já ocorrentes e expectativa de continuidade futura da missão (os sensores do satélite *Landsat 8* começaram a imagear em abril de 2013). A ideia foi utilizar um procedimento de classificação semiautomatizada de imagens que pudesse ser adotado pelo Poder Público, sem custos, para monitorar as licenças ambientais expedidas, bem como visualizar a distribuição espacial das áreas queimadas e comparar com a localização informada pelos requerentes ao solicitar a licença.

Além dos dados resultantes da resposta espectral, foram realizadas saídas a campo durante a estação de queimadas, nos anos de 2013 e 2014, coordenadas com as passagens do satélite *Landsat 8* na órbita/ponto 221/80. Essas amostras de caráter fortuito foram coletadas pelas estradas vicinais da área de estudo, através de visualização de queimadas de pastagens que foram georreferenciadas por GPS de navegação operando no Datum WGS 84. Este procedimento é análogo à verificação de campo de sítios de treinamento e regiões de interesse para classes de uso do solo presentes em uma classificação supervisionada. Após esta etapa, os dados foram comparados com as cenas correspondentes à data e local do evento visualizado em campo e os pixels da imagem correspondente às queimadas puderam ser discriminados dos demais, gerando um aporte maior de dados para a calibração do sistema. Esses dados amostrados fortuitamente também foram comparados com os dados do experimento controlado, fornecendo assim uma prévia do monitoramento proposto, pois a correspondência entre os valores de reflectância nos pixels amostrados fortuitamente (nível orbital) com os mesmos valores dos pixels amostrados no experimento controlado (nível de campo) demonstram a acurácia do *software* na determinação de áreas manejadas com uso de queima controlada.

Resultados e Discussão

O método de cruzamento por meio de álgebra de mapas se mostrou eficiente para evidenciar a mudança referente à sobreposição de queimadas. Conforme a Tabela 1, entre agosto e setembro de 1991, num período inferior a um mês, a maior parte do campo manejado encontrava-se regenerado através do rebrote do capim-caninha (*Andropogon lateralis*). A classe de regeneração aponta uma expressiva área de pixels classificados como pastagem manejada regenerada (642.733,00 pixels).

Nota-se que algumas áreas, com inexpressiva representatividade (2.158 pixels), passaram por remanejamento no período estudado, possivelmente porque não houve sucesso na primeira tentativa de uso do fogo. A classe descrita como novas queimadas (7.504 pixels) representa queimadas que foram realizadas naquele mesmo ano, em atraso com relação as demais áreas manejadas. Ocorre que, como o período de manejo pode se estender de junho a setembro, dependendo das condições locais da vegetação e do clima, podem ocorrer manejos após os campos da maioria das propriedades já terem sido queimados.

Tabela 1: Pixels classificados para diferentes categorias de manejo em uma comparação entre os meses de agosto e setembro de 1991.

Classe	Contagem Pixel	Área (ha)
Novas queimadas	7504	675,36
Remanejado	2158	194,22
Regenerado	642733	57.845,97

Foi possível observar que há áreas onde o remanejamento foi realizado (502.427,00 pixels), provavelmente devido as mesmas particularidades referentes ao clima e vegetação referidas anteriormente (Tabela 2). Porém, a grande maioria de áreas identificadas é composta pelas classes de novas queimadas, não identificadas em 1990, mas somente em 1991, e campos regenerados (respectivamente 149.948,00 e 2.456.141,00 pixels). A classe de maior expressão, campo regenerado, demonstra que, no período de um ano, as queimadas efetuadas não possuíram sobreposição espacial relevante (Figuras 5 a e 5 b).

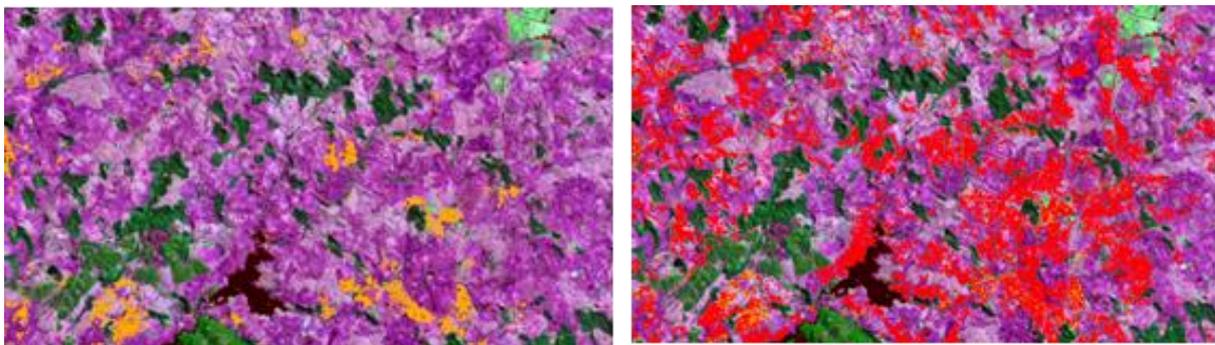
Tabela 2: Pixels classificados para diferentes categorias de manejo em uma comparação entre os anos de 1990 e 1991.

Classe	Contagem Pixel	Área (ha)
Novas queimadas	149948	13.495,32
Remanejado	502427	45.218,43
Regenerado	2456141	221.052,69

Como resultado da mesma análise, entre os anos de 1990 e 1993, ou seja, após 03 anos de pousio, observamos uma sobreposição das áreas manejadas mais expressiva do que nas análises anteriores (Figuras 6 a e 6 b). A classe correspondente a novas queimadas apresentou 381.380,00 pixels, porém as classes referentes a áreas remanejadas e passíveis de manejo apresentou uma superfície mapeada expressivamente superior, totalizando 2.958.588,00 pixels (Tabela 3). A classe *campo não manejado* pode ser computada, posto que a vegetação apresentou, na cena utilizada para classificação, aspecto paleáceo, indicando excessiva matéria seca das partes aéreas do capim-caninha, e, portanto, estava na iminência de ser queimada.

Tabela 3: Pixels classificados para diferentes categorias de manejo em uma comparação entre os anos de 1990 e 1993.

Classe	Contagem Pixel	Área (ha)
Novas queimadas	381380	34.324,20
Remanejado	1372315	123.508,35
Não manejado	1586273	142.764,57



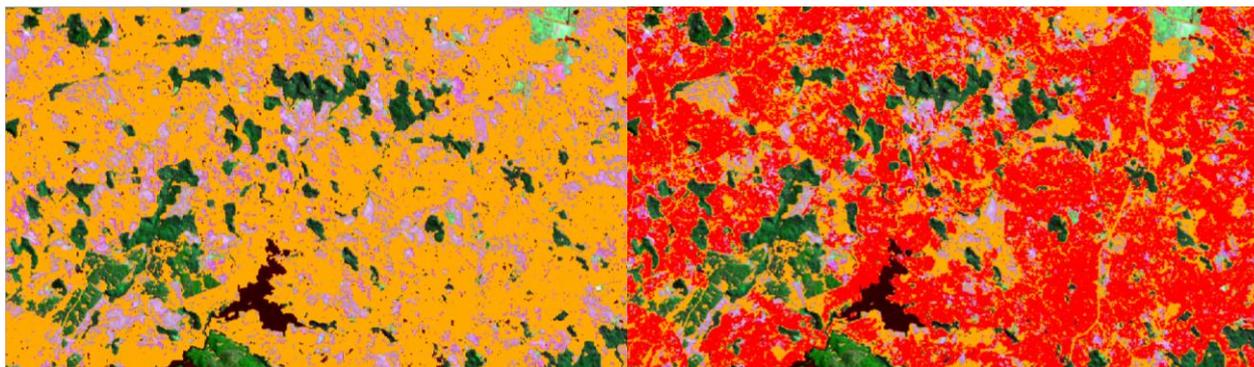
Legenda

Queimadas identificadas

1 - Instante

2 - Regenerada

Figura 5a e 5b: Comparação entre queimadas registradas nos anos de 1990 (Figura 5a) e 1991 (Figura 5b). O recorte corresponde a uma cena RGB 654 de parte da região dos Campos de Cima da Serra.



Legenda

Queimadas identificadas

- 1 - Instante
- 2 - Regenerada

Figuras 6a e 6b: Comparação entre queimadas registradas para os anos de 1990 (Figura 6 a) e 1993 (Figura 6 b). O recorte corresponde a uma cena RGB 654 de parte da região dos Campos de Cima da Serra.

Os dados encontrados através das análises de geoprocessamento corroboram os relatos dos manejadores: dentro do período de um ano é menor a sobreposição espacial de áreas queimadas. O período de três anos, por sua vez, demonstra uma sobreposição espacial dominante para as áreas manejadas, evidenciando que, entre 1990 e 1993, os manejadores respeitaram este período de pousio. Com efeito, limitações metodológicas desta abordagem estão associadas à disponibilidade de mais cenas com pouca cobertura de nuvens desta região, que permita uma avaliação de mais períodos, dentro de um mesmo ano, ou a comparação de diferentes períodos entre os anos.

Como resultado principal do experimento com queima controlada, foram obtidas as curvas de reflectância referentes às classes de manejo e uso do solo investigadas. Nas figuras 7 a 9, são apresentados os gráficos referentes às curvas para os valores calculados, em relação as bandas do sensor OLI do satélite *Landsat 8*.

Os valores de reflectância demonstrados são adimensionais e tem seu limiar máximo atribuído ao valor um (01). Constatamos que a classe controle (referente a campo não manejado, composto por matéria seca e partes vegetativas de *Andropogon lateralis*, nos meses de agosto e setembro) possui maiores valores de reflectância nas bandas 4, 5 e 6 (respectivamente vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas 1 e 2) (Figura 7). Para a identificação prioritária deste tipo de vegetação recomendamos a utilização de composições RGB envolvendo as três bandas citadas, quando a identificação for visual, ou o processamento das mesmas três bandas quando se tratar de classificação supervisionada.

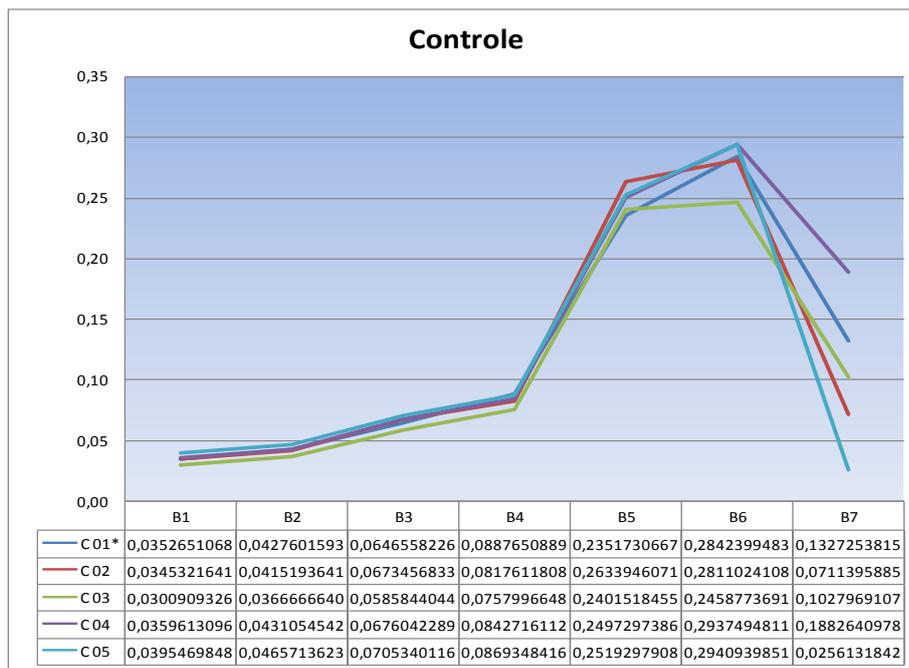


Figura 7: Curva de resposta espectral para as cinco coxilhas e suas parcelas de controle. No eixo y são apresentados os valores de reflectância e no eixo x as bandas ordenadas de 1 a 7. Estão discriminadas também as amostras por coxilhas, identificadas com as siglas C01, C02, C03, C04 e C05.

Para as classes de queimada no instante da queima e com quinze dias de regeneração, as curvas de reflectância apresentaram forma e comportamento parecido, mudando somente os limiares. O valor máximo de reflectância para a queimada no instante foi de 0,112 (Figura 8), referente à banda 7 (infravermelho de ondas curtas 2). As bandas que merecem destaque para a classificação de uso do solo que priorize este tipo de manejo são as com a melhor resposta espectral, ou seja, 4, 5, 6 e 7.

Na classe referente à queima com quinze dias de regeneração, a resposta espectral também demonstrou valor máximo para a banda 7, com 0,312 de fator de reflectância (Figura 9). Novamente, para uma identificação prioritária deste tipo de uso do solo através de classificação supervisionada, recomendamos a utilização das bandas 4, 5, 6 e 7.

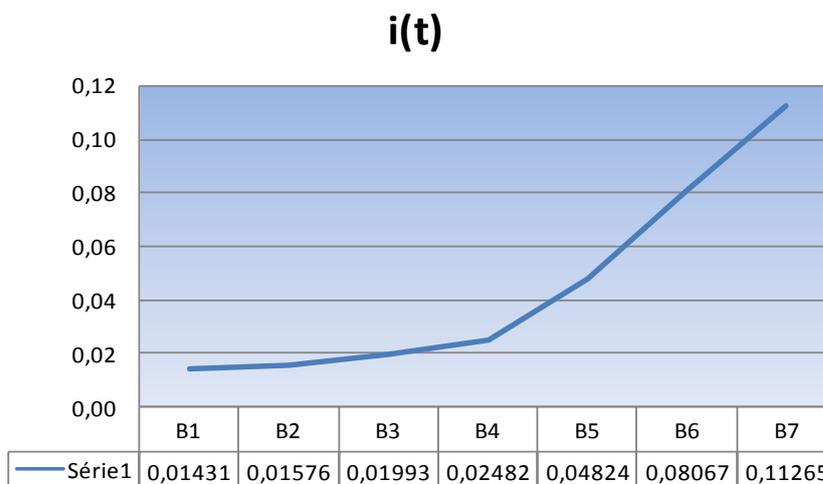


Figura 8: Curva de resposta espectral média para queimadas no instante da queima.

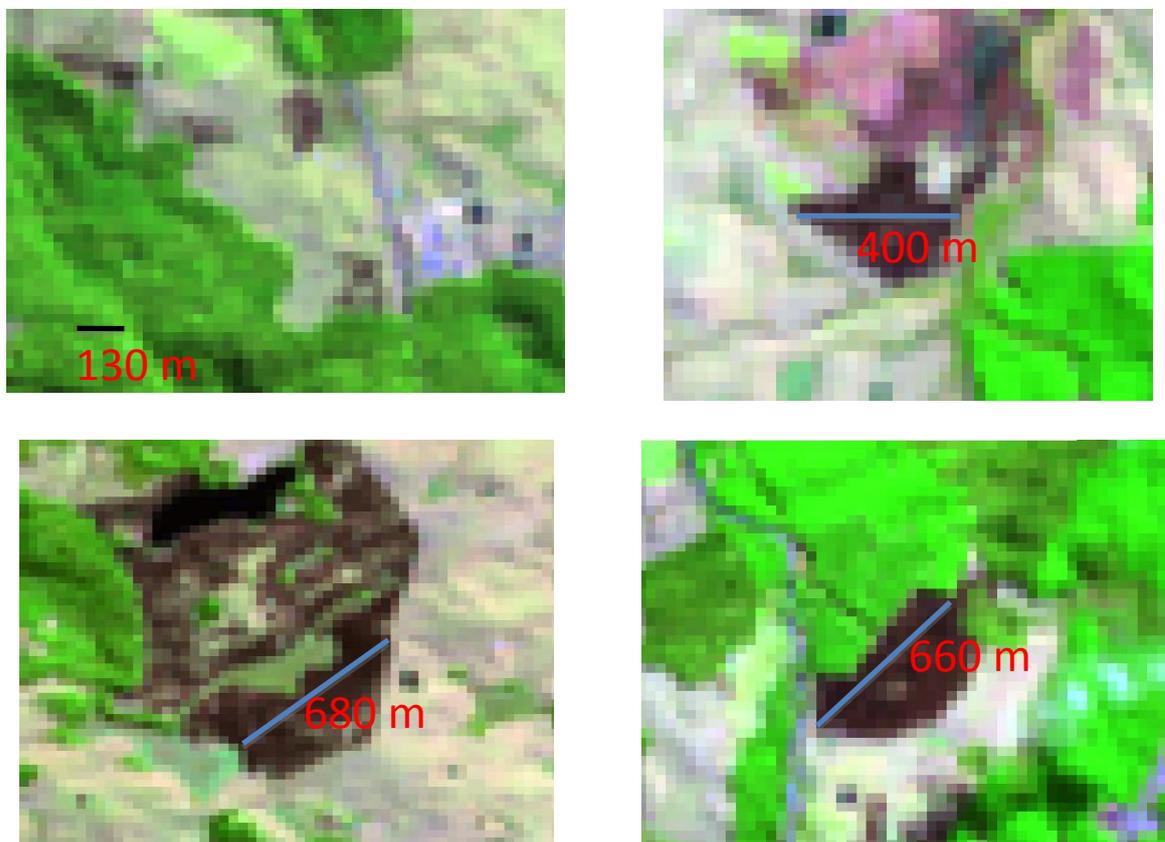


Figura 9: Curva de resposta espectral média para queimadas com quinze dias de regeneração.

Os valores das Figuras 7 a 9 estão de acordo com o esperado para o intervalo espectral expresso por cada banda analisada. Segundo a recomendação da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2014), todas as bandas descritas com a maior resposta espectral tem alguma relação com estudos da vegetação, sendo que a banda 4 é adequada à diferenciação de vegetação, com diversas etapas fenológicas, e a banda 5 é adequada à diferenciação nos conteúdos de biomassa. As bandas 6 e 7 possuem destaque para a discriminação de mistura solo/vegetação (na qual nenhuma das duas classes é dominante), sendo a banda 7 a que possui melhor desempenho para este tipo de identificação. Como nas parcelas com queimada no instante e com quinze dias de regeneração, o interstício entre os brotos e partes ocultas das plantas é correspondente ao solo, temos maior resposta espectral nas bandas 6 e 7.

Foram obtidas quatro amostras fortuitas de campo manejado com a queima no período estudado (Figuras 10 a, 10 b, 10 c e 10 d). Estas amostras foram verificadas no local, comparadas com as curvas de reflectância das amostras e testadas em uma classificação supervisionada das bandas 4, 5, 6 e 7 de uma cena do satélite *Landsat 8*, sensor OLI, de 18 de Agosto de 2014. Elas

representam, dessa forma, a primeira assinatura espectral referente a campo manejado com uso do fogo, que poderá ser complementada com mais amostras ao longo do tempo.



Figuras 10a, 10b, 10c, 10d: Feições correspondentes a amostras fortuitas de queimadas verificadas em campo e identificadas em uma composição RGB 654.

Como resultado da classificação supervisionada baseada na assinatura espectral desenvolvida, obtivemos a diferenciação de cicatrizes de fogo com diferentes graus de regeneração, que para efeitos práticos estão classificadas em queimada no instante e queimadas regeneradas (Figura 11). Estas foram diferenciadas através da classificação supervisionada de 29.086 pixels para a classe queimada no instante e de 210.830 pixels para a classe queimada regenerada, correspondendo respectivamente a uma área de 2.671,56 ha para a primeira classe e 18.973,43 ha para a segunda classe, totalizando 21.590,99 ha de campos manejados até a data de referência da cena (Figura 12). Todos os aglomerados de pixels classificados como queimadas coincidiram com as queimadas identificadas através de análise visual de uma composição RGB 456 da mesma cena.

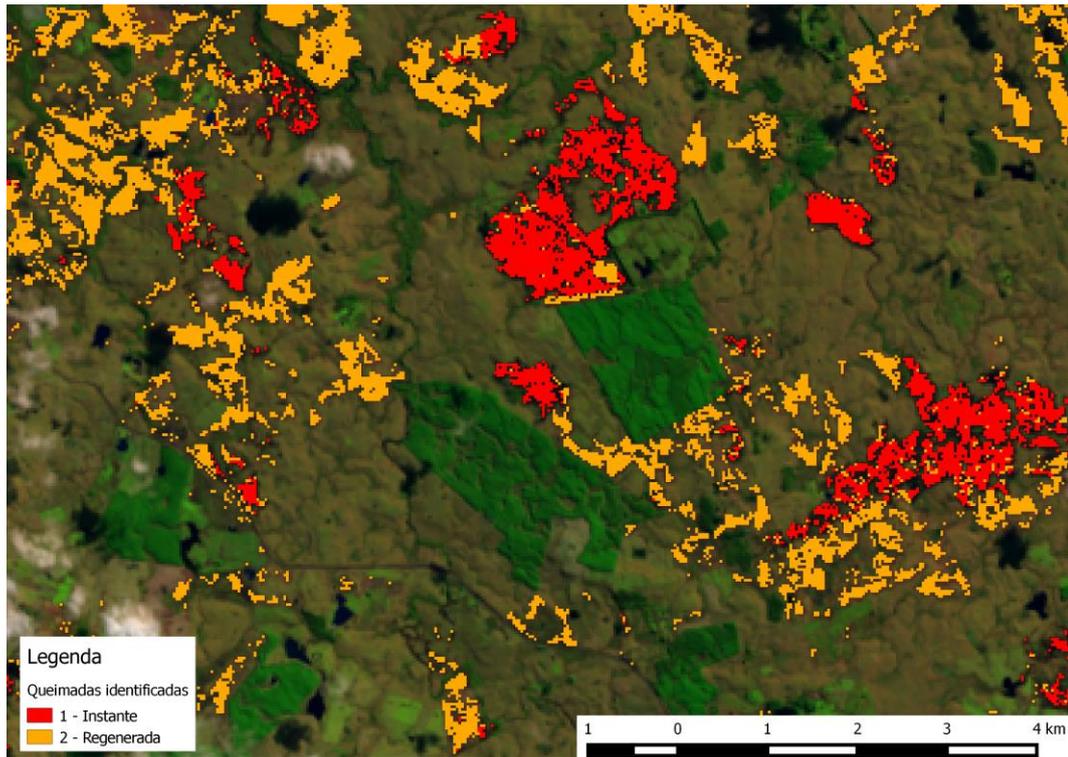


Figura 11: Detalhe das áreas identificadas através de classificação supervisionada como queimadas em diferentes graus de regeneração para a cena de agosto de 2014, em composição RGB 432. Localização do detalhe na próxima figura.

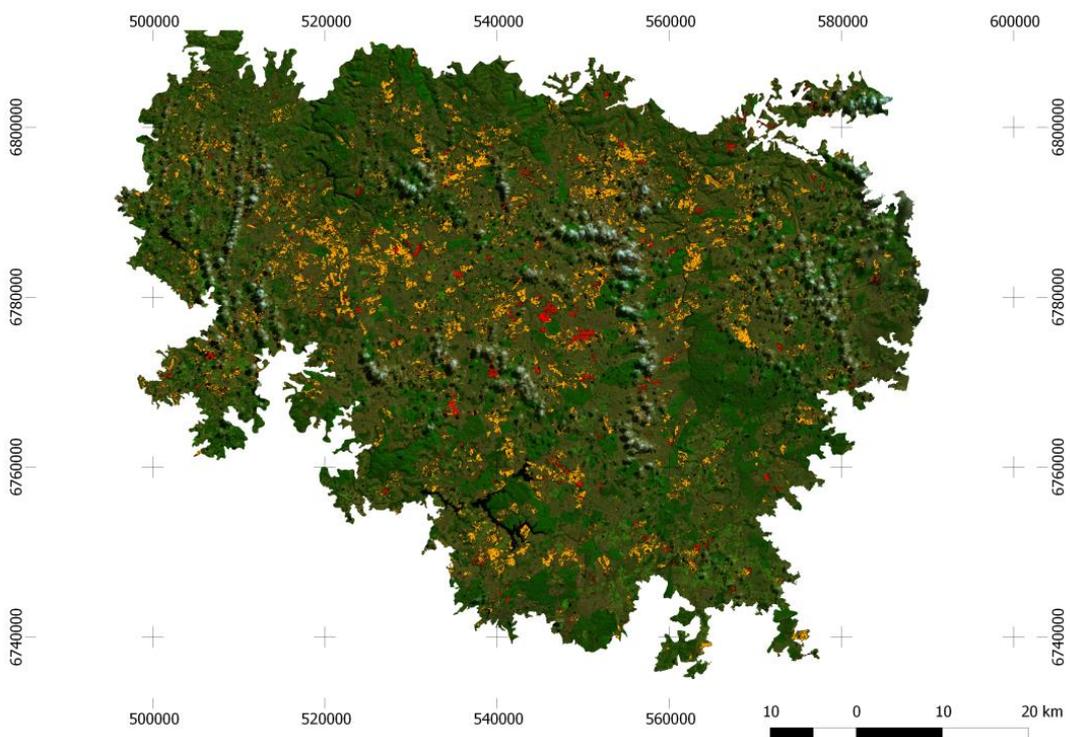


Figura 12: Queimadas identificadas para a região sobrepostas a uma composição RGB 432.

Utilizando essa mesma abordagem, o Poder Público poderá implantar uma rotina de monitoramento para as licenças ambientais emitidas para o manejo dos campos através do fogo. Tal rotina de monitoramento pode operar com as seguintes etapas (Figura 13):

1. Treinamento de fiscais para a utilização do *software Quantum GIS*.
2. Seleção de cenas do satélite *Landsat 8* referentes ao período de interesse do analista que fará o monitoramento. Estas cenas devem ser selecionadas dentre as com a menor cobertura de nuvens.
3. Utilização das bandas 4, 5, 6 e 7.
4. Recorte das bandas para a área de interesse circunscrita a um polígono. Esta etapa evita um processamento de pixels externos a área pesquisada.
5. Utilização de assinatura espectral já desenvolvida baseada em amostras fortuitas para classificação supervisionada.
6. Classificação supervisionada utilizando um dos algoritmos disponíveis no complemento *classificação semiautomática* do *software Quantum GIS*.
7. Agregação de novas áreas classificadas como queimadas na assinatura espectral existente, formando uma base de dados com mais áreas de treinamento.
8. Escolha de um entre os três algoritmos de classificação disponíveis (máxima verossimilhança, mínima distância ou mapeamento do ângulo espectral) e do limiar de classificação. Esta definição deve ocorrer de forma empírica, através de uma inspeção visual do desempenho do classificador.
9. Comparação dos aglomerados de pixels identificados como queimadas com a coordenada georreferenciada constante da licença.
10. Análise visual da imagem classificada em comparação a uma composição falsa-cor RGB.
11. Cálculo da área classificada como queimada e comparação com a área licenciada.
12. Verificação em campo das licenças que se mostrem inconsistentes com os dados classificados automaticamente, para possível autuação.

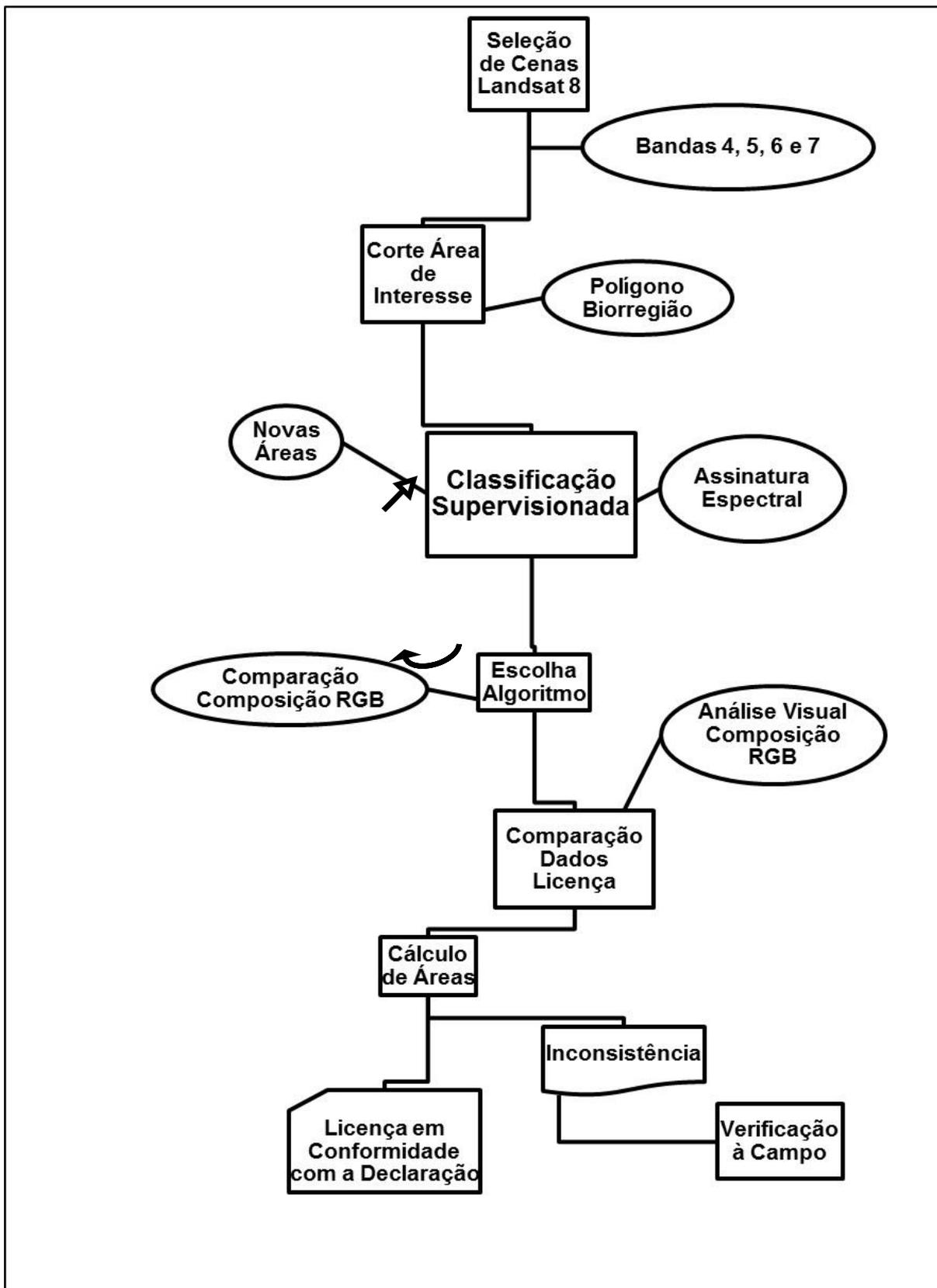


Figura 13: Fluxograma das etapas metodológicas para a sistematização do monitoramento de queimadas controladas

Considerações finais

Através das etapas metodológicas aqui propostas, o Poder Público poderá monitorar diversas licenças simultaneamente, num curto período de tempo, pois o sensoriamento remoto diminui a necessidade de vistorias em campo. Os órgãos gestores poderão ainda formar um banco de dados das áreas manejadas através do fogo para avaliar sua evolução espaço-temporal, e com isso controlar o período de pousio em cada propriedade. As conclusões do presente estudo podem ser extrapoladas para a toda a região dos Campos de Cima da Serra.

A metodologia proposta viabiliza o licenciamento ambiental simplificado para o uso do fogo. Tal licenciamento ambiental deve ter um caráter autodeclaratório, de responsabilidade do requerente, a exemplo do que ocorre com o imposto de renda de pessoas físicas. Entretanto, as informações prestadas pelos pecuaristas poderão ser verificadas via sensoriamento remoto a qualquer momento, a partir de uma coordenada geográfica da propriedade obtida com GPS de navegação ou *smartphone* e fornecida pelo solicitante. A coordenada da área manejada pode ser também obtida remotamente, com o auxílio do proprietário, quando do momento do requerimento, através de visualização e localização da propriedade no *software Google Earth™*. Isto dispensa a necessidade de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). A ART tem encarecido sobremaneira o licenciamento rural da propriedade, o que tem levado muitos proprietários a optarem pela ilegalidade, acarretando em infração ambiental.

Dados como data aproximada do manejo, área a ser manejada e coordenadas do local a ser queimado, são imprescindíveis para a licença a ser emitida. Devem ser observadas medidas preventivas e mitigatórias, tais como elaboração de aceiros, considerações sobre os ventos predominantes, situação da propriedade em relação a unidades de conservação, etc., a maior parte delas citadas na legislação específica sobre o uso do fogo (Decreto Federal 2.661/1998, por exemplo).

O licenciamento simplificado do manejo pelo uso do fogo, associado à obrigatoriedade de licença para a conversão de ecossistemas campestres, poderá ter efeitos positivos sobre a conservação dos Campos de Cima da Serra a médio e longo prazo, contribuindo para uma paisagem mais protegida.

Agradecimentos

Os autores são sinceramente gratos aos revisores deste artigo, bem como às seguintes pessoas que colaboraram diretamente com o processo de pesquisa: Adão Oliveira, Alexandre Francisco Binotto, Ana Buffon (*in memoriam*), Daniel Slomp, Emerson Mücke, Gerhard Ernst Overbeck, Guilherme Oliveira, Igor Buffon, Isadora Castro, Jeferson Schein, Josiel Moura, Jonas Reis, Júlio Stelmach, Ketulyn Fuster, Letícia Osório, Lougan Ribeiro, Maurício Betio, Maristela da Rosa, Martin Grings, Rumi Kubo, Silvio Kronbauer e Thiago dos Anjos. Especialmente ao pesquisador Matheus Pinheiro Ferreira, que gentilmente coletou os dados de comportamento espectral dos campos manejados, no inverno de 2013. Especialmente, também, ao Sr. Darci Teixeira Fagundes, que gentilmente cedeu sua fazenda para os experimentos desta pesquisa, além de compartilhar seu conhecimento ecológico local com a equipe de pesquisadores. Ao *Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS*, pelo empréstimo do espectrorradiômetro. À *Secretaria Municipal de Proteção Ambiental de São Francisco de Paula (RS)* e ao *Corpo de Bombeiros Voluntários* daquele município.

Referências

- BARBIERI, D. W. et al. Avaliação de diferentes tipos de manejo de pastagem natural utilizando valores de reflectância coletados com espectrorradiômetro. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.
- BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. C.; JACQUES, A. V. A. (Eds.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009.
- BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as Adaptive Management. **Ecological Applications**, v. 10, n. 5, p. 1251-1262, 2000.
- BORBA, M.; TRINDADE, J. P. P. Desafios para conservação e a valorização da pecuária sustentável. In: PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. C.; JACQUES, A. V. A. (Eds.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009.
- BOWKER, D. E.; DAVIS, R. E. **Spectral Reflectance of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies**. Washington: National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1985.

BOZIKI, D.; BEROLDT, L.; PRINTES, R. C. Utilização de agrotóxicos e destinação das embalagens na Área de Proteção Ambiental Rota do Sol, Rio Grande do Sul, Brasil. In: Printes, R. C. Editor. **Gestão ambiental e negociação de conflitos em unidades de conservação do nordeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Companhia Rio Grandense de Artes Gráficas, 2012.

CATTANI, C. E. V. et al. Desempenho de algoritmos de classificação supervisionada para imagens dos satélites RapidEye. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

DAVIS, A.; WAGNER, J. R. Who knows? On the importance of identifying “experts” when researching Local Ecological Knowledge. **Human Ecology**, v. 31, n. 3, p. 463-489, 2003.

ANJOS, T. S. dos.; BUFFON, I. Dinâmica do uso do solo na área destinada ao Parque Estadual do Tainhas, Rio Grande do Sul, Brasil: O caso da silvicultura de *Pinus* sp. In: Printes, R. C. Editor. **Gestão ambiental e negociação de conflitos em unidades de conservação do nordeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Companhia Rio Grandense de Artes Gráficas, 2012.

DALTO, R.; TAVARES, E. **Aparados da Serra**: na trilha do Padre Rambo. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2007.

DIEGUES, A. C. S. **O mito moderno da natureza intocada**. São Paulo: Editora Hucitec, 2001.

FREITAS, E. B de.; BEROLDT, L.; PRINTES, R. C. Identificação dos Conflitos Pré-Implementação do Parque Natural Municipal da Ronda, São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. In: Printes, R. C. Editor. **Gestão ambiental e negociação de conflitos em unidades de conservação do nordeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Companhia Rio Grandense de Artes Gráficas, 2012.

GRUMBINE, R. E. What Is Ecosystem Management? **Conservation Biology**, v. 8, n. 1, p. 27-38, 1994.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1972.

JESKE-PIERUSCHKA, V. L.; BEHLING, H. **Studies of vegetation, fire and climate dynamics during the late Quaternary as contribution towards conservation and management of the biodiversity hotspot “Mata Atlântica” in southern Brazil**. 2011. 218 p. Tese. (Doutorado). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Biologia da Georg August University Göttingen, Göttingen, 2011.

KEHL, L. G. H.; BEROLDT, L.; PRINTES, R. C. Situação atual do cultivo de batata (*Solanum tuberosum* L.) e o uso de agrotóxicos na Área de Proteção Ambiental Rota do Sol, Rio Grande do Sul, Brasil. In: PRINTES, R. C. (Editor). **Gestão ambiental e negociação de conflitos em unidades de**

conservação do nordeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Companhia Rio Grandense de Artes Gráficas, 2012.

LOMBARDI, J. R. J.; KRUG, T.; SANTOS, J. R. dos. **Estudo da Recorrência de Queimadas e Permanências de Cicatrizes de Fogo em Áreas Selecionadas do Cerrado Brasileiro, Utilizando Imagens TM/Landsat.** 2011. 114p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (SP), 2011.

MACEDO, J. H. de. **Onde há fumaça há fogo: conhecimento local e uso do fogo por pecuaristas em um mosaico campo-floresta no sul do Brasil.** 2012. 58p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2012.

MENESES, P. R.; ALMEIDA T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Universidade de Brasília, 2012.

MILLER, K. R. International Wilderness Provides Ecological Services for Sustainable Living. **International Journal of Wilderness**, v. 5, n. 3, p. 35-39, 1998.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Landsat 8 User Documentation.** Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/Landsat_8_Using_Product.php>. Acesso em 27 dez. 2014.

NETTO, C. G. A. M. O futuro dos Campos: possibilidades econômicas de continuidade da bovinocultura de corte no Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. C.; JACQUES, A. V. A. (Eds.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília: MMA, 2009.

NOVO, E. M. L de. M. **Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações.** 3 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

OLIVEIRA, S. F de. **Aurorescer das Sesmarias Serranas: História e Genealogia.** Porto Alegre: Edições EST, 1996.

OVERBECK, G. E. et al. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. C.; JACQUES, A. V. A. (Eds.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília: MMA, 2009.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação.** Londrina: Editora Planta, 2007.

PRINTES, R.C. **Adeus Amazônia: Conflitos agrários e socioambientais por trás do desmatamento no sudoeste do Pará.** Curitiba: Editora Prismas, 2017.

RAMBO, B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Livraria Selbach, 1956.

SILVEIRA, A. C. R. et al. Desempenho de EVI e NDVI para monitorar vegetação campestre através de ondaletas. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu. **Anais.** Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

VIEIRA, A.; BEROLDT, L.; PRINTES, R. C. Alternativas ao uso do fogo no manejo de campos nativos para atividade agropastoril em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. In: PRINTES, R. C. (Editor). **Gestão ambiental e negociação de conflitos em unidades de conservação do nordeste do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Companhia Rio Grandense de Artes Gráficas, 2012.