



Experiências Internacionais de Manejo Integrado do Fogo em Áreas Protegidas – Recomendações para Implementação de Manejo Integrado de Fogo no Cerrado

Isabel Belloni Schmidt¹, Clara Baringo Fonseca¹, Maxmiller Cardoso Ferreira¹ & Margarete Naomi Sato¹

Recebido em 03/07/2015 – Aceito em 15/11/2016

RESUMO – O Manejo Integrado do Fogo (MIF) é uma abordagem que considera aspectos ecológicos, culturais e de manejo para propor uso de queimas controladas, bem como a prevenção e combate a incêndios, com vistas a garantir a conservação e uso sustentável de ecossistemas. Programas de MIF foram implementados há décadas e em larga escala em Áreas Protegidas em diferentes continentes do mundo, especialmente em ambientes dependentes do fogo ou pirofíticos. Este artigo sintetiza, de forma não exaustiva, experiências internacionais de manejo do fogo em áreas protegidas e propõe recomendações para sua implementação em Programas de MIF em Unidades de Conservação (UC) do Cerrado ainda em fase de experimentação. Exemplos de implementação de manejo do fogo foram revisados com ênfase nas metodologias de pesquisa e monitoramento em regiões de ocorrência de savanas, mais especificamente, na região sul da África e Norte da Austrália, onde os objetivos de pesquisa focam geralmente em avaliar impactos de diferentes regimes de queima na flora e fauna. Programas de pesquisa e monitoramento foram implementados apenas para um número reduzido de espécies ou grupos indicadores. Dentre indicadores comumente reportados pode-se citar o monitoramento, via sensoriamento remoto de áreas queimadas, épocas e locais de ocorrência de queimadas (manejadas ou não) e o monitoramento da estrutura da vegetação, especialmente vegetação arbórea. Dentre os grupos animais, aves, insetos e mamíferos terrestres são os grupos mais comumente monitorados em áreas de manejo do fogo. Fica evidente que mesmo em regiões em que há esforços sistemáticos de pesquisa e monitoramento para subsidiar decisões de manejo, certo grau de incerteza é sempre mantido. Muitas vezes, a influência de pesquisas sobre as decisões de manejo é limitada e está muito mais explícita na criação de ambientes de aprendizagem, trocas de informações e melhoria na qualidade técnica das tomadas de decisão por parte dos gestores em relação ao manejo do que na identificação de regimes definidos de queimas ou receitas prontas para melhoria da gestão ambiental. A partir das experiências sistematizadas, são feitas recomendações para implementação de MIF em UC do Cerrado.

Palavras-chave: Cerrado; conservação da biodiversidade; gestão dos recursos naturais; indicadores ecológicos; manejo do fogo; monitoramento.

ABSTRACT – The Integrated Fire Management (IFM) is an approach that considers ecological, cultural and management issues to propose the use of prescribed burning, together with fire prevention and suppression measures, to ensure conservation and sustainable use of ecosystems. Large-scale IFM programs have been implemented for a long time in Protected Areas (PA) in different continents, especially in fire-dependent or fire-prone ecosystems. This article summarizes international fire management experiences in Protected Areas and indicates recommendations for IFM implementation in Cerrado's PA, where such programs are being tested. Examples of implementation of fire management initiatives are reviewed with emphasis on research

Afiliação

¹ Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro. Brasília, DF CEP 70.910-900.

E-mails

isabels@unb.br

methodologies and monitoring in savannas ecosystems, specifically in Southern Africa and Northern Australia, where research objectives usually focus on assessing the impacts of different fire regimes in flora and fauna. Research and monitoring programs have been implemented only for a small number of species or indicator groups. Among commonly reported indicators are the monitoring through remote sensing of burned areas, fire season and occurrence of fires (managed or not) and monitoring the vegetation structure, especially woody vegetation. Among animal groups, birds, insects and terrestrial mammals are the most commonly monitored groups in fire management areas. Even in areas where research and monitoring efforts are constant, a certain degree of uncertainty is always present. Often, the influence of research on management decisions is limited. However, research promotes learning environments, foster information exchange and helps improve the technical quality of managers's decision making process. Some recommendations for the IFM implementation in the Cerrado PA are listed at the end of the study.

Keywords: Brazilian Cerrado; biodiversity conservation; natural resources management; ecological indicators; fire management; monitoring.

RESUMEN – El Manejo Integrado del Fuego (MIF) es una abordaje que considera aspectos ecológicos, culturales y de manejo para proponer el uso de quemas controladas, además de medidas de prevención y combate a incendios, con el objetivo de garantizar la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas. Programas de MIF fueron implementados durante las últimas décadas y en larga escala en Áreas Protegidas en diferentes continentes del mundo, especialmente en ambientes dependientes del fuego o pirofíticos. Este artículo resume de forma no exhaustiva experiencias internacionales de manejo del fuego en áreas protegidas y propone recomendaciones para su implementación en Programas de MIF en Unidades de Conservación (UC) del Cerrado, todavía en fase de experimentación. Ejemplos de implementación de manejo del fuego fueron revisados con énfasis en las metodologías de monitoreo e investigación científica en regiones de sabana, concretamente en Sudáfrica y el norte de Australia, donde los estudios por lo general se centran en evaluar el impacto de los diferentes regímenes del fuego en la flora y la fauna. Proyectos de investigación y monitoreo se aplican apenas para un número reducido de especies o de grupos indicadores. Entre los indicadores más comunes reportados destaca el monitoreo vía sistemas de información geográfica de área quemada, época y locales de ocurrencia de quemadas (de manejo o no) y del monitoreo de la estructura de la vegetación, especialmente de la vegetación leñosa. Entre los grupos de animales, aves, insectos y pequeños y grandes mamíferos son los grupos más monitoreados durante los estudios. Resulta evidente que en diversas regiones donde hay iniciativas sistemáticas de investigación y monitoreo, cierto grado de incertidumbre siempre se mantiene. Muchas veces, la influencia de resultados científicos sobre las decisiones de manejo es limitada y se concentra mucho más en crear ambientes de aprendizaje, intercambio de informaciones y en mejorar la calidad técnica en la toma de decisión por parte de los gestores en relación al manejo que en la identificación de regímenes definidos de quemadas o recetas definitivas para mejorar la gestión ambiental. A partir de las experiencias sistematizadas, se proponen recomendaciones para la implementación de MIF en UC del Cerrado.

Palabras clave: Cerrado; conservación de la biodiversidad; gestión de los recursos naturales; Indicadores ecológicos; manejo del fuego; monitorización.

Introdução

O fogo é um fator importante, responsável há milhões de anos por moldar ecossistemas e selecionar espécies em diversos ambientes no mundo (Bond *et al.* 2005, Pausas & Keeley 2009, Simon *et al.* 2009, Simon & Pennington 2012). Alguns termos são utilizados para definir os diferentes tipos de queima, como: a) incêndio (florestal), quando o fogo natural ou antrópico queima a vegetação de forma descontrolada; b) queimada controlada, é a queima antrópica em uma determinada área e em uma época para atingir o objetivo específico; c) queimada prescrita, é uma queima controlada cujos objetivos, métodos e técnicas foram definidos por gestores ambientais com vistas ao manejo de áreas protegidas (Whelan 1995).

O regime de fogo e seus efeitos sobre os ecossistemas são definidos especialmente pela época e frequência em que o fogo ocorre, sendo influenciados pelo comportamento do fogo, caracterizado pela temperatura do ar durante a queima; tempo de residência de altas temperaturas,

altura das chamas e velocidade de propagação e intensidade da frente de fogo. Estes aspectos, bem como as características de cada ecossistema, são determinantes para os efeitos de cada queima e de um determinado regime de queimas sobre os ecossistemas (Rothermel 1983, Whelan 1995, Miranda *et al.* 2010), uma vez que a estrutura e composição da vegetação influenciam o tipo e a propagação do fogo e as respostas dos ecossistemas a este distúrbio (Whelan 1995).

Todas as formações vegetacionais podem estar sujeitas a eventos de fogo, entretanto, a sua estrutura (horizontal e vertical) e sua composição de espécies (sensíveis, resistentes e resilientes) podem determinar o regime de queima (frequência e época de ocorrência) e o tipo de propagação do fogo (subterrâneo, superfície ou de copa). O fogo subterrâneo ocorre em locais onde há um grande acúmulo de matéria orgânica parcialmente decomposta (turfa), e a velocidade de propagação da frente de fogo é lenta (braseiro), sem chamas. Este tipo de fogo danifica o sistema subterrâneo das plantas, causando a morte de indivíduos, mesmo sem o consumo da porção aérea das plantas. A propagação do fogo de superfície se dá devido à continuidade e ao espaçamento do material combustível sobre o solo, de modo que o fogo é conduzido pelo estrato rasteiro (gramíneas, graminóides e arbustos finos) e ramos finos e folhas sobre o solo. Nestes casos, o fogo pode apresentar velocidade de propagação variada e não causar morte de muitos indivíduos que têm reservas subterrâneas de energia que lhes permite rebrotar após a passagem do fogo, mesmo após perda total da parte aérea. O fogo de copa ocorre em vegetações florestais onde há continuidade de dossel devido à sobreposição de copas. Neste tipo de fogo, é comum a ocorrência concomitante do fogo de superfície em ambientes em que há também a continuidade do estrato rasteiro (Whelan 1995, Pyne *et al.* 1996).

Os tipos vegetacionais podem ser classificados, de acordo com sua resposta e recuperação à ocorrência do fogo (Hardesty *et al.* 2005, Myers 2006, Shlisky 2007), como:

- 1) Independentes do fogo:** vegetações que, naturalmente, não produzem combustível suficiente dar continuidade à propagação da frente de fogo ou onde não existem fontes naturais de ignição para iniciar queimadas (como a tundra e os desertos). Nestes ambientes, as espécies não apresentam adaptações ao fogo e a ocorrência de fogo é rara. Após uma eventual queima, a mortalidade de indivíduos é alta e a recuperação é extremamente lenta;
- 2) Sensíveis ao fogo:** a maioria das espécies não evoluiu na presença do fogo (como a floresta tropical úmida). Nestes casos, a ocorrência de queima é eventual e possui o papel natural de manutenção da estrutura e funcionamento deste ecossistema. Portanto, o fogo recorrente pode causar impactos negativos na diversidade ou mesmo aumentar a susceptibilidade da vegetação a queimadas, afetando significativamente o funcionamento e a diversidade biológica destes sistemas;
- 3) Dependentes do fogo (resistentes ao fogo ou pirofíticos):** nestes ambientes, as espécies evoluíram com queimadas recorrentes, como nas savanas, ecossistemas mediterrâneos, florestas de monções e de sequóias. O fogo é um evento natural, recorrente e por vezes essencial para o funcionamento dos ecossistemas e conservação da biodiversidade. Muitas espécies têm adaptações anatômicas e fisiológicas que conferem resistência ao fogo, como frutos lenhosos ou serotinosos; cascas espessas, e reservas subterrâneas; capacidade de rebrota a partir de estruturas subterrâneas ou aéreas, floração, dispersão ou germinação de sementes favorecidas após a passagem do fogo. Nestes ambientes, a recomposição da vegetação se inicia imediatamente após a ocorrência do fogo. Nestas áreas, alterações no regime de queima, isto é, a exclusão do fogo, aumento de frequência de queima ou mudanças na época de queima podem alterar a composição de espécies e, especialmente, a estrutura da vegetação.
- 4) Influenciados pelo fogo (ecossistemas de transição):** geralmente são vegetações que ficam na transição entre ecossistemas dependentes do fogo e outros sensíveis ao fogo ou independentes do fogo, como floresta tropical seca, floresta esclerófila e vegetações

ripárias ao longo de cursos d'água em savanas e campos tropicais. Nestes ambientes, o fogo geralmente é iniciado em uma vegetação adjacente dependente do fogo, mas também pode acontecer naturalmente por raios ou estar associado a práticas tradicionais de agricultura (corte-queima). Essas vegetações apresentam espécies sensíveis e resistentes ao fogo e, após um evento de fogo, as resistentes geralmente são favorecidas e reestruturam a comunidade após o distúrbio.

Paralelamente, o fogo é usado como ferramenta de manejo para moldar paisagens há milhares de anos (Kilgore & Taylor 1979, Yibarbuk *et al.* 2001, McGregor *et al.* 2010), sendo que a convivência de humanos em paisagens naturais e a sua capacidade de aprendizagem do uso o fogo como instrumento de modificação permitiram avanços sociológicos (grupamento, comportamento, socialização, hierarquização, etc.), biológicos (fisiológicos, morfológicos, anatômicos) e tecnológicos (habitação, energia, instrumentos etc.), resultando no aumento populacional e no desenvolvimento tecnológico da humanidade (Whelan 1995, Pyne *et al.* 1996).

O crescimento da população humana e a crescente demanda por recursos naturais para a sua manutenção têm fragmentado vastas extensões de vegetação natural. Diversas atividades produtivas (agricultura, pecuária), mudanças de uso da terra (desmatamento, urbanização) e implementação de infra-estrutura (estradas, linhas de transmissão) afetam direta ou indiretamente o regime de fogo em virtualmente todas regiões do mundo. Em muitas regiões do mundo, áreas de vegetação naturais estão restritas a Unidades de Conservação (UC), que têm por objetivos conservar a diversidade biológica, manter processos ecossistêmicos e serviços ambientais. Em geral, as alterações mencionadas correspondem a aumento da frequência e mudanças na época de ocorrência de queimadas em relação ao regime natural de queima. Assim, é frequente que queimadas iniciadas fora de UCs se espalhem pelas áreas protegidas, tornando-se incêndios e afetando negativamente a biodiversidade e os processos ecológicos que se pretendia conservar.

Diante deste cenário, há necessidade de identificar objetivos palpáveis de conservação e manejo, não apenas no que tange ao manejo do fogo (Van Wilgen 2013). Devido a ações humanas e dependendo do uso da terra realizado no entorno de áreas com vegetação nativa, em especial de áreas protegidas, o manejo do fogo faz-se necessário em todos os tipos de ambiente. Verifica-se que objetivos de conservação de áreas protegidas em ambientes resistentes ao fogo podem apenas ser atingidos plenamente quando se considera, no planejamento de manejo, o papel ecológico do fogo na manutenção dos processos ecológicos e das paisagens que se pretende conservar. Nestas regiões, a ausência de ações claras de manejo do fogo ou a tentativa de exclusão do fogo podem ter consequências desastrosas. Isto porque o sucesso de exclusão de fogo de uma área por determinado período pode gerar aumento extremo da biomassa combustível, que alterará completamente o comportamento e as consequências de um eventual incêndio (Christensen 2005, Pausas & Keeley 2009, Bradstock *et al.* 2011, Poulos *et al.* 2013). Em áreas em que a exclusão do fogo é eficaz, pode haver mudança no tipo de vegetação e conseqüentemente na estrutura, função e composição de espécies do ambiente que foi originalmente protegido (Christensen 2005, Wigley *et al.* 2009).

Em diversos ecossistemas dependentes do fogo, ações diretas de manejo de fogo são implementadas há várias décadas como parte do manejo de áreas protegidas em alguns países, como Estados Unidos (Schullery 1989, Christensen 2005), África do Sul (Wilgen *et al.* 2007) e, mais recentemente, na Austrália (Andersen *et al.* 1998), Zâmbia (Shea *et al.* 1996), Burkina Faso (Savadoغو *et al.* 2007), entre outros. Esses programas abordam estratégias diversas que incluem a exclusão e o combate ao fogo, a tolerância a queimadas naturais ou antrópicas dentro de determinados limites e o uso de queimas prescritas. Mesmo em regiões em que o manejo do fogo é implementado em larga escala, há décadas, com ações contínuas de monitoramento e realização de pesquisas, certo de grau de incerteza é sempre mantido (Van Wilgen *et al.* 2004). Muitas vezes a influência de pesquisas sobre as decisões de manejo é relativamente limitada e está muito mais explícita na criação de ambientes de aprendizagem (Christensen 2005), trocas de informações e melhoria na qualidade técnica das tomadas de decisão por parte dos gestores (Andersen *et al.* 2005, Govender *et al.* 2006, Van Wilgen *et al.* 2007).

Este artigo tem por objetivos: (i) sintetizar experiências internacionais da implementação de manejo do fogo em outras regiões do mundo, com ênfase em metodologias de pesquisa e de monitoramento em ambientes pirofíticos e, (ii) propor recomendações para implementação de ações de manejo do fogo em UC do Cerrado no Brasil.

Implementação de manejo de fogo

O Manejo Integrado de Fogo (MIF) é uma abordagem utilizada em diferentes continentes do mundo (Kojwang 2000, Canada 2005, Myers 2006, Rego *et al.* 2010, Silva *et al.* 2010). Esta abordagem considera aspectos ecológicos, culturais e de manejo para propor uso de queimas controladas, bem como a prevenção e combate a incêndios, com vistas a garantir a conservação e o uso sustentável de ecossistemas (Myers 2006).

Nos Estados Unidos, o manejo de fogo em UC começou a ser implementado, experimentalmente, na década de 1950, no Parque Nacional de Everglades (Pyne 1982). Desde então, diversos programas de manejo do fogo foram implementados, por meio de tolerância a queimas naturais e/ou utilização de queimas prescritas em diversas outras UC nas décadas subsequentes (Christensen, 2005). Ao longo desses anos, a política de manejo do fogo foi revisada algumas vezes, especialmente em resposta a grandes eventos de incêndios catastróficos que pareciam colocar em cheque a política até então adotada. Christensen (2005) relata a importância da participação de grupos de especialistas, independentes da gestão, neste processo, inclusive para respaldar impressões e aprendizados dos gestores de UC. Princípios básicos foram acordados ao longo destas revisões de políticas: (i) estabelecer e indicar objetivos claros e ponderáveis em relação aos quais o sucesso das ações de manejo do fogo possam ser monitorados; (ii) reconhecer que haverá sempre um grau de incerteza, o que reforça a necessidade de que todo manejo seja adaptativo, e a importância do incentivo à criação de ambientes de aprendizado colaborativos com diferentes atores; (iii) considerar sempre os diferentes atores sociais interessados nas áreas protegidas (visitantes, moradores, vizinhos, etc).

Em alguns casos, o uso do fogo como ferramenta de manejo pode almejar reestabelecer ou restaurar o regime natural de distúrbios (fogo) em determinada paisagem. No entanto, é importante ressaltar que isto raramente é possível, visto que muitas vezes este regime natural não é conhecido ou pode ter sido alterado frequentemente por usos e ocupações humanas históricas das áreas. Os regimes naturais de fogo tendem a ser bastante variáveis (em termos de intensidade, área queimada e épocas de ocorrências de fogo) e podem incluir eventos extremos (Christensen 2005, Knapp *et al.* 2009). Entretanto, as queimadas prescritas são feitas em janelas específicas de condições climáticas e de ambientes, desta forma, diante de tantas incertezas e variações das condições naturais, 'restaurar o regime original de queimadas' não é um objetivo mensurável (Driscoll *et al.* 2010). Christensen (2005) destaca a importância de se ter clareza de que queimadas prescritas são apenas uma ferramenta de manejo e que o fogo em si não deve ser o objetivo de manejo. Portanto, é importante estabelecer objetivos de manejo centrados na manutenção da estrutura e/ou do funcionamento dos ecossistemas que se pretende manejar. As consequências e benefícios do uso do fogo como ferramenta de manejo devem ser monitorados, com base nos objetivos propostos e adaptados sempre que necessário com apoio do conhecimento disponível.

Outro ponto importante para o planejamento e implementação de programas de manejo de fogo está em considerar a ocorrência de espécies exóticas invasoras. Isto porque muitas espécies invasoras, especialmente gramíneas africanas, extremamente comuns no Cerrado, inclusive em UCs (Pivello *et al.* 1999, Sampaio & Schmidt 2013), alteram regimes de fogo e podem se beneficiar da ocorrência de queimadas (D'Antonio & Vitouseck 1992) e alterar a composição e o funcionamento de ecossistemas (Corbin & D'Antonio 2004). Diversos autores apontam para a importância de considerar as espécies invasoras para a realização de todo e qualquer planejamento de manejo para a conservação em UCs (Grace *et al.* 2004, Christensen 2005, Baele *et al.* 2013).

Papel de pesquisa e monitoramento em programas de manejo de fogo

Estudos e programas de monitoramento de manejo de fogo mostram que, em ambientes pirofíticos, as espécies tendem a ter respostas diferentes a diferentes regimes de fogo (Knapp *et al.* 2009, Van Wilgen *et al.* 2013). As respostas das plantas a uma determinada queima ou regime de queima dependem, por exemplo, do estado fenológico ou reprodutivo das espécies em relação à época de fogo (Knapp *et al.* 2009), há maior mortalidade de plantas quando estas são atingidas pelo fogo quando estão investindo em reprodução (Sato 2003, Miranda 2010, Schmidt *et al.* 2005). Visto que o fogo é um fator que influenciou a evolução de espécies em ambientes pirofíticos e que, de forma geral, há grande variação nas características de queimadas naturais, é de se esperar que existam variações nas respostas ao fogo entre diferentes espécies, entre indivíduos em diferentes estágios de vida (filhotes e plântulas vs. adultos), em especial de diferentes grupos taxonômicos (aves, mamíferos, plantas, etc). Por isto, uma recomendação bastante frequente é que programas de manejo de fogo não sejam constituídos por apenas um tipo de queimada e que favoreçam a formação de mosaicos de queimas em diferentes épocas e intervalos na paisagem (Bradstock *et al.* 1995, Keith *et al.* 2002, Van Wilgen *et al.* 2003, Burrows & Wardell-Johnson 2004). Mesmo que não seja possível estabelecer tais mosaicos de queima, a existência de áreas queimadas há diferentes intervalos beneficia a ocorrência de maior diversidade de espécies em comparação com áreas queimadas de forma homogênea (Parr & Andersen 2006).

Diversos estudos (revisados por Knapp *et al.* 2009) indicam que de forma geral, a ocorrência de uma queimada não altera a composição de espécies em ambientes pirofíticos. No entanto, a repetição constante de um mesmo tipo de queimada (por ex. mesma época) em um programa de manejo de fogo pode ser prejudicial para uma parte da biota.

O estabelecimento de programas de manejo de fogo muitas vezes visa evitar perdas de biodiversidade. Na prática, no entanto, programas de pesquisa e monitoramento são implementáveis apenas para um número reduzido de espécies ou grupos indicadores (Driscoll *et al.* 2010). Os indicadores usados para acompanhamento de programas de manejo de fogo variam entre regiões. Dentre indicadores comumente reportados, pode-se citar o monitoramento, via sensoriamento remoto, de áreas queimadas, épocas e locais de ocorrência de queimadas (manejadas ou não) e o monitoramento da estrutura da vegetação, especialmente vegetação arbórea. Dentre os grupos animais, aves, insetos e pequenos e grandes mamíferos são os grupos mais comumente acompanhados em áreas de manejo do fogo. É comum também, o monitoramento de espécies de interesse específico (espécies ameaçadas, bandeira, espécies-chave ou de interesse comercial/cultural). Comumente, o monitoramento e as decisões de manejo são tomados com base em poucas espécies ou parâmetros (ex. estrutura da vegetação, ou seja, continuidade do estrato herbáceo-graminoso, densidade de árvores, cobertura de dossel e altura de copa) de interesse.

Em algumas regiões, há indicações de que a implementação de manejo de fogo não necessariamente muda parâmetros como a ocorrência de incêndios, área queimada ou mesmo época de queima em escala de paisagem (Shilsky *et al.* 2008). Outros estudos indicam o sucesso de programas de manejo em alterar época de maior frequência de fogo e/ou área queimada (van Wilgen *et al.* 2007).

A seguir, apresentamos revisões, não exaustivas, de artigos e relatórios que analisam as pesquisas e formas de monitoramento e suas influências sobre os programas de manejo de fogo implementados em escala de paisagem no continente Africano e na Austrália. Estas duas regiões foram escolhidas por suas maiores semelhanças ecológicas com o Cerrado, em relação a outras regiões do mundo onde programas de manejo de fogo são implementados e bem monitorados, como nos Estados Unidos.

Estudos de caso – programas de manejo no sul da África

A região sul da África (959.000 km²), conta com uma rede bem estabelecida de áreas protegidas, sob a forma de parques, reservas, florestas e áreas de manejo, sendo o Parque Kruger, com cerca de 20.000 km², a área protegida com mais estrutura e extensão. Neste Parque, em 1954, foi implementado o primeiro projeto de pesquisa de longo prazo para avaliar os efeitos de diferentes regimes de queima na vegetação (Biggs *et al.* 2003, Govender 2006, Van Wilgen 2007; 2012), associados a diferentes políticas de manejo de fogo (Van Wilgen *et al.* 2004). Para o experimento, foram selecionadas quatro tipos de paisagens representativas do parque e estabelecidos, inicialmente, sete tratamentos (áreas sem fogo, áreas queimadas anualmente em agosto e queimas bienais em agosto, outubro, dezembro, fevereiro e abril). Posteriormente, foram implementados tratamentos com queimas trienais, nos mesmos meses dos tratamentos bienais, e a partir de 1974 incorporados mais dois tratamentos queimas quadrienais e sexenais. Cada tratamento foi replicado quatro vezes em cada tipo de vegetação em parcelas de aproximadamente 7 hectares (Govender *et al.* 2006).

O Projeto produziu, até 2014, mais de 50 artigos científicos sobre impactos de diferentes regimes e intensidades de fogo na vegetação (Trollope *et al.* 1995, Higgins *et al.* 2000, Govender *et al.* 2006) e na fauna (Kern 1981, Parr *et al.* 2003, Mills 2004). Além de artigos de revisão, inclusive questionando o desenho experimental devido à pouca aleatoriedade e representatividade dos tratamentos, onde algumas variáveis não foram totalmente consideradas, como a herbivoria (Trollope *et al.* 1998, Collins *et al.* 1998, Staver *et al.* 2004), a instalação de reservatórios artificiais de água ou o tipo de solo, que podem alterar significativamente os resultados (Biggs *et al.* 2003).

Apesar de um dos objetivos primordiais do estabelecimento destes experimentos de longo prazo ter sido fomentar decisões de manejo do fogo em savanas na África do Sul, os resultados obtidos em pesquisas nestes experimentos tiveram pouca influência nas decisões de manejo de fogo no Parque e no país. Isto se deveu, sobretudo, ao fato de o experimento não considerar variabilidade temporal e espacial das queimadas e usar regimes de fogo com épocas e frequências de queima fixas, não testando, portanto, questões relevantes para o manejo (Van Wilgen *et al.* 2007).

Mesmo diante deste aparente fracasso de experimentos de pesquisa em influenciar a gestão e o manejo de fogo em áreas protegidas, a existência deste grande conjunto de dados e o intercâmbio de informações entre pesquisa e manejo tem melhorado o conhecimento técnico e a capacidade de decisões relativas ao manejo (Van Wilgen *et al.* 2007). Por exemplo, o Parque Nacional Kruger é pioneiro no uso de queimadas de alta intensidade, em larga escala, com o objetivo de matar árvores e manter áreas de vegetação aberta para favorecer o pastoreio de grandes herbívoros (Van Wilgen 2012). Os gestores têm cotas estabelecidas de áreas mínimas que devem ser queimadas com fogos de alta intensidade, que são iniciados em condições extremas (>30°C; <30% umidade e mais de 30 dias sem chuva, Geldenhuys 2004). Possivelmente, os dados gerados nos experimentos iniciados em 1954 e a experiência adquirida com sua realização contribuíram para a inserção, no programa de manejo de fogo do parque, de queimas em condições extremas, que podem fazer parte do regime natural de fogo, mas raramente são implementadas (Christensen 2005, Knapp *et al.* 2009, Van Wilgen *et al.* 2013).

Outros projetos desenvolvidos na região sul da África têm contribuído direta ou indiretamente com a implementação de programas de manejo do fogo, como ‘The Savana Biome Project’ (Scholes & Walker 1993); estudos dos efeitos dos grandes herbívoros na savana (Trollope *et al.* 1994; 1998, Higgins *et al.* 2000) e o Projeto ‘Southern African Fire Atmosphere Research Initiative’ (SAFARI – 92), que utilizou o desenho experimental de longo prazo para estudar a queima da biomassa e seus efeitos na composição química da atmosfera (Andreae *et al.* 1996, Lacaux *et al.* 1996, Levine *et al.* 1996, Parsons *et al.* 1996, Shea *et al.* 1996, Ward *et al.* 1996). Destaca-se a contribuição destas iniciativas no aprimoramento do manejo adaptativo e na compreensão do funcionamento dos ecossistemas em que estão inseridos (Van Wilgen *et al.* 2007).

Como diretrizes gerais, novas estratégias de manejo têm sido discutidas com o objetivo de fomentar a heterogeneidade e a variabilidade de queimadas (Van Wilgen *et al.* 2007), por meio de queima em mosaico para atingir objetivos de manejo (Bradstock *et al.* 2005). Neste contexto, Beale *et al.* (2013) listam dez importantes lições e sugestões de melhorias sobre o manejo em savanas africanas. Dentre estas, destacam-se: (i) a importância de considerar limites ecológicos (e não políticos ou de UCs) para o planejamento territorial; (ii) a necessidade de envolvimento e estabelecimento de boas relações das UCs com as populações humanas no seu interior e entorno, especialmente no que tange ao planejamento de usos da terra e; (iii) a importância de interações adequadas entre pesquisadores e gestores para o avanço do planejamento e implementação de ações efetivas de manejo.

Estudos de caso – programas de manejo na Austrália

Estudos sobre manejo de fogo na Austrália concentram-se na região norte do país, onde estão concentradas as UC com vegetação savânica tropical e sub-tropical. A maioria dos estudos está baseada no estabelecimento de parcelas permanentes, para estudos de longo prazo. Os principais estudos buscam compreender alterações na estrutura da vegetação e na riqueza e abundância de espécies animais em resposta a queimas precoces (início da estação seca) e queimas tardias (final da estação seca) (Edwards *et al.* 2001, Williams *et al.* 2003, Andersen *et al.* 2005, Murphy & Bowman 2007, Russell-Smith *et al.* 2010, Inkster-Draper *et al.* 2013).

Assim como em outras regiões, os estudos na Austrália estão centrados em espécies-chave e outros indicadores ecológicos (Yates & Russell-Smith 2003, Andersen *et al.* 2005, Petty & Bowman 2007, Murphy *et al.* 2010, Legge *et al.* 2011). O tamanho das parcelas de amostragem varia de acordo com o grupo estudado (Legge *et al.* 2008, McGregor *et al.* 2010) e, no caso de estudos com espécies animais, a paisagem manejada é, em geral, considerada como unidade amostral dos experimentos (Andersen *et al.* 2005, McGregor *et al.* 2010, Murphy *et al.* 2010). Muitos destes estudos, no entanto, relatam levantamentos de campo realizados logo após as queimas, avaliando apenas as respostas de curto prazo à ocorrência de queimadas. Foram identificados efeitos positivos de queimas precoces em relação a queimas tardias ou à exclusão do fogo sobre a diversidade de morcegos (microquirópteros, Inkster-Draper *et al.* 2013); insetos e pequenos mamíferos (Andersen *et al.* 2005); aves, répteis e mamíferos (Legge *et al.* 2008); além de plantas (Legge *et al.* 2011) e animais importantes como recursos alimentares para comunidades humanas, como tartarugas e patos (McGregor *et al.* 2010). Poucos estudos avaliaram concomitantemente animais e plantas (Andersen *et al.* 2005, Murphy & Bowman 2007).

Além de acompanhamento das respostas da biota a diferentes regimes de queima, destaca-se o uso de ferramentas de geoprocessamento para a caracterização de regimes de queima na paisagem em regiões nas quais programas de manejo de fogo foram implementados. Por exemplo, a avaliação de séries históricas (20 anos) de imagens de satélite Landsat para caracterização de regimes de queimas em áreas com diferentes tipos de manejo por fazendeiros e/ou comunidades tradicionais aborígenes (Edwards *et al.* 2001, Yates & Russell-Smith 2003, Vigilante *et al.* 2004) e no interior e entorno de UC (Edwards *et al.* 2001, Petty & Bowman 2007).

Finalmente, destacam-se, na Austrália, a implementação de programas de manejo de fogo com queimas precoces como estratégia de mitigação e redução de emissões de gases de efeitos estufa (GEE) (Whitehead *et al.* 2008, Bradstock *et al.* 2009, Price *et al.* 2012). Neste caso, o manejo do fogo pode ser financiado por meio da compra de créditos de carbono no mercado voluntário, contribuindo também com a conservação de áreas naturais (Douglas *et al.* 2011). O primeiro projeto a implementar ações de manejo tradicional de fogo (com base nos conhecimentos e práticas aborígenes) para gerar créditos de carbono foi o Western Arnhem Land Fire Agreement (WALFA) em 2006. O projeto foi financiado pelo governo Australiano e envolveu proprietários de terra aborígenes. Estimativas de redução de GEE devido à redução de



ocorrência de incêndios tardios são feitas por meio de modelos parametrizados que contabilizam as diferenças de emissões e consumo de combustível durante queimas precoces e tardias, considerando também o intervalo entre queimas e o regime de chuvas em cada região e período de tempo (Russel-Smith *et al.* 2009).

Recomendações para implementação de Manejo Integrado e Adaptativo do fogo em UCs do Cerrado

O programa piloto de implementação de manejo de fogo no Cerrado, iniciado em 2014 em algumas UC, representa um enorme avanço para o manejo de UC e a conservação de áreas de vegetação nativa de Cerrado. A partir das experiências de outros países revisadas neste estudo, levantamos a seguir alguns pontos-chave a serem considerados no processo de implementação de um programa de manejo integrado e adaptativo do fogo em UCs no Cerrado:

- 1) A incerteza é parte integrante de todo manejo, em especial manejo de fogo, uma vez que se trata, na realidade, do manejo de um regime de distúrbio que é naturalmente variável. Assim como nenhum evento de fogo é igual a outro, nenhum programa de manejo de fogo pode ter todos seus efeitos completamente previstos.
- 2) A seleção de objetivos claros e palpáveis é essencial para que programas de manejo de fogo possam ser monitorados, avaliados e adaptados com vistas à melhoria na sua eficiência.
- 3) Nem sempre os objetivos de programas de manejo são alcançados no curto prazo, como mostram estudos em várias regiões com décadas de experiência em manejo de fogo. No entanto, este não deve ser motivo para retrocessos e abandono das iniciativas de manejo, mas sim da adaptação e monitoramento continuado das ações implementadas.
- 4) Inicialmente, programas de manejo tendem a ser centrados na implementação de ações mais seguras, como queimas prescritas de baixa intensidade, no início da estação seca. Estas não devem ser as únicas formas de manejo implementadas em longo prazo, pois regimes de queima fixos tendem a ser danosos para a composição e funcionamento de ecossistemas. No entanto, apenas o exercício da prática do manejo e seu monitoramento podem levar à possibilidade de implementação de ações mais complexas, ainda que controversas, que sejam também desejáveis como parte de um programa de manejo de fogo.
- 5) A comunicação com a sociedade (perto e longe das UCs) é essencial para o sucesso de todo e qualquer processo de manejo.
- 6) A integração entre pesquisa aplicada e o manejo, possibilitando a criação de ambientes de troca e aprendizagem entre gestores e pesquisadores, pode contribuir significativamente para o avanço e a implementação de programas efetivos de manejo. Isto pode, inclusive, possibilitar que a experiência e as lições aprendidas em outros países sejam aproveitadas para o Cerrado.

Referências bibliográficas

Andersen, A.N.; Cook, G.D.; Corbett, L.K.; Douglas, M.M.; Eager, R.W.; Russell-Smith, J.; Setterfield, S.A.; Williams, R.J. & Woinarski, J.C.Z. 2005. Fire frequency and biodiversity conservation in Australian tropical savannas: implications from the Kapalga fire experiment. **Austral Ecology**, 30: 155-167.

Andreae, M.O., Atlas, E.; Harris, G.W.; Helas, G.; Kock, A.D.; Koppmann, R. & Welling, M. 1996. Methyl halide emissions from savanna fires in southern Africa. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, 101: 23603-23613.

Beale, C.M.; Van Rensberg, S.; Bond, W.J.; Coughenour, M.; Fynn, R.; Gaylard, A.; Grant, R.; Harris, B.; Jones, T.; Mdumai, S.; Owen-Smith, N. & Sinclair, A.R.E. 2013. Ten lessons for the conservation of African savannah ecosystems. **Biological Conservation**, 167: 224-232.

Bond, W.J.; Woodward, F.I. & Midgley, G.F. 2005. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New Phytologist**, 165: 525-538.

Bradstock R.A. & Auld, T.D. 1995. Soil temperatures during experimental bushfires in relation to fire intensity: consequences for legume germination and fire management in south-eastern Australia. **Journal of applied Ecology**, 32: 76-84.

Bradstock, R.A.; Bedward, M.; Gill, A.M. & Cohn, J.S. 2005. Which mosaic? A landscape ecological approach for evaluating interactions between fire regimes, habitat and animals. **Wildlife Research**, 32: 409-423.

Bradstock, R.A. & Richard J.W. 2009. Can Australian fire regimes be managed for carbon benefits?. **New Phytologist**, 183: 931-934.

Bradstock, R.A.; Bedward, M.; Scott, J. & Keith, D.A. 2011. Simulation of the Effect of Spatial and Temporal in Fire Regimes Variation on the Population Viability of a Banksia Species. **Conservation Biology**, 10: 776-784.

Burrows, N.D. & Wardell-Johnson, G. 2004. **Implementing fire mosaics to promote biodiversity and reduce the severity of wildfires in south-western Australian ecosystems**. Proceedings of the 11th Annual AFAC conference and inaugural Bushfire CRC conference. Bushfire CRC, Melbourne, Australia.

Canada, N.R. 2005. **Canadian wildland fire strategy: A vision for an innovative and integrated approach to managing the risks**. Canadian Forest Service.

Christensen, N.L. 2005. Fire in the Parks: A Case Study for Change Management. **The George Wright Forum**, 22: 12-31.

D'Antonio, C.M. & Vitousek, P.M. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass-fire cycle, and global change. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 23: 63-87.

Douglass, L.L.; Possingham, H.P.; Carwardine, J.; Klein C.J.; Roxburgh S.H. & Russell-Smith, J. 2011. The Effect of Carbon Credits on Savanna Land Management and Priorities for Biodiversity Conservation. **PLoS ONE**, 6:23843. doi:10.1371/journal.pone.0023843

Driscoll, D.A.; Lindenmayer, D.B.; Bennett, A.F.; Bode, M.; Bradstock, R.A.; Cary, G.J.; Clarke, M.F.; Dexter, N.; Fensham, R.; Friend, G.; Gill, M.; James, S.; Kay, G.; Keith, D.A.; MacGregor, C.; Russell-Smith, J.; Salt, D.; Watson, J.E.M.; Williams, R.J. & York, A. 2010. Fire management for biodiversity conservation: Key research questions and our capacity to answer them. **Biological Conservation**, 143: 1928-1939.

Edwards, A.; Hauser, P.; Anderson, M.; McCartney, J.; Armstrong, M.; Thackway, R.; Allan, G.; Hempe, C. & Russell-Smith, J. 2001. A tale of two parks: contemporary fire regimes of Litchfield and Nitmiluk National Parks, monsoonal northern Australia. **International Journal of Wildland Fire**, 10: 79-89.

Geldenhuys, C.J.; Van Wilgen, B.W.; Bond, W.J.; Van de Vijver, C.A.D.M. & De Ronde, C. 2004. Fire effects on the maintenance of biodiversity, soil and nutrients. **Wildland Fire Management Handbook for Sub-Saharan Africa**, 88-113

Govender, N.; Trollope, S.W. & Van Wilgen, B.W. 2006. The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. **Journal of Applied Ecology**, 43: 748-758.

Grace, J.E.; Keeley, J.M.; DiTomaso, R.J.; Pellant, M. & Pyke, V. 2004. Effects of invasive alien plants on fire regimes. **BioScience**, 54: 677-688.

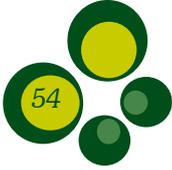
Hardesty, J.; Myers, R. & Fulks, W. 2005. Fire, Ecosystems and People: A Preliminary Assessment of Fire as a Global Conservation Issue. **The George Wright Forum**, 22: 78-87.

- Higgins, S.I.; Bond, W.J. & Trollope, W.S.W. 2000. Fire, resprouting and variability: a recipe for grass – tree coexistence in savanna. **Journal of Ecology**, 88: 213-229.
- Inkster-Draper, T.E.; Sheaves, M.; Johnson, C.N. & Robson, S.K.A. 2013. Prescribed fire in eucalypt woodlands: immediate effects on a microbat community of northern Australia. **Wildlife Research**, 40: 70-76.
- Kern, N.G. 1981. The influence of fire on populations of small mammals of the Kruger National Park. **Koedoe**, 24: 125-157.
- Kilgore, B.M. & Taylor, D. 1979. Fire history of a sequoia-mixed conifer forest. **Ecology**, 60: 129-142.
- Knapp, E.E. 2009. **Ecological effects of prescribed fire season: a literature review and synthesis for managers**. DIANE Publishing, 80p.
- Kojwang, H.O. 2000. **Integrated Forest Fire Management (IFFM) in Namibia**. United Nations, Ministry for Environment and Tourism, Windhoek, Namibia.
- Lacaux, J.P.; Delmas, R.; Jambert, C. & Kuhlbusch, T.A.J. 1996. NO_x emissions from African savanna fires. **Journal of Geophysical Research**, 101: 585-596.
- Legge, S.; Murphy, S.; Heathcote, J.; Flaxman, E.; Augusteyn, J. & Crossman, M. 2008. The short-term effects of an extensive and high-intensity fire on vertebrates in the tropical savannas of the central Kimberley, northern Australia. **Wildlife Research**, 35: 33-43.
- Legge, S.; Murphy, S.; Kingswood, R.; Maher, B. & Swan, D. 2011. EcoFire: restoring the biodiversity values of the Kimberley region by managing fire. **Ecological Management & Restoration**, 12: 84-92.
- Levine J.S.; Winstead, E.L.; Parsons, D.A.B.; Scholes, M.C.; Scholes, R.J.; Cofer, W.R.; Cahoon, D.R. & Sebacher, D.I. 1996. Biogenic soils emissions of nitric oxide (NO) and nitrous dioxide (N₂O) from savannas in South Africa: the impact of wetting and burning. **Journal of Geophysical Research**, 101(19): 23689-23697.
- McGregor, S.; Lawson, V.; Christophersen, P.; Kennet, R.; Boyden, J.; Bayliss, P.; Liedloff, A.; McKaige, B. & Andersen, A.N. 2010. Indigenous wetland burning: conserving natural and cultural resources in Australia's World Heritage-listed Kakadu National Park. **Human Ecology**, 38: 721-729.
- Mills, A.J. & Fey, M.V. 2004. Frequent fires intensify soil crusting: physicochemical feedback in the pedoderm of long-term burn experiments in South Africa. **Geoderma**, 121: 45-64
- Miranda, H.S.; Neto, W.N. & Neves, B.M.C. 2010. Caracterização das queimadas de Cerrado. In: H.S. Miranda (ed.) **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: resultados do Projeto Fogo**. Ibama, 23-34.
- Murphy, B.P. & Bowman, D.M.J.S. 2007. The interdependence of fire, grass, kangaroos and Australian Aborigines: a case study from central Arnhem Land, northern Australia. **Journal of Biogeography**, 34: 237-250.
- Murphy S.A.; Legge, S.M.; Heathcote, J. & Mulder, E. 2010. The effects of early and late-season fires on mortality, dispersal, physiology and breeding of red-backed fairy-wrens (*Malurus melanocephalus*). **Wildlife Research**, 37: 145-155.
- Myers, R. 2006. **Living with Fire—Sustaining Ecosystems & Livelihoods Through Integrated Fire Management**. The Nature Conservancy, 28p.
- Parr, C.L. & Chown, S.L. 2003. Burning issues for conservation: a critique of faunal fire research in Southern Africa. **Austral Ecology**, 28: 384-395.
- Parr, C.L. & Andersen, A.N. 2006. Patch Mosaic Burning for Biodiversity Conservation: a Critique of the Pyrodiversity Paradigm. **Conservation Biology**, 20: 1610-1619.
- Parsons, D.A.B.; Scholes, M.; Scholes, R.J. & Levine, J.S. 1996. Biogenic NO emission from savanna soils as a function of fire regime, soil type, soil nitrogen and water status. **Journal of Geophysical Research**, 101(19): 23683-23688.
- Pausas, J.G. & Keeley, J.E. 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. **BioScience**, 59: 593-601.

- Pereira, P.; Mierauskas, P.; Úbeda, X.; Mataix-Solera, J. & Cerda, A. 2012. Fire in Protected Areas – the Effect of Protection and Importance of Fire Management. **Environmental Research, Engineering and Management**, 1: 52-62.
- Petty, A.M. & Bowman, D.M.J.S. 2007. A satellite analysis of contrasting fire patterns in Aboriginal and Euro-Australian lands in tropical north Australia. **Fire Ecology**, 3: 33-47.
- Pivello, V.R. & Norton, G.A. 1996. FIRETOOL: an expert system for the use of prescribed fire in Brazilian savannas. **Journal of Applied Ecology**, 33: 348-356.
- Poulos, H.M.; Díaz, J.V.; Paredes, J.C.; Camp, A.E. & Gatewood, R.G. 2013. Human influences on fire regimes and forest structure in the Chihuahuan Desert Borderlands. **Forest Ecology and Management**, 298: 1-11.
- Price, O.F.; Russell-Smith, J. & Watt, F. 2012. The influence of prescribed fire on the extent of wildfire in savanna landscapes of western Arnhem Land, Australia. **International Journal of Wildland Fire**, 21: 297-305.
- Pyne, S.J. 1995. **World fire – the culture of fire on earth**, Henry Holt and Company. New York. 408p.
- Pyne, S.J.; Andrews, P.L. & Laven, R.D. 1996. **Introduction to wildland fire**. 2 ed. John Wiley & Sons, 808p.
- Ramos-Neto, M.B. & Pivello, V.R. 2000. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, 26: 675-684.
- Rego, F.; Rigolot, E.; Fernandes, P.; Montiel, C. & Silva, S.S. 2010. **Towards Integrated Fire Management**. European Forest Institute.
- Rothermel, R.C. 1983. **How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires**. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 161p.
- Russell-Smith, J.; Whitehead, P.J.; Cook, G.D. & Hoare, J.L. 2003. Response of *Eucalyptus*-dominate savanna to frequent fires: lessons from Munmarlary. 1973-1996. **Ecological Monographs**, 73: 349-375.
- Russell-Smith, J. & Whitehead, P.C. 2009. **Culture, Ecology, and Economy of Fire Management in North Australian Savannas: Rekindling the Wurrk Tradition**. Csiro Publishing. 416p.
- Russell-Smith, J. 2009. Improving estimates of savanna burning emissions for greenhouse accounting in northern Australia: limitations, challenges, applications. **International Journal of Wildland Fire**, 18: 1-18.
- Russell-Smith, J.; Price, O.F. & Murphy, B.P. 2010. Managing the matrix: decadal responses of eucalypt-dominated savanna to ambient fire regimes. **Ecological Applications**, 20: 1615-1632.
- Sato, M.N. 2003. **Efeito a longo prazo de queimadas prescritas na estrutura de comunidade de lenhosas da vegetação do cerrado sensu stricto**. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília, DF. 84p.
- Savadogo, P.; Zida, D.; Sawadogo, L.; Tiveau, D.; Tigabu, M. & Odén, P.C. 2007. Fuel and fire characteristics in savanna-woodland of West Africa in relation to grazing and dominant grass type. **International Journal of Wildland Fire**, 16: 531-539.
- Schmidt, I.B.; Sampaio, A.B. & Borghetti, F. 2005. Efeitos da época de queima sobre a reprodução sexuada e estrutura populacional de *Heteropterys pteropetala* (Adr. Juss.), Malpighiaceae, em áreas de Cerrado sensu stricto submetidas a queimas bienais. **Acta Botanica Brasilica**, 19: 927-934.
- Scholes, R.J. & Walker, B.H. 1993. **An African Savanna: Synthesis of the Nylsvley Study**. Cambridge University Press. 320p.
- Schullery, P. 1989. The Fires and Fire Policy. **BioScience**, 39: 686-694.
- Scott, K.; Setterfield, S.A.; Douglas, M.M.; Parr, C.I.; Schatz, J. & Andersen, A.N. 2012. Does long-term fire exclusion in an Australian tropical savanna result in a biome shift? A test using the reintroduction of fire. **Austral Ecology**, 37: 693-711.
- Shea, R.W.; Shea, B.W. & Kauffman, J.B. 1996. Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia. **Journal of Geophysical Research**, 101: 23551-23568.



- Shlisky, A.; Waugh, J.; Gonzales, P.; Gonzales, M.; Manta, M.; Santoso, H.; Alvarado, E.; Nuruddin, A.A.; Rodríguez-Trejo, D.A.; Swaty, R.; Schmidt, D.; Kaufmann, M.; Myers, R.; Alencar, A.; Kearns, F.; Johnson, D.; Smith, J. & Zollner, D. 2007. **Fire, ecosystems and people: Threats and strategies for global biodiversity conservation**. GFI Technical Report. The Nature Conservancy.
- Shlisky, A.; Meyer, R.; Waugh, J. & Blankenship, K. 2008. Fire, Nature, and Humans: Global Challenges for Conservation. **Fire Management Today**, 68(4): 36-42.
- Silva, J.S.; Rego, F.; Fernandes, P. & Rigolot, E. 2010. **Towards Integrated Fire Management – Outcomes of the European Project Fire Paradox**. European Forest Institute Reports, 244p.
- Simon, M.F.; Grether, R.; Queiroz, L.P.; Skema, C.; Pennington, T. & Hughes, C.E. 2009. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **PNAS**, 106: 20359-20364.
- Simon, M.F. & Pennington, T. 2012. Evidence for Adaptation to Fire Regimes in the Tropical Savannas of the Brazilian Cerrado. **International Journal of Plant Sciences**, 173: 711-723.
- Trollope, W.S.W. 1998. **Effect and Use of Fire in the Savanna Areas of Southern Africa**. Department of Livestock and Pasture Science, Faculty of Agriculture, University of Fort Hare.
- Trollope, W.S.W. 1999. **Fire behaviour**. Veld Management in South Africa (ed. N.M. Tainton). University of Natal Press.
- Van Wilgen, B.W.; Trollope, W.S.W.; Biggs, H.C.; Potgieter, A.L.F. & Brockett, B.H. 2003. Fire as a driver of ecosystem variability. p. 149-170. *In: The Kruger Experience: Ecology and Management of Savanna Heterogeneity*. (Eds J. du Toit; K.H. Rogers; H.C. Biggs). Island Press, 536p.
- Van Wilgen, B.W.; Govender, N.; Biggs, H.; Ntsala, D. & Funda, X.N. 2004. Response of savanna fire regimes to changing fire-management policies in large African National Park. **Conservation Biology**, 18: 1533-1540.
- Van Wilgen, B.W.; Govender, N. & Biggs, H. 2007. The contribution of fire research to fire management: a critical review of a long-term experiment in the Kruger National Park, South Africa. **International Journal of Wildland Fire**, 16: 519-530.
- Van Wilgen, B.W.; Forsyth, G.G. & Prins, P. 2012. The Management of Fire-Adapted Ecosystems in an Urban Setting: the Case of Table Mountain National Park, South Africa. **Ecology and Society**, 17: 8.
- Van Wilgen, B.W. 2013. Fire management in species-rich Cape fynbos shrublands. **Frontiers Ecology and Environmental**, 11: 34-44.
- Vigilante, T.; Bowman, D.M.J.S.; Fisher, R.; Russell-Smith, J. & Yates, C. 2004. Contemporary landscape burning patterns in the far North Kimberley region of north-west Australia: human influences and environmental determinants. **Journal of Biogeography**, 31: 1317-1333.
- Ward, D.E. 1996. Effect of fuel composition on combustion efficiency and emission factors for African savanna ecosystems. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 101: 23569-23576.
- Werner, P.A. 2012. Growth of juvenile and sapling trees differs with both fire season and understorey type: Trade-offs and transitions out of the fire trap in an Australian savanna. **Austral Ecology**, 37: 644-657.
- Whelan, R.J. 1995. **The ecology of fire**. Cambridge University Press, 349p.
- Wigley, B.J.; Bond, W.J. & Hoffman, M.T. 2009. Bush encroachment under three contrasting land-use practices in a mesic South African savanna. **African Journal of Ecology**, 47: 62-70.
- Williams, R.J.; Woinarski, J.C.Z. & Andersen, A.N. 2003. Fire experiments in northern Australia: contributions to ecological understanding and biodiversity conservation in tropical savannas. **International Journal of Wildland Fire**, 12: 391-402.
- Whitehead, P.J.; Purdon, P.; Russell-Smith, J.; Cooke, P.M. & Sutton, S. 2008. The management of climate change through prescribed Savanna burning: Emerging contributions of indigenous people in Northern Australia. **Public Admin. Dev.**, 28: 374-385.



Yates, C. & Russell-Smith, J. 2003. Fire regimes and vegetation sensitivity analysis: an example from Bradshaw Station, monsoonal northern Australia. **International Journal of Wildland Fire**, 12: 349-358.

Yibarbuk, D.; Whitehead, P.J.; Russell-Smith, J.; Jackson, D.; Godjuwa, C.; Fisher, A.; Cooke, P.; Choquenot, D. & Bowman, D.M.J.S. 2001. Fire ecology and aboriginal land management in Central Arnhem Land, Northern Australia: a tradition of ecosystem management. **Journal of Biogeography**, 28: 325-343.

Revista Biodiversidade Brasileira – BioBrasil. 2016, n. 2.

<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/issue/view/44>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886