

# INCÊNDIOS FLORESTAIS EM VEREDAS: CONCEITOS E ESTUDO DE CASO NO PERUAÇU

*Wildfires in Palm Swamps: Concepts and Case Study in the Peruaçu*

**Philippe Maillard<sup>1</sup>**  
**Doralice Barros Pereira<sup>1</sup>**  
**Cláudio Gregório de Souza<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG**

Instituto de Geociências  
Av. Antônio Carlos, 6627,  
Belo Horizonte - MG 31270-901  
philippe@cart.igc.ufmg.br  
pereiradb@yahoo.com.br

**<sup>2</sup>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA**

SUPES-MT  
Av. Rubens de Mendonça, s/n  
Cuiabá - MT 78.055-500  
claudio-gregorio.souza@ibama.gov.br

## RESUMO

Incêndios em veredas são menos frequentes do que no cerrado, porém conservam um potencial bastante destruidor. Ao contrário da vegetação de cerrado, as formações vegetais de veredas não possuem mecanismos de proteção ao fogo e incêndios que afetam seu solo turfoso podem prejudicar sua regeneração de maneira permanente. Existe muito pouca literatura específica sobre incêndios em terras úmidas e menos ainda sobre incêndios em veredas. Este artigo traz uma revisão da literatura a respeito de incêndios no cerrado de modo geral e nas veredas especificamente cobrindo suas causas, efeitos, conseqüências bem como comentários sobre as leis brasileiras e de outros países que tratam do assunto. Em seguida, incêndios de vereda que ocorreram no Parque Estadual Veredas do Peruaçu em outubro 2007 são analisados a partir do emprego de técnicas cartográficas e de sensoriamento remoto. A metodologia baseada no processamento e na análise de duas imagens de satélite, uma pré- e outra pós-incêndio é descrita em detalhes e os resultados apresentados e discutidos. Imagens de sensoriamento remoto de resolução intermediária (5-30 m) permitem a cartografia dos estratos das veredas que se revelaram importante para avaliar os danos causados pelos incêndios e até permitem avaliar a quantidade de material facilmente inflamável.

**Palavras chaves:** Terras úmidas, Veredas, Incêndio florestal, Turfa, Legislação

## ABSTRACT

Wildfires in palm swamps are not as frequent as in the savanna, but have a much more destructive potential. Contrary to savanna vegetation, palm swamp formations do not bear protection mechanisms against fire and the burning of peat soils can permanently hinder their regeneration. Very little specific literature on wildfires in wetlands is available, least of all on palm swamps. This article brings a literature review on fires in the savanna and more specifically in palm swamps covering their causes, effects, consequences well as a discussion on Brazilian and foreign laws on fire perpetration. Next, palm swamp wildfires that ravaged the *Veredas do Peruaçu* state park during October 2007 are analyzed using mapping and remote sensing techniques. The methodology based on processing and analysis of pre- and post-fire satellite images is described and the results are fully presented and discussed. Remotely sensed images with an intermediate resolution (5-30 m) can be used for mapping the different vegetation physiognomies of palm swamps which can reveal important to evaluate fire damage and can help estimate vegetation fuel and fire risk.

**Keywords:** Wetlands, Palm swamps, Wildfire, Peatland, Legislation

## 1. INTRODUÇÃO

Após a Floresta Amazônica, o cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, e foi incluído na lista dos “hotspots” em 2002 (SILVA e BATES, 2002). Esta inclusão significou reconhecer ao nível mundial, sua rica biodiversidade e denunciar as diversas pressões que condicionam sua sobrevivência à adoção de medidas urgentes de conservação e preservação.

A grande heterogeneidade de paisagens do cerrado agrega uma rica diversidade florística (RATTER et al., 2000) e um expressivo número de espécies de plantas endêmicas (GIULIETTI et al., 2000). Entretanto, o bioma perde espécies nativas importantes, frente à expansão urbana e agropecuária crescentes, exploração irracional (carvão) e uso do fogo indiscriminado. Em 2000, menos de 3% do cerrado era protegido em Unidades de Conservação e mais de 60% já havia sido bastante modificado pela ocupação antrópica (MMA, 1999).

Paralelamente, destacam-se as terras úmidas, que abrigam as veredas, como essenciais à sobrevivência de muitas espécies vegetais e animais, constituintes vitais aos ecossistemas e às economias globais. Mas no mundo todo, as veredas sofrem ameaças resultando na sua destruição, conversão ou degradação de grande parte da sua extensão original (RAMSAR, 2007a, p. 6). Estimava-se que, até 1999, somente 7% dos países do mundo tinham um inventário adequado das suas terras úmidas e 25% dos países não detinham nenhum inventário (RAMSAR, 2007b, p. 7).

Em Minas Gerais, as veredas representam a maioria das cabeceiras da margem direita do Rio São Francisco e quase todas do Baixo Rio Grande (BIODIVERSITAS, 2005). O domínio do Cerrado, na porção centro-ocidental do estado, ocupa cerca de 57% da sua extensão territorial.

Em visita ao Parque Estadual Veredas do Peruaçu (PEVP) no dia 01 de outubro 2007, tivemos a triste surpresa de encontrar, perto da entrada oriental do Parque, cerca de oito quilômetros lineares de veredas queimadas ou queimando. Somados a uma época de estiagem especialmente prolongada (quase seis meses sem nenhuma chuva) e ventos anormalmente fortes, alguns focos de incêndio propagaram-se pelas turfas secas da parte superficial dos solos das veredas - material que produz um excelente combustível. Incêndios de veredas são relativamente raros quando comparados aos de cerrado. Todavia muito mais difíceis de serem controlados ou extintos em virtude da espessura da camada de solo orgânico que caracteriza essas veredas. Tal camada, em épocas de secas severas, torna-se um material propício à ocorrência de combustão superficial e sub-superficial.

O presente artigo traz uma revisão das conseqüências dos incêndios florestais em ambiente de veredas e ressalta, através do exemplo de um incêndio que ocorreu no PEVP entre os dias 25/9 a 3/10 de 2007,

como a combinação de observações *in situ* e de um estudo de sensoriamento remoto bi-temporal permitiu avaliar e mapear tal devastação. De uma consulta ao gerente do PEVP, recolheram-se informações valiosas a propósito do combate desse tipo de fogo e de suas conseqüências. Os resultados do mapeamento efetuado a partir de duas imagens orbitais mostraram-se precisos para delimitar a área do sinistro e servirão de base para o acompanhamento da regeneração.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importância ecológica das veredas

As veredas englobadas pelo cerrado são formações vegetais ribeirinhas de desproporcional importância em relação à área que ocupam, daí sua denominação de “oásis do sertão”. As veredas agem como corredores ecológicos e são ambientes frágeis que sustentam boa parte da biodiversidade florística e faunística do cerrado (CASTRO, 1980) além de serem essenciais para as populações rurais que necessitam dessa fonte de água, durante os meses de estiagem.

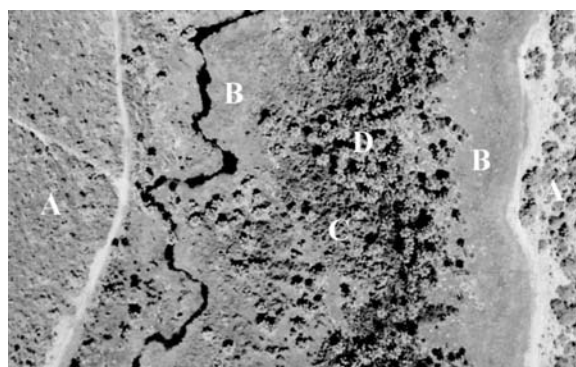
Em geral, as veredas se associam às características da topografia de um talvegue plano e indicam condições particulares de permeabilidade do substrato rochoso (camada permeável sobrepondo a uma camada impermeável), onde o lençol freático exsuda e solos hidromórficos, ricos em matéria orgânica se desenvolvem (BOAVENTURA, 1988). As veredas, formações não uniformes com diferentes estratos seguem um padrão transversal ao longo de toda sua extensão, consoante à disponibilidade hídrica do solo. A partir do contato com o cerrado em direção ao fundo do seu vale, pouco profundo, situa-se um campo gramíneo, seguido por uma região de arbustos e, no meio, uma área de extratos arbóreos onde sobressai a palmeira Buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.; Fig. 1) (EITEN, 1993). A partir do centro, o outro lado espelha similar seqüência. Tais aspectos aparecem na maioria das veredas analisadas na área de estudo, o Parque Estadual Veredas do Peruaçu (ALENCAR-SILVA, 2007).

Poucas pesquisas de sensoriamento remoto se atêm a estudar veredas. Produtos óticos são largamente usados para identificar e classificar categorias de vegetação. Nos últimos anos, as resoluções espaciais das imagens orbitais levaram à cartografia de formações muito estreitas, como as veredas. A distinção entre as veredas e outras formações ribeirinhas continua sendo tarefa difícil mesmo com este uso.

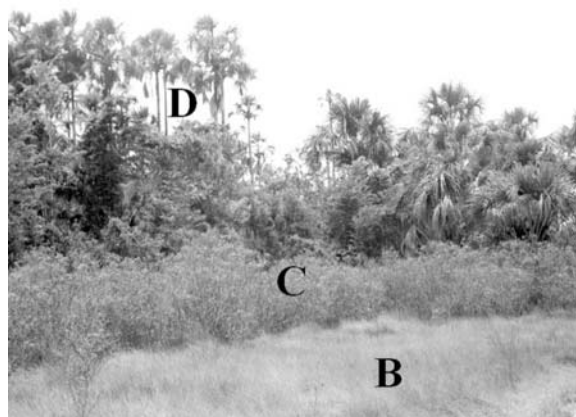
### 2.2 O fogo no cerrado e nas veredas

Nos trópicos, a queima agrícola resulta em solos inicialmente férteis, pelo aumento do montante de potássio e outros minerais liberados pelas cinzas, porém, boa parte desses minerais pode ser perdida pela ação do vento (MISTRY, 1998). Tal fertilidade pode

ainda rapidamente se esgotar se a prática for repetida anualmente.



(a)



(b)

Fig. 1 – Fotografias com as diferenças fisionômicas das veredas (a) vista aérea (b) vista do chão: A - Cerrado, B - Gramíneas, C - Estrato arbustivo e arbóreo, D – Buriti.

O cerrado resiste relativamente bem aos incêndios florestais através de adaptações especiais da vegetação pirófito. Por exemplo, a forte suberização do tronco e dos galhos (impregnação da parede celular com suberina ou deposição de lamelas de suberina cobrindo a parede), oferece certo grau de isolamento térmico dos tecidos internos, mesmo em temperaturas elevadas (COUTINHO, 1990). Algumas espécies do cerrado apresentam em seus frutos, a capacidade de protegerem suas sementes (LANDIM e HAY, 1995).

A época dos incêndios é vital para a regeneração. As queimadas de final de inverno, no auge da estação seca, significativamente destrutivas para os estratos arbustivos e arbóreos facilitam o crescimento de herbáceas. Já as queimas de verão afetam pouco as árvores, mas prejudicam mais as espécies herbáceas (PIVELLO e COUTINHO, 1996). Incêndios no cerrado têm relativamente pouco efeito sobre os solos, cujas temperaturas raramente ultrapassam 50°C nos primeiros 5 cm abaixo da superfície (MIRANDA et al., 1993).

Para as veredas, a compreensão da dinâmica do fogo é difícil, dada a escassez de estudos científicos sobre incêndios em terras úmidas (ROBERTS, 2000). Nas veredas, a situação é bastante distinta do cerrado, os incêndios só ocorrem no auge da estiagem, nos anos

mais secos, quando os solos hidromórficos secam e fornecem uma combustão fácil. Ao contrário do cerrado, incêndios em veredas penetram no solo e, permitem a ascensão a temperaturas muito mais altas com drásticos danos para a estrutura do solo, as raízes das plantas vasculares e o estoque de sementes (ELLERY et al., 1989; ROBERTS, 2000). Esse trajeto predispõe ainda o ambiente, à propagação de plantas invasoras que literalmente dominam o solo inicialmente ocupado pelas veredas e podem impedir sua regeneração por tempo indeterminado. Isso ocorreu em uma seção de veredas próxima à entrada leste do Parque Estadual Veredas do Peruaçu, onde as “tiriricas” dominaram quase todas as fisionomias de vegetação (João Roberto Barbosa de Oliveira, Gerente do PEVP, informação verbal outubro 2007).

Incêndios em veredas podem perdurar por vários dias ou semanas e serem extremamente complexos em seu combate. As chamas podem atingir alturas de vinte metros e consumirem as copas mais altas, lambendo as palmeiras buriti. Em sua atuação subterrânea, o fogo, supostamente controlado pode ressurgir alguns dias após sua aparente extinção e continuar seu papel destruidor. A gravidade e a profundidade da penetração da queima no solo dependem notadamente da espessura do húmus, da velocidade da propagação (fogos mais lentos atingem temperaturas mais altas e são mais prejudiciais aos solos) e da profundidade do aquífero (DIKICI e YILMAZ, 2006). Em uma “Nota técnica”, o Governo de Western Austrália (2000) elencou as poucas vantagens e as várias desvantagens para os fazendeiros que planejam provocar incêndios em suas terras úmidas:

1. destruição do estoque de sementes se provocado numa época inapropriada (muito seca)
2. degradação ou perda do solo orgânico
3. aumento de pragas (insetos) na vegetação
4. aparecimento de fungos em sementes
5. mudanças na composição e estrutura da vegetação
6. exposição das raízes e rizomas
7. perda da vegetação causando redução da filtragem das águas superficiais
8. erosão dos solos e aumento da turbidez na água
9. aumento de plantas invasoras
10. destruição de habitat da fauna para reprodução, alimentação e abrigo
11. morte da fauna
12. elevação da temperatura da água pela redução da sombra da vegetação ampliando o risco de propagação de algas.

O comportamento de incêndios em solos orgânicos de húmus quase puro na Indonésia foi estudado por Usup et al. (2004). Em uma experiência controlada de fogo em terras úmidas, eles obtiveram temperaturas de 275°C na superfície, de até 90°C a 10 cm e de até 60°C a 20 cm de profundidade. Nos incêndios de húmus foram constatadas três fases: 1ª) fase, o incêndio de superfície atinge uma temperatura

crítica levando a ignição do húmus (Figura 2a); 2ª) fase, o incêndio do húmus superficial (os primeiros 20 cm) se prolifera independente do incêndio superficial (Figura 2b); e na 3ª) fase, um incêndio profundo (de até 60 cm) de húmus começa a se difundir sem chegar à superfície (Figura 2c). Estas fases foram parcialmente constatadas no incêndio de outubro 2007 nas veredas do PEVP (as explicações estão na seção 4 e na Figura 5f-h).

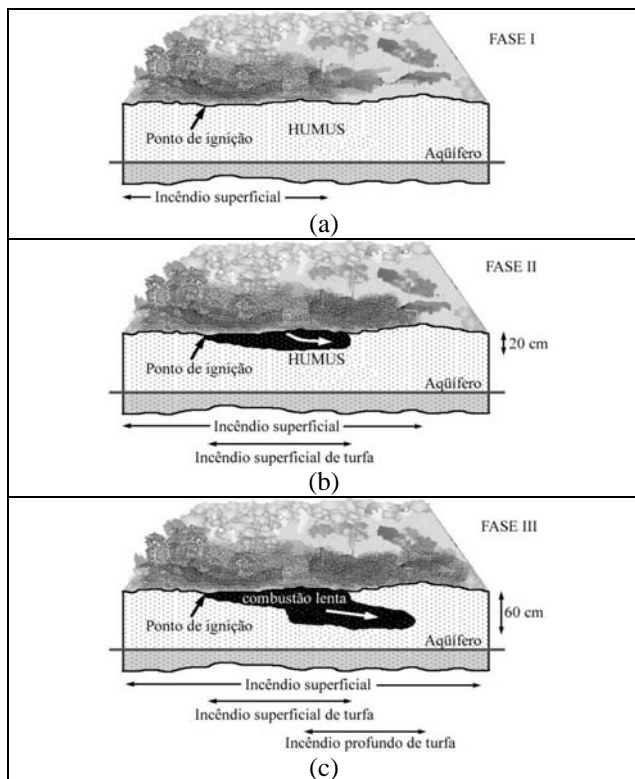


Fig. 2 - As três fases do incêndio de húmus segundo Usup et al. (2004): fase 1 (a), o incêndio de superfície atinge uma temperatura crítica levando a ignição do húmus; fase 2 (b), o incêndio do húmus superficial (20 cm) se prolifera independente do incêndio superficial; fase 3 (c), um incêndio profundo (de até 60 cm) de húmus começa a se propagar sem necessariamente atingir a superfície.

### 2.3 Incêndios provocados e a legislação

As queimadas naturais procedentes da queda de raios no cerrado podem acontecer com relativa frequência no período de transição seca-chuva. Geralmente, essas queimadas não se proliferam por grandes extensões, já que posteriormente a chuva tende a bloquear a progressão de incêndios de maior magnitude (RAMOS-NETO, 2000). Apesar dessa característica, a grande maioria dos incêndios decorre da negligência ou crime. Na Europa estima-se que apenas 5% dos incêndios têm origem natural (SAN-MIGUEL-AYANZ et al., 2005). Infelizmente, a piromania está presente em todas as regiões e ecossistemas do mundo, produzindo, muitas vezes, danos imensos (poluição, destruição de solos, vegetação, deterioração de benfeitorias privadas, redes de eletricidade, cercas, etc.).

Normas sobre prevenção, proibição e uso manejado do fogo em áreas florestais existem em vários países. Elas visam a coibir o uso do fogo em zonas e épocas de perigo, definindo, também, procedimentos e regras de uso controlado em casos específicos, como a queima de resíduos florestais e de culturas agrícolas.

As leis penalizam os infratores que causam incêndio florestal deliberadamente ou desrespeitam as normas regulamentares. Na Tabela 1, algumas sanções penais aplicadas em países europeus foram compiladas de MUÑOZ (2000).

TABELA 1 - Sanções Penais aplicadas aos condenados por causarem incêndios florestais em alguns países (adaptado de MUÑOZ, 2000)

País	Prisão (máxima)
Alemanha	5 anos (incêndios por negligência) 10 anos (incendiários)
Espanha	5 anos (negligência) 20 anos (risco para pessoas)
Holanda	12 anos (incêndios com danos) 15 anos (risco para pessoas) 20 anos (caso tenha vítimas)
Itália	5 anos (incêndios por negligência) 7 anos (incendiários)
Polônia	8 anos
Portugal	3 anos (negligência) 15 anos (incendiários)

No Brasil, a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605, de 12/02/1998) no Cap. V, Seção II, trata especificamente dos Crimes contra a Flora impondo as penalidades aos infratores. O Art. 41 precisa: “provocar incêndio em mata ou floresta implica como pena a reclusão de dois a quatro anos e multa. Se o crime é culposo, a pena é de detenção de seis meses a um ano, incorrendo também multa pecuniária”.

Em Minas Gerais, a questão do fogo é regulada pela Lei no. 10.312, de 12/11/1990, que dispõe sobre a prevenção e o combate a incêndio florestal; e, o Decreto no. 39.792, de 5/08/1998, publicado no Diário do Executivo “Minas Gerais” em 06/08/1998 e retificado em 30/09/1998 que regulamenta a Lei anterior. No caso das peculiaridades locais ou regionais justificarem o emprego do fogo em prática agropastoril ou florestal, ele poderá ser autorizado pelo Instituto Estadual de Florestas - IEF, sob a forma de queima controlada.

### 2.4 O sensoriamento remoto com ferramenta de prevenção e monitoramento

O sensoriamento remoto, única ferramenta capaz de monitorar e mapear a extensão de incêndios em grandes áreas desabitadas, tem sido utilizado para 1) detectar incêndios ativos, 2) mapear áreas atingidas por incêndios uma vez apagados, 3) estimar as condições favoráveis ao início e à propagação de fogos (combustível, temperatura, umidade do ar, do solo e da vegetação) e 4) avaliar os efeitos atmosféricos dos incêndios (FULLER, 2000). Em particular, a detecção e

o mapeamento de áreas atingidas por incêndios florestais corresponde a uma das principais aplicações do sensoriamento remoto em manejo florestal (FRANKLIN, 2001) tanto na escala global, através do uso das imagens AVHRR, SPOT Vegetation ou MODIS (RUNNING et al., 2000), quanto na escala regional com imagens do Landsat TM (KOUTSIAS e KARTERIS, 2000), SPOT HRV, ASTER ou CBERS. Produtos derivados, como o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) têm sido particularmente úteis por permitirem inferir acerca da proporção do terreno queimado. RAZAFIMPANILO et al. (1995) modelou a relação entre o valor de diferença de NDVI e a proporção do pixel completamente queimado. Entretanto, grande parte das pesquisas em sensoriamento remoto que tratam de incêndios florestais dedica-se pouco às formações de terras úmidas e se concentram nas florestas de grande extensão ou nas savanas (CASSIDY, 2006).

No Brasil, cientistas têm precisado mais o problema das queimadas: “O monitoramento revela a existência de cerca de 300.000 queimadas por ano, em todo o país. Sua origem é essencialmente agrícola e em geral ocorrem em áreas já desmatadas, com padrões espaciais diferenciados e dinâmica temporal variável” (EMBRAPA, 2008). No Programa de Monitoramento, Prevenção e Controle das Queimadas na Agricultura do Ministério da Agricultura e Abastecimento foi realizado um Monitoramento por Satélite das áreas mais críticas quanto à ocorrência de queimadas no país. A concentração espacial e temporal das queimadas e suas tendências evolutivas em diferentes escalas espaciais salientaram como áreas mais críticas: o Mato Grosso, o Pará, o Maranhão e o Tocantins. Em Minas Gerais, um total crescente de queimadas de 2320 em 1997, subiu para 3348, em 1998 e 5540, em 1999, ou seja, 42% de aumento em apenas três anos EMBRAPA (2008).

### **3. METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DO INCÊNDIO DE OUTUBRO 2007 NAS VEREDAS DO PEVP**

A magnitude da devastação nas veredas do PEVP e a complexidade que o combate a esse tipo de incêndio exige nos levaram a pesquisá-lo e mapear a extensão do sinistro usando dados de sensoriamento remoto. Poucos trabalhos científicos abordam os efeitos dos incêndios florestais em terras úmidas e solos orgânicos (USUP et al., 2004; CASSIDY, 2006; DIKICI e YILMAZ, 2006).

#### **3.1 Dados e pre-processamento**

Durante a visita ao PEVP, a área do sinistro foi percorrida e registrada em fotografias digitais, com o intuito de acompanhar a velocidade e as características da regeneração. Algumas dessas fotografias compõem a Figura 5 com uma vista panorâmica obtida a partir de um mosaico de fotografias digitais.

Os incêndios foram controlados no dia 3 de outubro e uma imagem do dia 10 de outubro do sensor CCD do satélite CBERS-2 foi adquirida e corrigida geometricamente a partir do seu registro com uma imagem ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) acoplado ao satélite Terra/EOS AM-1 (instrumento VNIR: Visible and Near Infrared) que já estava na projeção UTM devido a trabalhos anteriores (ALENCAR-SILVA, 2007; MAILLARD e ALENCAR-SILVA, 2007).

A boa qualidade de ambas as imagens (0% de nuvens na ASTER e menos de 1% na CBERS-2) e a facilidade em identificar as cicatrizes do fogo não exigiram nenhuma correção atmosférica ou radiométrica, exceto ajustes de histogramas para visualização e padronização das cores entre as duas imagens. Apesar da relação conhecida entre o NDVI e a proporção do terreno queimado (RAZAFIMPANILO et al., 1995), problemas de calibração do instrumento CCD do CBERS-2 (PONZONI et al., 2005) não permitiriam confiar nos valores calculados deste modo. As duas imagens foram uniformizadas na resolução de 15 metros (reamostragem bi-linear) e mescladas em uma única base de dados para serem simultaneamente analisadas.

#### **3.2 Mapeamento e cálculo de áreas**

A cartografia das cicatrizes deixadas pelos incêndios foi efetuada manualmente, no ambiente do software ERMapper (Versão 6.0 ©2003 Earth Resource Mapping Ltd.) na forma de vetores sobrepondo-se a imagem de 2007 (CBERS-2) realçada. A imagem de 2006 (ASTER) podia ser visualizada simultaneamente para conferência. O limite do PEVP foi importado a fim de melhor serem discriminadas e calculadas as áreas queimadas dentro e fora do Parque.

As proporções queimadas das fisionomias vegetais foram mapeadas a partir do cruzamento dos vetores das cicatrizes de queimadas com um mapa fitofisionômico obtido da imagem ASTER de 2006, em um outro estudo (ALENCAR-SILVA, 2007). Os cálculos foram efetuados para as queimadas inteiras e para a porção incluída no PEVP (Tabela 2). Os vetores gerados foram importados em um sistema de informação geográfica junto com a imagem CBERS de 2007. O mapa foi complementado reunindo-se uma base cartográfica e o limite do PEVP (Figuras 3 e 4).

### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Três áreas de queimadas foram detectadas na imagem CBERS-2 e identificadas na Figura 3 como Área 1, 2 e 3. A Figura 4(a) e (b) traz a área (1) principal, antes e depois do fogo nas duas imagens. A cicatriz causada pela queimada na paisagem aparece nitidamente na imagem CBERS-2 e amplia a impressão de devastação: muitas árvores e até arbustos sobreviveram ao incêndio (Figura 5(a)), porém se mostram desfolhados e encobertos pelas cinzas, conferindo-lhes um aspecto escurecido. Os tipos de

fisionomias vegetais queimadas em cada uma das áreas de incêndio foram mapeados a partir do cruzamento das manchas queimadas delimitadas na imagem CBERS-2 (CCD) e de um mapeamento prévio das fitofisionomias baseado na imagem ASTER (VNIR). A Figura 4(c) ilustra esse mapeamento para a Área 1. As áreas correspondentes a cada tipo de fisionomia vegetal estão na Tabela 2, que também traz a distinção entre as áreas incluídas no PEVP. No total, o incêndio cobriu quase 702 ha de vegetação, dos quais 322 ha (~46%) de cerrado, que deveriam se regenerar, com pouca alteração da sua configuração original. Dos 380 ha restantes, 92 ha da Área 2, pertencem a uma vereda muito degradada, deixando quase 200 ha destruídos. A maior parte dessa área (~75%) está no PEVP.

TABELA 2 - Áreas das diversas fitofisionomias atingidas pelos três incêndios.

Classes de Fisionomia Vegetal	Incêndio 1		Incêndio 2		Incêndio 3 Total (ha)
	Total (ha)	PEVP (ha)	Total (ha)	PEVP (ha)	
Campo hidromórfico	16.88	3.96	7.99	4.28	
Arbustivo	101.70	62.17	1.33	1.01	
Arbóreo	166.64	66.67	4.37	4.32	
Cerrado	220.48		48.40	40.21	54,00
Cerrado ralo	43.45	4.82	29.77	10.91	
Solo exposto	6.84	0,61			
<b>Total</b>	<b>555,98</b>	<b>156,67</b>	<b>91,85</b>	<b>60,73</b>	<b>54,00</b>

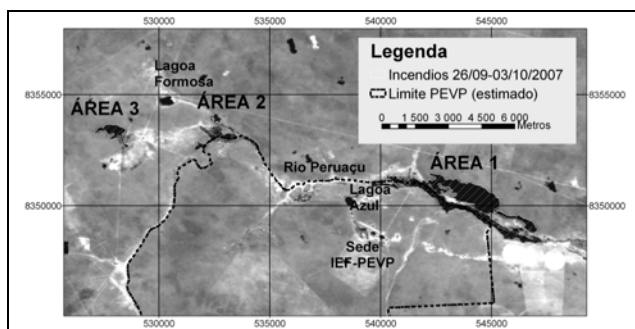


Fig. 3 - Carta-imagem com as três áreas de queimadas.

O incêndio principal na Área 1 difundiu-se de leste para oeste e teria se iniciado em vários pontos, no limite norte da área queimada. A constatação de três focos iniciais (segundo os funcionários do IEF que combateram o incêndio) tende a confirmar a hipótese de incêndio criminoso, ateadado ao longo do trajeto percorrido a pé. Ventos excepcionalmente fortes, durante o período da queima auxiliaram a propagação rápida e extensa do fogo (quase oito quilômetros de extensão leste-oeste). No seu limite sul, as chamas não ultrapassaram a estrada de areia ao longo da vereda nem se espalharam na vegetação de cerrado.

A Figura 5 traz fotografias dos dias 3 e 4 de outubro. A fotografia panorâmica (a) obtida de um mosaico de cinco fotografias exibe claramente a

devastação dos estratos herbáceos e arbustivos (onde predomina *Macaírea radula* D.C.) assim como, a queima da matéria orgânica e a liberação de minerais deixando o solo com uma coloração cinza-branca. Nesta fotografia verifica-se a rebrota de gramíneas apesar do curto tempo de um ou dois dias, desde o controle do incêndio. A fotografia (b) permite a visualização mais ampla da queima de *Macaírea radula* D.C. (a folha de fogo) que freqüentemente se dá entre os estratos herbáceos e arbóreos de veredas típicas (ALENCAR-SILVA, 2007). As Fotografias (c) e (d) precisam a queima completa da turfa do solo e mostra como os troncos de *Mauritia flexuosa* L.f. (buriti), de *Attalea geraensis* Barb. Rodr. (palmeira indaiá) e de *Macaírea radula* D.C. (folha de fogo) incendiaram-se nas suas bases. A presença de troncos caídos (ainda com fumaça) é segundo Usup et al. (2004), um dos mecanismos que permite à turfa atingir temperaturas suficientemente altas para iniciar uma queima subterrânea. As altas temperaturas podem conduzir a fervura da seiva, como no tronco de buriti da fotografia (e). As três últimas fotografias (f-h) revelam a condição do solo na área 2, que já era de uma vereda altamente degradada antes do incêndio, e onde o pouco material combustível acima da superfície, não impediu que a turfa se queimasse intensamente. Em (f) a disposição das manchas queimadas sugere que o incêndio surgiu de baixo (também na Figura 2c). Em (g), a secagem e o resfriamento da turfa após o incêndio levou à sua contração criando um campo de polígonos. A fotografia (h) evidencia como a queima das raízes dos troncos gerou sua queda (facilitada pelos ventos fortes).

Inicialmente, os incêndios atuaram mais facilmente nos estratos herbáceos e arbustivos, pois eles permanecem mais secos na estiagem do que o estrato arbóreo. A cartografia detalhada distingue essas fisionomias vegetais, os estratos das veredas e possibilita um melhor controle sobre os riscos de incêndios, pois faz conhecer a quantidade de material facilmente inflamável disponível para a queimação.

## 5. CONCLUSÃO

Associar os mecanismos do fogo às especificidades dos ecossistemas é uma proposição de COCHRANE (2003) para melhor compreender como evitar danos mais graves advindos das queimadas. Por exemplo, se no Cerrado o fogo ocorre mais naturalmente, nas veredas nele contidas maiores cuidados são demandados por serem ambientes mais frágeis. A ocorrência de incêndios criminosos independe de uma boa legislação (embora reforçar as sanções seja sempre positivo) e da fiscalização. A compreensão dos efeitos do fogo e a sensibilização as pessoas, assim como a criação de políticas para os sinistros são, sem dúvida fatores que podem ajudar a reduzir a ocorrência de incêndios florestais.

Quanto ao emprego do Sensoriamento Remoto para o mapeamento dos incêndios florestais, como em muitos casos, as imagens são de baixa resolução

espacial, elas não possibilitam a detecção de incêndios de pequeno tamanho ou de baixa temperatura somente identificados com produtos de resolução mais fina como Landsat (30 m) ASTER (15-90 m) ou SPOT (5- 20 m). Porém muitas vezes seus altos custos impedem seu uso de maneira sistemática e repetida (COCHRANE, 2003). O Brasil possui a valiosa iniciativa do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) e o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) que fornecem imagens dos satélites da série CBERS sem ônus (<http://www.inpe.br>). Tal atitude favorece a divulgação do sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento de queimadas particularmente e de territórios de modo geral.

O emprego de imagens bi-temporais de resolução espacial fina (da ordem de 10 a 30 m), mesmo se forem de sensores e plataformas diferente (como CBERS-CCD e ASTER-VNIR) permite não apenas o mapeamento preciso das cicatrizes deixadas pelos incêndios mas também avaliar quais fisionomias vegetais foram devastadas, inferindo sobre a capacidade de regeneração.

Assinala-se a necessidade de pesquisas para entender melhor os mecanismos do fogo tendo em conta os aspectos de 1) **prevenção** - sob quais condições a susceptibilidade das veredas é crítica, definição de áreas prioritárias ao monitoramento para risco de queima, temperaturas do ar e solo, umidade no ar e solo, luminosidade, intensidade e direção dos ventos, profundidade que o fogo alcança, posição do aquífero e como construir estruturas para barrar as queimas; 2) **controle do fogo** - definir as prioridades no seu combate, os locais para atuar a aval ou montante do foco da queimada, interferir na área superficial, subterrânea, os equipamentos a adotar, treinar pessoal; 3) **ações pós-queima** - controle para evitar ressurgências, selecionar o tratamento para a regeneração e monitoramento com o apoio do sensoriamento remoto.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) pelo apoio logístico e, especialmente Célio Murilo de Valle Carvalho pelos incentivos as nossas pesquisas no âmbito do PEVP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR-SILVA, Thiago. **Proposta Metodológica para Delimitação e Classificação do Ambiente de Vereda Utilizando Imagens Orbitais**. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BIODIVERSITAS. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005, 222 p.

BOAVENTURA, R. S. Preservação da veredas- síntese. In: Proceedings of The 2nd Latin-American Meeting:

Human-Environment Relationship, 2, 1988, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, p.109–122, 1988.

BRASIL. Lei de Crimes Ambientais, Lei nº 9.605, de 12/02/1998, Brasília, 1998.

CASSIDY, L. Mapping the annual area burned in the wetlands of the Okavango panhandle using a hierarchical classification approach. **Wetlands Ecological Management**, 15 (DOI 10.1007/s11273-006-9026-2), p.253–268, 2006.

CASTRO, J. P. C. As veredas e sua proteção jurídica. Fundação João Pinheiro: **Análise e Conjuntura**, Belo Horizonte, v.10, n. 5-6, p.321–333, 1980.

COCHRANE, M. A. Fire science for rainforest. **Nature**, 421, p.913–919, 2003.

COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J.G. **ECOLOGICAL studies: Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges**, Berlin, Springer-Verlag, v. 84, p. 82-105, 1990.

DIKICI, H.; YILMAZ, C. H. Peat Fire Effects on Some Properties of an Artificially Drained Peatland. **Journal of Environmental Quality**, 35, p.866–870, 2006.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: Novaes Pinto, M (org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 17-73, 1993.

ELLERY, W. N.; ELLERY, K.; MCCARTHY, T. S.; CAIRNCROSS, B.; OELOFFE, R. A peat fire in the Okavango Delta, Botswana, and its importance as an ecosystem process. **African Journal of Ecology**, 27, p.7–21, 1989.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Governo do Brasil. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 10 jan. 2008.

FRANKLIN, S. E. **Remote Sensing for Sustainable Forest Management**. Florida: Lewis Publishers, Boca Raton, 2001, 407 p.

FULLER, D. O. Satellite remote sensing of biomass burning with optical and thermal sensors. **Progress in Physical Geography**, v. 24, n.4, p.543–561, 2000.

GIULIETTI, A. M.; FULANO; CICLANO. **Tópicos atuais em botânica**. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil/Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, p.311–318, 2000.

GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA. Advisory Notes for Land Managers on River and Wetland Restoration: wetlands and fire. 2, **Water**

- Notes. Disponível em: <http://www.wrc.wa.gov.au>, 2000.
- KOUTSIAS, N.; KARTERIS, M. Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat Thematic Mapper image. **International Journal of Remote Sensing**, 21, p.673–687, 2000.
- LANDIM, M. F.; HAY, J. D. Impacto do fogo sobre alguns aspectos da biologia reprodutiva de *Kielmeyera coriacea* (Mart.). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 56, n. 1, p.127–134, 1995.
- MAILLARD, P.; ALENCAR-SILVA, T. Delimitação e Caracterização do Ambiente de Vereda: II. O potencial das imagens óticas ASTER. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, SC., 2007. **Anais...** Florianópolis, SC., 2007. 6 p.
- MINAS GERAIS. Lei no. 10.312, de 12 de novembro de 1990, que dispõe sobre a prevenção e o combate a incêndio florestal, Belo Horizonte, 1990.
- MINAS GERAIS. Decreto no. 39.792, de 5/08/1998, Belo Horizonte, Diário do Executivo “Minas Gerais” em 06/08/1998 e retificado em 30/09/1998 regulamenta a Lei anterior.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL. **Ações prioritárias para a conservação da biodiversidade do Cerrado e Pantanal**. Brasília: Ventura Comunicações e Cultura, 1999. 24 p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 09 jan. 2008.
- MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.; DIAS, I. O.; DIAS, B. F. Soil and air temperatures during prescribed *cerrado* fires in central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, 9, p.313–320, 1993.
- MISTRY, J. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. **Progress in physical geography**, v. 22, n. 4, p.425–448, 1998.
- MUÑOZ, R. V. **La defensa contra incendios forestales: fundamentos e experiencias**. McGraw-Hill/Interamericana de España, p.1318–1327, 2000.
- PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. **Forest Ecology and Management**, 87, p.127–138, 1996.
- PONZONI, F. J.; ZULLO Júnior, J.; LAMPARELLI, R. A. C. Calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, GOIÂNIA, GO, 2005. **Anais...**, GOIÂNIA, GO, 2005. 6 p.
- RAMOS-NETO, M. B. **O Parque Nacional das Emas (GO) e o fogo: implicações para a conservação biológica**. 2000, 159f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT. National Wetland Policies. In: **Ramsar Handbooks for the wise use of wetlands**. 3.ed. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat, 2, 67 p., 2007a.
- RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT. Inventory , Assessment, and Monitoring. In: **Ramsar Handbooks for the wise use of wetlands**. 3.ed. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat, 11, 49 p., 2007b.
- RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGWATER, S. **Tópicos atuais em botânica**. Sociedade Botânica do Brasil/Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, p.340–342, 2000.
- RAZAFIMPANILO, H.; FROUIN, R.; IACOBELLIS, S. F.; SOMERVILLE, R. C. J. Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data. **Remote Sensing of Environment**, 54, p.273–289, 1995.
- ROBERTS, S. Tropical fire ecology. **Progress in Physical Geography**, 24, p.281–288, 2000.
- RUNNING, S.W.; QUEEN, L.; THORNTON, M. The Earth observing system and forest management. **Journal of Forestry**, 98, p.29–31, 2000.
- SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; RAVAIL, N.; KELHA, V.; OLLERO, A. Active fire detection for fire emergency management: potential and limitations for operational use of remote sensing. **Natural Hazards**, 35, p.361–376, 2005.
- SILVA Jr., M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. **Bioscience**, v. 52, n. 3, p.225–233, 2002.
- USUP, A.; HASHIMOTO, Y.; TAKAHASHI, H.; HAYASAKA, H. Combustion and thermal characteristics of peat fire in tropical peatland in Central Kalimantan, Indonesia. **Tropics**, v.14, n.1, p.1–19, 2004.



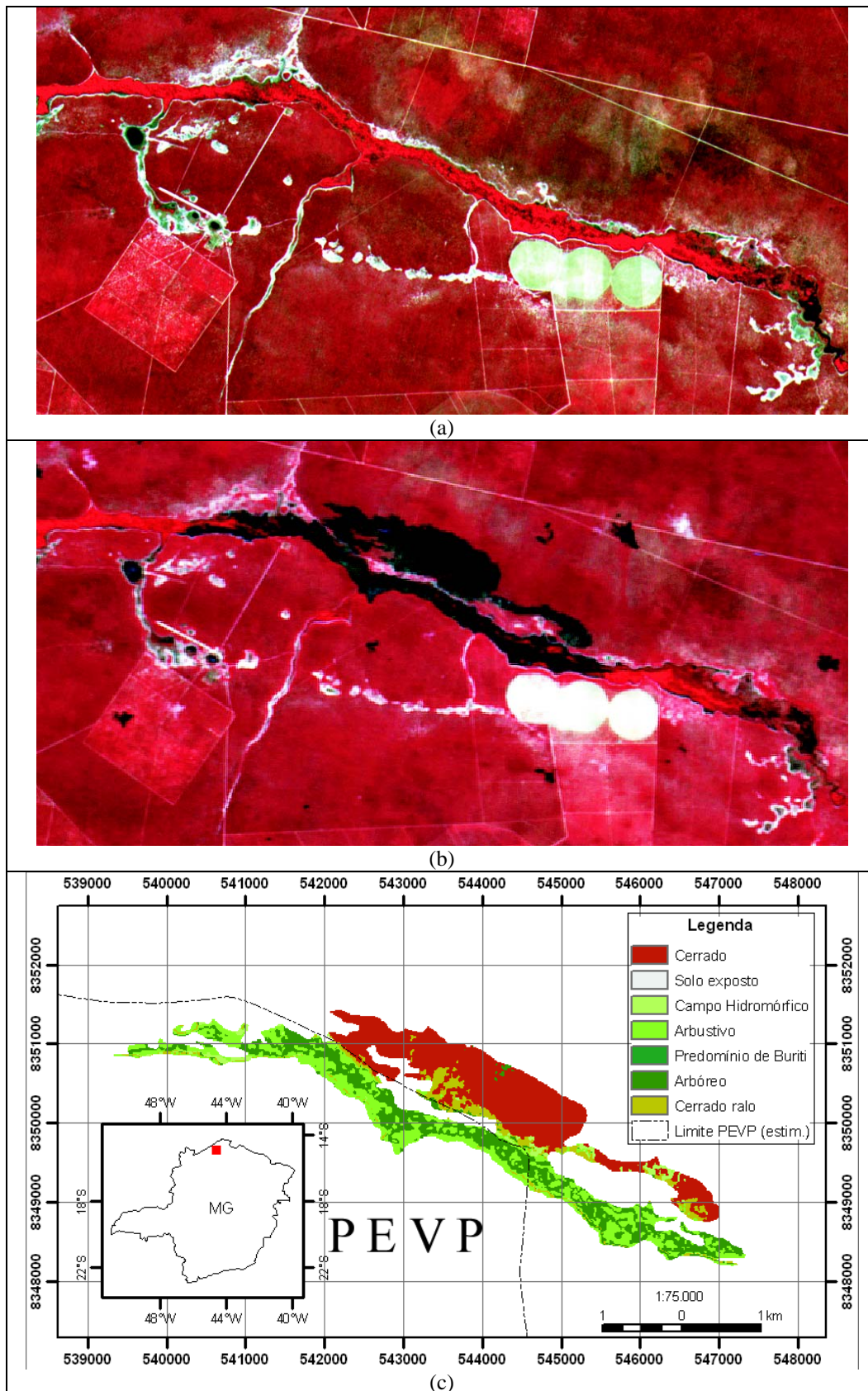


Fig. 4 - Setor das imagens ASTER (a) e CBERS-2 (b) que serviram para confeccionar o mapa dos incêndios no PEVP. O setor ilustrado em se refere ao maior dos três incêndios (as imagens correspondem a uma área de 15 × 7,5 km). Em (c), mapa das fisionomias vegetais da área queimada 1 baseado na classificação da imagem ASTER.



Fig. 5 - Fotografias ilustrando as marcas deixadas nas veredas pela passagem do fogo: a-d) na área 1, e-g) na área 2.  
 Revista Brasileira de Cartografia N° 61/04, 2009. (ISSN 0560-4613)