

A Importância da Consideração de Espécies Invasoras no Manejo Integrado do Fogo

Elizabeth Gorgone-Barbosa¹, Vânia Regina Pivello², Mariana Ninno Rissi¹, Talita Zupo¹ & Alessandra Fidelis¹

Recebido em 03/07/2015 – Aceito em 11/09/2015

RESUMO – As invasões biológicas estão entre as principais ameaças à biodiversidade e conservação de ecossistemas no mundo. As invasões por plantas podem alterar as propriedades do material combustível, afetando o comportamento do fogo e, conseqüentemente, o regime de queima por meio de mudanças na sua frequência, época, intensidade, severidade, tipo e extensão. No Brasil, várias espécies de gramíneas africanas tornaram-se invasoras dos Cerrados, onde o fogo é um fator ecológico importante e está presente há pelo menos 10 milhões de anos. Pretendemos aqui discutir as implicações da presença de gramíneas invasoras no comportamento do fogo e regime de queima, reunindo as informações existentes até o momento e incluindo alguns resultados de nossos experimentos com queimadas controladas em área invadida por gramíneas africanas na Reserva Natural Serra do Tombador (Goiás). Com isso, buscamos levantar informações para discutir e subsidiar um manejo integrado do fogo em ambientes de Cerrado.

Palavras-chave: Cerrado; comportamento do fogo; gramínea africana; regime de fogo; *Urochloa brizantha*.

ABSTRACT – Biological invasions are among the greatest threats to ecosystems biodiversity and conservation worldwide. Invasive plant species can affect ecosystems by changing fuel properties, affecting fire behavior, and possibly altering fire regimes through changes in fire type, frequency, season, intensity, severity and extension. In Brazil, many African grasses have become invasive in the Cerrado (Brazilian savanna), where fire is an important ecological factor and has been present for at least 10 million years. We intend to discuss how the presence of invasive plant species may affect fire behavior and regimes by gathering the information so far available and including some results from a prescribed burn experiment we are carrying out in Central Brazil (Goiás State). We then expect to bring up information to support integrated management plans in the Cerrado reserves.

Keywords: African grasses; Cerrado; fire behavior; fire regime; *Urochloa brizantha*.

RESUMEN – Las invasiones biológicas son consideradas una de las principales amenazas de la diversidad y la conservación de los ecosistemas del mundo. Las invasiones por plantas pueden alterar las propiedades del material combustible, afectando el comportamiento del fuego y posiblemente alterando su régimen natural a través de cambios en la frecuencia, época del año, intensidad, severidad, tipo y extensión. En Brasil, varias especies de gramíneas africanas se convirtieron en las principales invasoras del Cerrado, donde el fuego es un factor ecológico importante y está presente hace por lo menos 10 millones de años. De esta

Afiliação

¹ Departamento de Botânica, Universidade Estadual Paulista, Av. 24 A, 1515, Rio Claro/SP, CEP: 13506-900.

² Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação, Rua do Matão, 321, Trav.14, São Paulo/SP CEP: 05508-900.

E-mails

elizabethgorgone@yahoo.com.br, vrpivel@ib.usp.br, mariananinno@yahoo.com.br, talita.zupo@gmail.com, afidelis@rc.unesp.br

maneira, discutimos las implicaciones de la presencia de estas gramíneas en la conducta y régimen de fuego, reuniendo la información existente hasta el momento, incluyendo algunos resultados de un experimento con quemas controladas en una área invadida en la Reserva Natural de la Sierra Tombador, Goiás. Con esto intentamos colectar la información para discutir y apoyar un manejo integrado del fuego en los ambientes del Cerrado.

Palabras clave: Cerrado; comportamiento del fuego; gramíneas africanas; régimen del fuego; *Urochloa brizantha*.

Introdução

Espécies invasoras são um sinônimo de degradação do habitat nativo, normalmente impedindo o restabelecimento das espécies nativas em áreas invadidas (Ogden & Rejmánek 2005) e produzindo alterações significativas na composição, estrutura e processos dos ecossistemas naturais, inclusive nos regimes e intensidades do fogo (D'Antonio & Vitousek 1992, Crock & Fuller 1995).

O Cerrado é a savana tropical mais rica em espécies vegetais (Silva & Bates 2002), sendo considerado um *hotspot* de biodiversidade (Myers *et al.* 2000). Apesar da grande perda de área devido ao avanço da frente agrícola, as maiores ameaças atuais ao Cerrado são a invasão biológica, principalmente por gramíneas africanas, e a mudanças no regime do fogo devido a queimadas não controladas (Klink & Machado 2005, Durigan *et al.* 2007, MMA 2009). Desta forma, a compreensão dos processos de invasão, da relação de gramíneas invasoras com o fogo e seus impactos na vegetação nativa, assim como a busca de alternativas eficientes para o manejo de invasoras e queimadas descontroladas é de extrema importância para o controle dos decorrentes impactos nas áreas remanescentes de Cerrado.

Pretendemos aqui discutir as implicações da presença das principais espécies invasoras do Cerrado – gramíneas africanas – nos parâmetros e regimes de fogo, e também como o fogo pode afetá-las, a fim de subsidiar o manejo integrado do fogo em ambientes de cerrado. Faremos uma breve revisão das informações disponíveis até o momento e discutiremos também os resultados encontrados em nossos experimentos de queimadas controladas em áreas invadidas por *Urochloa brizantha* na Reserva Natural Serra do Tombador, Goiás.

Invasões biológicas e o Cerrado

Diversos ecossistemas do mundo encontram-se hoje muito descaracterizados e degradados devido a processos de invasão biológica e, por isso, a invasão biológica é considerada uma das maiores ameaças à biodiversidade (Sheil 2001). Os impactos negativos decorrentes da dominância de espécies invasoras podem ocorrer em diferentes níveis ecológicos e promover mudanças nas espécies, comunidades e/ou ecossistemas (Byers *et al.* 2000, Vilà *et al.* 2010, Vilà *et al.* 2011).

Plantas invasoras costumam atingir altas densidades e dominância na comunidade invadida, produzindo alterações significativas na composição, estrutura e processos dos ecossistemas naturais (Cronk & Fuller 1995, Vilà *et al.* 2011). São também capazes de modificar características do solo, a ciclagem de diversos nutrientes, a produtividade, a disponibilidade de luz e de água, o microclima e a dinâmica de distúrbios, especialmente do fogo (D'Antonio & Vitousek 1992, Hughes & Vitousek 1993, Mack *et al.* 2000). Sabe-se que, dentre os impactos causados por espécies invasoras, a alteração no regime de fogo é um dos mais significativos quanto à alteração dos ecossistemas invadidos (Brooks *et al.* 2004, D'Antonio 2000).

Embora as invasões biológicas sejam fenômenos mundiais bastante preocupantes, poucos estudos foram desenvolvidos em ambientes tropicais, sendo que cerca de 7% dos estudos mundiais sobre invasão biológica foram realizados nas Américas do Sul e Central (Pauchard *et al.* 2004, Petenon & Pivello 2008). A escassez de dados sobre os trópicos atinge todos os processos

relacionados à invasão, desde a fase de diagnóstico até o estabelecimento de ações de manejo, passando pela caracterização das espécies invasoras, comunidades e habitats invadidos, bem como a previsão dos impactos por meio de modelos (Petenon & Pivello 2008).

No Cerrado, várias espécies de gramíneas de origem africana foram introduzidas acidentalmente ou para fins forrageiros – destacando-se *Melinis minutiflora* P.Beauv. (capim-gordura), *Urochloa* spp. (braquiárias), *Andropogon gayanus* Kunth, *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf (capim-jaraguá), *Panicum maximum* Jacq. (capim-colonião) – e tornaram-se invasoras, principalmente nas fitofisionomias mais abertas (Pivello *et al.* 1999a, Martins *et al.* 2004) por serem heliófilas e apresentarem metabolismo fotossintético do tipo C4 (Klink & Joly 1989). Atualmente, representam uma grave ameaça à integridade e biodiversidade do Cerrado (Klink 1994, Pivello *et al.* 1999a, 1999b) e a presença dessas gramíneas é quase certa em qualquer unidade de conservação criada para proteger o Cerrado (Pivello *et al.* 1999b).

Pivello *et al.* (1999a) constataram na reserva Pé-de-Gigante, em São Paulo, que as gramíneas *Melinis minutiflora* e *Urochloa decumbens* obtiveram altos valores de importância na comunidade herbácea e a abundância de ambas era negativamente relacionada à abundância da maioria das outras gramíneas, sugerindo uma pressão competitiva sobre a comunidade herbácea nativa. As espécies do gênero *Urochloa*, principalmente *U. decumbens*, têm se mostrado frequentes e dominantes em comunidades vegetais nas reservas de Cerrado no estado de São Paulo (Pivello *et al.* 1999a, 1999b), apresentando um potencial alelopático sobre a germinação e o crescimento de outras espécies (Barbosa *et al.* 2008). A gramínea *Melinis minutiflora* também se mostrou dominante no centro-oeste do Brasil e em áreas do estado de São Paulo, tanto em relação à biomassa epigea, como ao banco de sementes do solo (Pivello *et al.* 1999a, 1999b, Freitas & Pivello 2005, Martins 2006).

Em bordas de mata de galeria, Hoffmann *et al.* (2004) verificaram que a presença da invasora *Melinis minutiflora* pode reduzir a regeneração arbórea e aumentar a frequência e a intensidade de queimadas, em virtude do acúmulo de material combustível. Experimentos e modelagens vêm mostrando que algumas dessas gramíneas invasoras, como *Urochloa* sp. e *M. minutiflora*, além de serem competidoras eficientes, modificam o comportamento e o regime do fogo no Cerrado (Berardi 1994, Mistry & Berardi 2005, Rossi *et al.* 2014, Gorgone-Barbosa *et al.* 2015), e rebrotam rapidamente após o fogo, ocupando os espaços abertos na vegetação (Gorgone-Barbosa *et al.* in prep.), degradando ainda mais o sistema.

Durigan *et al.* (2007) identificaram a invasão por gramíneas africanas como sendo a mais grave ameaça à biodiversidade dos remanescentes de Cerrado no estado de São Paulo, presente em 72% das áreas analisadas. No entanto, essas gramíneas já estão presentes em todo o Brasil, inclusive em unidades de conservação, principalmente em áreas de Cerrado do Centro Oeste e Sudeste (Ziller & Dechoum 2013, Sampaio & Schmidt 2013). Essas gramíneas exóticas têm se estabelecido em áreas protegidas, descaracterizando os ambientes e levando a perdas na biodiversidade. Além disso, produzem grande quantidade de biomassa altamente inflamável, aumentando o risco de incêndios durante a estação seca (Berardi 1994, Castro-Neves 2000).

O Cerrado e o fogo

No Cerrado, assim como em diversos outros ecossistemas, o fogo é um importante fator ecológico, responsável por sua evolução, distribuição e manutenção (Bond *et al.* 2005, Pausas & Keeley 2009). Evidências da evolução e da dependência da vegetação em relação ao fogo podem ser observadas nas savanas africanas (Trollope 1982), australianas (Morgan 1999) e neotropicais (Coutinho 1990, Sarmiento 1993, Simon *et al.* 2009), nas pradarias americanas (Hanes 1971), nos ecossistemas mediterrâneos (Keeley *et al.* 2012), dentre outros. Cada um desses ecossistemas possui um regime de fogo específico, que é caracterizado por sua frequência (intervalo de retorno do fogo), sua intensidade (quantidade de calor liberada), época (quando ocorre), tipo de fogo

(a favor do vento, contra, superfície, copa ou subterrâneo) (Whelan 1995, Bond & Van Wilgen 1996). O regime do fogo pode ser considerado um dos fatores que mais influenciam nas respostas da vegetação, que está adaptada a um regime de fogo específico (Bond & Van Wilgen 1996, Bond & Keeley 2005).

Há cerca de 25 milhões de anos, surgiram formações vegetais similares às atuais savanas sul-americanas e dominadas por herbáceas adaptadas a climas secos, especialmente gramíneas C_3 (Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006). Hoje, por meio de diferentes abordagens de pesquisa – paleopalinológica (Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006) e filogenética (Simon *et al.* 2009) – acredita-se que a vegetação do Cerrado próxima à atual desenvolveu-se há cerca de 5-10 milhões de anos, com o surgimento e a expansão das gramíneas C_4 . Nesse período, houve também, na atual região do Cerrado, uma grande diversificação de linhagens não-graminóides com adaptações reconhecidamente ligadas ao fogo, como xilopódio, cortiça grossa e nanificação dos indivíduos (Simon *et al.* 2009). Esses autores sugerem que as plantas do Cerrado se originaram *in situ*, sob influência do fogo, e não vieram de outros ecossistemas, como previamente se pensava. O fogo, portanto, está presente no Cerrado há pelo menos 10 milhões de anos (Simon *et al.* 2009), ocorrendo de forma natural, principalmente por meio de raios (Ramos-Neto & Pivello 2000, Pivello 2011). Durante o Holoceno, houve um grande aumento na frequência de fogo no Cerrado (Pessenda *et al.* 2005).

Nos dias atuais, o Cerrado mantém-se sob um clima sazonal e com abundância hídrica no verão, o que permite a produção de uma quantidade relativamente alta de biomassa. Seu estrato herbáceo é caracteristicamente dominado por gramíneas, que formam uma camada contínua sobre o solo e cuja biomassa desseca na estação seca (Miranda *et al.* 2009). Assim, a alta produção de biomassa fina, aliada ao dessecação e à alta incidência de raios, promove queimadas recorrentes, num ciclo de interdependência (Coutinho 1990, Pivello 2011), sendo o fogo, desta forma, um processo essencial nesse ecossistema para a manutenção da vegetação.

Essa biomassa fina, composta principalmente de gramíneas, é o principal componente do material combustível dos fogos no Cerrado. Assim, o fogo no Cerrado é caracterizado por ser de superfície, podendo atingir temperaturas máximas em torno de 800°C e consumindo quase que totalmente o estrato herbáceo (Miranda *et al.* 1993, Miranda *et al.* 2002, Miranda *et al.* 2009). A quantidade, a composição e o consumo do material combustível variam entre as diferentes fisionomias do Cerrado. Por exemplo, em áreas de vegetação campestre e savânica, a maior parte do combustível será composta por graminóides, que produzem material fino (Miranda *et al.* 2009, Fidelis *et al.* 2013), enquanto que nas fisionomias mais fechadas, como o *cerradão*, poderá ser composto pela serapilheira, mas em ambos os casos o fogo será de superfície (Miranda *et al.* 2002).

Episódios frequentes de queima tendem a favorecer o estrato herbáceo, abundante em gramíneas, em detrimento de espécies lenhosas, pois muitas, quando jovens, não sobrevivem aos episódios de queima (Medeiros & Miranda 2005, Hoffmann *et al.* 2012). Ainda, as cinzas depositadas sobre o solo após a queima do material vegetal favorecem as gramíneas que, com suas raízes superficiais e fasciculadas, são capazes de rapidamente absorver os nutrientes (Coutinho 1990, Pivello *et al.* 2010) e rebrotar. Assim, o regime de fogo do Cerrado, com queimas frequentes, favorece espécies perenes que possuem gemas protegidas em órgãos subterrâneos desenvolvidos (como, por exemplo, xilopódios, rizomas e rizóforos), pois essas são capazes de rebrotar e recuperar rapidamente os espaços no ambiente pós-fogo (Coutinho 1990, Simon & Pennington 2012). Andrade (1998) demonstrou que, em área de campo sujo, 80% da biomassa do estrato herbáceo recupera-se um ano após o fogo e Neto *et al.* (1998) observaram que 100% da biomassa é recuperada dois anos após a queima.

Fogos naturais facilitaram a dispersão de gramíneas no passado. Porém, desde que ocupou a região, há pelo menos 35.000 anos (Watanabe *et al.* 2003), o homem passou a ser o principal agente mantenedor das queimadas em Cerrado, modificando o regime de queima e estimulando, assim, as fisionomias mais abertas, com dominância de gramíneas (Pivello 2011).

Em um estudo desenvolvido entre 2001 e 2010, em uma área de Cerrado em Góias, centro-oeste do Brasil, a recorrência de incêndios foi registrada numa frequência de três anos (Daldegan *et al.* 2014). Com relação à época, as queimadas naturais (causadas por raios) na região nuclear do Cerrado ocorrem, principalmente, em maio e setembro, ou seja, no final e início da estação chuvosa, quando há muitos raios (Ramos-Neto & Pivello 2000). No entanto, a maioria das queimadas que atualmente ocorrem no Cerrado são antropogênicas, queimam áreas extensas e ocorrem principalmente no meio da estação seca (junho-julho), quando há um maior acúmulo de biomassa morta, levando a incêndios mais intensos e prejudiciais tanto à flora quanto à fauna (Pivello 2006, 2011).

Portanto, estes dois fatores (frequência e época do ano) são de crucial importância para a dinâmica da vegetação de Cerrado.

A quantidade e o tipo de material combustível podem variar ao longo do ano no Cerrado (Miranda *et al.* 2009, Pivello *et al.* 2010, Fidelis *et al.* 2013), de modo que queimas que ocorrem antes da estação seca tendem a ser menos intensas em relação a queimas que ocorrem no fim da estação seca, período no qual há grande acúmulo de biomassa seca (Whelan 1995). Em áreas de campo sujo, em Brasília, Pivello *et al.* (2010) verificaram que, no início da estação seca, quase 30% do material combustível era composto por biomassa morta de graminóides (fino), levando a queimas de baixa intensidade ($<1600 \text{ kW.m}^{-1}$). Por outro lado, no final da estação seca, a quantidade de material fino morto praticamente duplicou, levando a um aumento significativo da intensidade do fogo (12404 kW.m^{-1}). Portanto, a época do ano pode afetar os parâmetros do fogo em vegetações como o Cerrado, influenciadas pela sazonalidade, que acarreta mudanças na disponibilidade de material combustível vivo e morto.

Intervalos pequenos entre queimas podem causar um esgotamento na quantidade de reservas armazenadas, de modo que pode haver uma diminuição na abundância de certas espécies (Cary & Morrison 1995, Medeiros & Miranda 2005). Intervalos longos entre queimas tendem a propiciar fogos mais intensos, já que há maior quantidade de biomassa acumulada, o que também pode afetar a resposta da planta. Assim, a frequência em que ocorre o fogo pode afetar tanto o crescimento quanto a *fitness* das espécies (Knox & Clarke 2006). Medeiros & Miranda (2008) observaram que o número de rebrotas basais e subterrâneas para espécies lenhosas de campo sujo diminuiu com o aumento no número de queimadas anuais. Algumas espécies rebrotadoras podem demorar alguns anos até se recuperarem o suficiente para sustentarem a floração, novamente (Whelan 1995). Hoffmann (1998) observou que o fogo teve um efeito negativo na reprodução de algumas espécies arbustivas e arbóreas do Cerrado, diminuindo a produção de sementes no primeiro ano após a queima.

No entanto, a germinação pós-fogo pode ser estimulada por diferentes mecanismos, como choques de temperatura, fumaça e alternância de temperatura causada pela alta incidência de calor após a remoção da biomassa (Baeza & Roy 2008, Moreira *et al.* 2010, Santana *et al.* 2013). Os choques de temperatura causados pelo fogo podem quebrar a dormência física de certas espécies e, então, estimular a germinação (Paula & Pausas 2008, Moreira *et al.* 2010); no entanto, temperaturas acima de 120°C normalmente reduzem a viabilidade de sementes (Reyes & Trabaud 2009). Desta forma, o recrutamento de espécies é afetado no ambiente pós-fogo, influenciando significativamente a dinâmica e a estrutura da comunidade vegetal, levando a alterações nas frequências de espécies raras e na dominância de espécies comuns ou invasoras (D' Antonio 2000, Bond & Keeley 2005).

O fogo e gramíneas invasoras

O comportamento do fogo, o regime de queima e o risco de incêndio são influenciados pelo material combustível, tanto por suas propriedades intrínsecas – ex.: grau de umidade e flamabilidade das plantas – quanto por suas propriedades extrínsecas – quantidade de material combustível por

área, tipo de material (morto, vivo, grosso e fino) e seu arranjo (horizontal, vertical, contínuo e descontínuo) (Whelan 1995, Brooks *et al.* 2004, Miranda *et al.* 2009). Por sua vez, a quantidade e as propriedades do material combustível dependerão de vários fatores, como a morfologia e a composição química das plantas, as condições meteorológicas (Pivello 1992, Bond & Van Wilgen 1996), além do tipo e estrutura da própria vegetação.

Espécies invasoras afetam direta e indiretamente o material combustível, podendo modificar suas propriedades – como umidade e flamabilidade – em relação ao combustível produzido por espécies nativas (Brooks *et al.* 2004). Desta forma, o comportamento e o regime do fogo em sistemas invadidos podem ser completamente alterados devido à presença dessas espécies, especialmente gramíneas.

Em ecossistemas mediterrâneos, gramíneas invasoras podem antecipar a época do fogo, uma vez que produzem grande quantidade de biomassa morta em pé, que se acumula, geralmente reduzindo a umidade do material combustível e aumentando o risco de incêndios e de ignições antecipadas (Keeley 2006). Por outro lado, há outras espécies que podem reduzir a frequência e o risco de incêndio, por exemplo, *Schedonorus phoenix*, uma gramínea invasora em pradarias americanas, que está fotossinteticamente ativa durante os meses de maior risco de incêndios, quando as espécies nativas estão secas. Assim, essa invasora promove maior acúmulo de umidade, e, portanto, reduz o risco de incêndios (McGranaham *et al.* 2013). O mesmo padrão foi encontrado por VanWilgen & Richardson (1985), ao verificarem que dois arbustos invasores na vegetação de fynbos (*Hakea sericea* e *Acacia saligna*), embora aumentando em mais de 50% a quantidade de material combustível, levaram à diminuição da intensidade e taxa de propagação do fogo, devido principalmente à quantidade de água que acumulam em seus tecidos.

Nas savanas Australianas, episódios de queima normalmente ocorrem na estação seca, são de baixa intensidade e irregulares. No entanto, o comportamento e o regime do fogo foram alterados nessas savanas quando invadidas pela gramínea africana *Andropogon gayanus*. Foi registrado aumento em até quatro vezes na quantidade de material combustível fino e, como consequência, as queimas foram até oito vezes mais intensas do que em áreas não invadidas (Rossiter *et al.* 2003). Além do aumento na intensidade do fogo, a presença dessa gramínea africana alterou a frequência do fogo em razão da grande produção de biomassa, sendo suficiente para sustentar queimas duas vezes ao ano (Rossiter *et al.* 2003). Houve também grande mudança na distribuição vertical do material combustível, que ocasionou mudança no tipo de fogo (fogo de superfície para fogo de copa), uma vez que touceiras de *A. guayanus* atingiam até 4 m de altura, enquanto que a vegetação nativa tinha, em média, de 0,5 a 1 m de altura (Setterfield *et al.* 2010). Outras gramíneas invasoras também podem provocar mudanças no regime de queima em diversas regiões do mundo. *Pennisetum cilare*, uma gramínea africana que invade a Austrália e regiões áridas da América do Norte, aumenta significativamente a quantidade de material combustível por área, causando incêndios mais intensos e mais frequentes ao sul do Arizona, por exemplo, onde incêndios são raros, levando à diminuição da riqueza de espécies nativas, que são menos resilientes ao fogo (McDonald & McPherson 2011).

No Cerrado, touceiras de *Urochloa brizantha* modificam as características intrínsecas e extrínsecas do material combustível, retendo umidade e aumentando a distribuição vertical do combustível, o que altera o comportamento do fogo (Gorgone-Barbosa *et al.* 2015). A presença de *Melinis minutiflora*, em ambientes exóticos diversos, também modifica o material combustível, aumentando consideravelmente sua quantidade e sua flamabilidade (D'Antonio & Vitousek 1992, Asner & Beatty 1996, Mistry & Beardi 2005). Em uma área de campo sujo invadido por *M. minutiflora*, as temperaturas, os tempos de residência do fogo e a altura das chamas foram maiores que em áreas nativas (Berardi 1994). Além disso, simulações de risco de incêndio demonstraram que a presença dessa invasora pode aumentar significativamente a intensidade do fogo (Mistry & Berardi 2005). Em fisionomia de campo cerrado, no Parque Estadual da Serra do Rola-Moça (MG), modelos mostraram que, em áreas invadidas por *M. minutiflora*, o fogo pode ser até 17 vezes mais severo e intenso do que onde só há vegetação nativa (Rossi *et al.* 2014).

A presença de espécies invasoras na comunidade vegetal afeta não somente as espécies nativas, diretamente, através da competição, por exemplo, como também modifica sua estrutura, em relação ao tipo e à quantidade de material combustível (Brooks *et al.* 2004). Portanto, espécies invasoras, principalmente gramíneas, podem levar a mudanças no comportamento e regime de fogo, afetando, portanto, a regeneração da vegetação nativa. Como as gramíneas invasoras acumulam uma quantidade maior de biomassa do que as espécies nativas e alteram a umidade do material combustível (Gorgone-Barbosa *et al.* 2015), queimadas em áreas invadidas podem apresentar chamas e temperaturas mais altas e com maior tempo de residência, podendo afetar negativamente a vegetação nativa.

Apesar de a invasão biológica por gramíneas africanas e a mudança do regime de fogo serem consideradas as maiores ameaças à diversidade do Cerrado, estudos que avaliem a relação desses dois fatores – ex., como as espécies invasoras alteram o comportamento e o regime do fogo, e como essas espécies respondem às queimadas – ainda são escassos, impossibilitando generalizações e a identificação de padrões para o Cerrado.

A experiência na Reserva Natural Serra do Tombador (RNST)

Buscando gerar dados que permitam o manejo adequado das gramíneas africanas invasoras em remanescentes do Cerrado, foi desenvolvido o projeto “O fogo como instrumento de manejo de gramíneas invasoras em unidades de conservação do Cerrado”. Esse projeto ocorreu em fisionomia de campo sujo, na Reserva Natural Serra do Tombador (RNST, em Cavalcante, norte de Goiás), de setembro de 2011 a outubro de 2015 e teve como objetivos: a) avaliar os possíveis efeitos da gramínea africana *Urochloa brizantha* sobre o comportamento do fogo, tanto em época seca como chuvosa, com o intuito de compreender a relação entre essa gramínea invasora e características do fogo no Cerrado; b) avaliar os efeitos de diferentes frequências (anual e bienal) e épocas (modal e tardia) de queima na dinâmica tanto de *U. brizantha*, como da comunidade vegetal nativa; e c) compreender como o fogo afeta a riqueza e a dinâmica da comunidade nativa em áreas invadidas. Para tanto, foram estabelecidas parcelas de queimas experimentais em áreas de campo sujo invadidas por *U. brizantha*.

Para atender ao primeiro objetivo, queimadas controladas foram realizadas separadamente em parcelas com e sem a presença de *U. brizantha*, em julho de 2012. As parcelas (20 x 15 m) foram estabelecidas em área de campo sujo não submetido ao fogo por um período de sete anos, onde a gramínea *Urochloa brizantha* ocorre em manchas isoladas (para maiores detalhes sobre a metodologia, ver Gorgone-Barbosa *et al.* 2015). Parâmetros do fogo foram coletados antes, durante e logo após os experimentos: duração (s); velocidade de propagação (m/s); altura das chamas (cm); eficiência de queima (%); temperatura máxima (°C); e intensidade do fogo (kW/m). Em todos os experimentos, o fogo foi ateado a favor do vento (*headfire*, Whelan 1995), no início ou no final do dia, de maneira controlada e com o auxílio dos brigadistas da RNST. Antes de cada experimento, também foram medidas as variáveis relativas à vegetação, como altura total, altura das gramíneas e dos arbustos, além de coletadas seis amostras de biomassa, para quantificação do material combustível. Para avaliar o comportamento do fogo em diferentes épocas do ano nas áreas invadidas, foram realizadas queimas experimentais em julho (estação seca) e outubro (início da estação chuvosa).

Queimadas em áreas invadidas por *U. brizantha* apresentaram chamas mais altas e maior frequência de temperaturas acima de 600°C. A altura das chamas em parcelas com a espécie invasora chegou a ser duas vezes superior em relação às parcelas com vegetação nativa, o que pode aumentar a mortalidade de árvores e arbustos devido à morte das gemas apicais, favorecendo a manutenção das fisionomias campestres em detrimento da vegetação lenhosa, e podendo levar à homogeneização da vegetação, em termos fisionômicos (Kauffmann *et al.* 1994, Gorgone-Barbosa *et al.* 2015). Por outro lado, a intensidade do fogo e a eficiência de combustão foram maiores em parcelas não invadidas, devido, principalmente, ao fato de que o material combustível composto

apenas pela invasora apresentava maiores teores de umidade (Gorgone-Barbosa *et al.* 2015). No início da estação chuvosa (outubro), o fogo foi mais intenso do que no meio da estação seca, principalmente pela maior quantidade de biomassa morta acumulada. A biomassa morta de *U. brizantha* mostrou relação positiva com a intensidade do fogo (Gorgone-Barbosa *et al.* 2015).

Os experimentos realizados no âmbito do projeto “O fogo como instrumento de manejo de gramíneas invasoras em unidades de conservação do Cerrado” mostraram que a presença de *U. brizantha* em área de campo sujo levou a alterações significativas no comportamento do fogo e no aumento na quantidade de material combustível.

Implicações para o manejo

Uma vez que as gramíneas africanas estão presentes em muitas as unidades de conservação de Cerrado (Pivello *et al.* 1999a, Ziller & Dechoum 2013, Sampaio & Schmidt 2013) e podem modificar o regime de fogo nesses ambientes, a elaboração de planos de manejo integrado de fogo deve levar em consideração a presença dessas invasoras, fazendo-se necessária a amostragem do material combustível em locais invadidos e não invadidos para, assim, fornecer embasamento mais sólido para a tomada de decisão sobre o uso de fogo na área.

Brooks & Lusk (2008) ressaltam três razões gerais para se combinar o manejo de espécies invasoras com o manejo do fogo: 1) o fogo pode contribuir com o processo de invasão, facilitando o estabelecimento da espécie invasora e aumentando suas áreas de ocorrência; 2) as espécies invasoras modificam o material combustível (tipo, quantidade e distribuição vertical), alterando, assim, o comportamento e o regime do fogo, bem como as respostas da vegetação; e 3) o fogo, conforme regime específico, pode ser utilizado como ferramenta de manejo no controle de espécies invasoras, diminuindo sua abundância.

Poucos foram os estudos realizados sobre o uso do fogo como ferramenta de manejo para o controle de gramíneas invasoras no Cerrado, destacando-se o de Martins (2006), que avaliou a eficiência de diferentes estratégias de manejo, incluindo o fogo, para controle de *Melinis minutiflora*. Esse estudo demonstrou que o fogo, isoladamente, não foi suficiente para controlar essa espécie, pois as sementes de *M. minutiflora* continuavam viáveis no solo após a queima; assim, o ideal seria o manejo integrado com fogo, herbicida e arranquio de plântulas, embora essa prática possa tornar-se inviável quando aplicada em áreas extensas, devido à mão-de-obra e aos custos. Por outro lado, Marinho (2013) também utilizou queimadas anuais para o controle de *M. minutiflora* e *Andropogon gayanus*, no Parque Nacional de Brasília, e verificou que *A. gayanus* recuperou-se rapidamente após o fogo, enquanto que o mesmo não ocorreu com *M. minutiflora*, indicando que a queima anual pode ser uma ferramenta de manejo eficiente para o controle dessa espécie.

No caso do projeto “O fogo como instrumento de manejo de gramíneas invasoras em unidades de conservação do Cerrado”, a invasora *U. brizantha* mostrou recuperação rápida após o fogo, sem diferenças entre queimadas frequentes (anuais e bienais) e nas diferentes épocas do ano (Gorgone-Barbosa *et al.* in prep.) Além disso, uma parte das sementes da população é capaz de sobreviver à passagem do fogo a altas temperaturas (Gorgone-Barbosa *et al.* in prep.). O uso apenas do fogo durante a estação seca (de julho a outubro) para controle e redução da abundância de *U. brizantha* não é indicado, pois, após a passagem do fogo, as espécies invasoras geralmente se regeneram rapidamente, tanto através de rebrotes quanto de plântulas, dado que o fogo não causa grande mortalidade de propágulos. Desta forma, seria necessário utilizar outro tipo de manejo juntamente com o fogo para um eficaz controle da espécie invasora, sem afetar a vegetação nativa. Durigan *et al.* (1998), por exemplo, testaram o uso de herbicida para controle de *Urochloa decumbens*, que se mostrou relativamente eficaz para seu controle, sem afetar espécies arbóreo-arbustivas nativas. No entanto, ainda há muitas incertezas quanto ao uso de herbicidas e seus efeitos na vegetação herbácea, e outros estudos e tentativas de manejo devem ser realizados.

Áreas invadidas devem ter pelo menos o controle do material combustível, uma vez que a presença da invasora modifica a quantidade e o tipo de biomassa, podendo levar a queimadas não controladas e afetar de maneira negativa a vegetação nativa (Berardi 1994, Marinho 2013, Gorgone-Barbosa *et al.* 2015). O uso do fogo para o manejo do material combustível no Cerrado constitui-se numa estratégia importante e de baixo custo (Pivello 1992, Pivello & Norton 1996, Pivello 2006) para evitar queimadas de maiores proporções, além de manter a diversidade da vegetação e habitats para a fauna. Além disso, o fogo estimula a produtividade e a reprodução de diversas espécies, além de favorecer a ciclagem dos nutrientes (Pivello & Norton 1996). No entanto, a decisão por esse instrumento de manejo deve considerar a presença de gramíneas invasoras, bem como características da espécie invasora em questão, uma vez que diferentes espécies tanto influenciam como respondem diferentemente ao fogo.

O projeto “O fogo como instrumento de manejo de gramíneas invasoras em unidades de conservação do Cerrado” é um exemplo de experimento manipulativo, onde informações sobre o fogo e a vegetação (nativa e invadida) são obtidas antes, durante e após a queima. Experimentos controlados como este são de grande importância para fornecer dados que possam ser utilizados em modelos de risco de incêndio e nas tomadas de decisão sobre o manejo integrado do fogo em unidades de conservação que visam a proteger o Cerrado. Tanto alterações nos parâmetros do fogo quanto na época e na frequência em que ocorrem as queimadas podem afetar a regeneração da vegetação nativa e das gramíneas invasoras. Portanto, experimentos de queimadas controladas nas unidades de conservação podem auxiliar em decisões sobre onde, quando e como queimar a vegetação tanto para o controle de espécies invasoras, quanto para a redução de material combustível e manutenção da diversidade das comunidades vegetais nativas. Assim sendo, outros experimentos com queimas controladas que manipulem tanto a frequência quanto a época da queima devem ser instalados em áreas com e sem invasão.

Acreditamos que o manejo por meio de queimas controladas em áreas de Cerrado é essencial. A exclusão do fogo na maioria das unidades de conservação está levando a um grande aumento do material combustível e, como consequência, a queimadas de grande extensão e difíceis de serem controladas. Além disso, a mudança do regime do fogo pode afetar negativamente as comunidades vegetais nativas das diversas fisionomias do Cerrado. Portanto, o fogo é uma importante ferramenta de manejo para a conservação da biodiversidade do Cerrado.

O grande desafio no momento é conseguir conciliar o manejo do fogo com a presença das gramíneas invasoras, pois a maioria das unidades de conservação de Cerrado apresenta uma ou mais espécies invasoras. Mesmo nas áreas invadidas, acreditamos que o fogo pode e deve ser utilizado, porém, a queimada controlada nestas áreas deve ser bem planejada, considerando a espécie invasora e a época ideal para queima de acordo com o acúmulo do material combustível e, talvez, conciliada com outro manejo para um maior sucesso de controle das invasoras.

Dados obtidos por meio de pesquisas científicas com experimentação em campo são cruciais para embasar ações acertadas no manejo de áreas protegidas de Cerrado e, portanto, tais experimentos devem ser permitidos e incentivados dentro de unidades de conservação, conforme já reconhecido no atual Código Florestal – Lei nº 12.651, de 25/5/2012, Cap. IX (Brasil, 2012).

Agradecimentos

As autoras agradecem à Fundação O Grupo Boticário de Proteção à Natureza (Termo de Parceria Nº0106_2011_PR), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq, Proc: 476334/2011-0), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e à FAPESP 2015/06743-0 pelo suporte financeiro. E aos funcionários e amigos da Reserva Natural Serra do Tombador: Anderson F. Terra, Gilson de A. Berberino, Rogério B. de Almeida e Silvanio A. Borges pelo suporte durante os experimentos. Agradecemos também aos revisores e ao editor da revista Biodiversidade Brasileira pelas sugestões de melhoria para o artigo. A.F. e V.R.P. recebem bolsa produtividade do CNPq (306170/2015-9 e 305253/2015-8).

Referências bibliográficas

- Andrade, S.M.A. 1998. **Dinâmica do combustível fino e produção primária do estrato rasteiro de áreas de campo sujo de Cerrado submetidas a diferentes regimes de queimas**. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília. 43p
- Asner, G.P. & Beatty, S.W. 1996. Effects of an African grass invasion on Havaian shrubland nitrogen biogeochemistry. **Plant & Soil**, 186: 205-211.
- Baeza, J.M. & Roy, J. 2008. Germination of an obligate seeder (*Ulex parviflorus*) and consequences for wildfire management. **Forest Ecology and Management**, 256: 685-693.
- Berardi, A. 1994. **Effects of the African grass *Melinis minutiflora* on the plant community composition and fire characteristics of a central Brazilian savanna**. M.Sc. thesis. University of London.
- Bond, W.J. & Keeley, J.E. 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in Ecology and Evolution**, 20(7): 367-394.
- 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.
- Bond, W.J. & Van Wilgen, B.W. 1996. **Fire and plants**. Chapman & Hall, London, UK. 263p.
- Barbosa, E.G.; Pivello, V.R. & Meirelles, S.T. 2008. Allelopathic evidence in *Brachiaria decumbens* and its potential to invade the Brazilian cerrados. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 51(4): 835- 831.
- Brasil, 2012. Lei nº 12.651, de 25/5/2012, Cap. IX, Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União** http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm (Acesso em 14/03/2015).
- Brooks, M.L.; D'Antonio, C.M.; Richardson, D.M.; Grace, J.B.; Keeley, J.E.; DiTomaso, J.M.; Hobbs, R.J.; Pellant, M & Pyke, D. 2004. Effects of invasion alien plants on fire regimes. **Bioscience**, 54(7): 677-688.
- Brooks, M. & Lusk, M. 2008. **Fire Management and Invasive Plants: a Handbook**. United States Fish and Wildlife Service, Arlington Virginia. 27p.
- Byers, J.E.; Reichard, S.; Randall, J.M.; Parkers, I.M.; Smith, C.S.; Lonsdale, W.M.; Atkinson, I.A.E.; Seasatedt, T.R.; Willianson, M; Chornesky, E. & Hayes, D. 2002. Directing research to reduce the impacts of nonindigenous species. **Conservation Biology**, 16(3): 630-640;
- Castro-Neves, B.M. 2000. **Comportamento de queimadas, temperaturas do solo e recuperação da biomassa aérea em campo sujo nativo e em capim-gordura (*Melinis minutiflora*)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Cary, G.J. & Morrison, D.A. 1995. Effects of fire frequency on plant species composition of sandstone communities in the Sydney region – combinations of inter-fire intervals. **Australian Journal of Ecology**, 20:418-426.
- Cronk, Q.C.B. & Fuller, J.L. 1995. **Plant Invaders: the threat natural ecosystems**. 1 ed. London, Chapman & Hall. 241p.
- Coutinho, L.M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado, p. 82-105. In: Goldammer, J.G. (org.). **Fire in the Tropical Biota**. Ecological Studies, 84. Berlin: Springer Verlag. 497p.
- Daldegan, G.A; Carvalho, J.R; Guimarães, R.F; Gomes, R.A.T.; Ribeiro, F.F & McManus, C. 2014. Spatial patterns of fire recurrence using Remote Sensing and GIS in the Brazilian Savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. **Remote Sensing**, 6(10):9873-9894.
- D'Antonio, C.M. 2000. Fire, plant invasions and global change, p. 65-93 In: Mooney, H.A. & Hobbs, R.J. (eds.). **Invasive species in a changing world**. Washington, DC: Island Press. 384p.

- 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.
- Durigan, G.; Siqueira, M.F & Franco, G.A.D.C. 2007. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia agricola**, 64(4): 355-363.
- Fidelis A.; Lyra, M.F.D.S. & Pivello, V.R. 2013. Above- and belowground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands. **Journal of Vegetation Science**, 24: 356-364
- Freitas, G.K. & Pivello, V.R. 2005. A ameaça das gramíneas exóticas à biodiversidade. In: V.R. Pivello; E.M. Varanda. (Org.). **O Cerrado Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga, São Paulo) – Ecologia e Conservação**. 1-ª ed. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, p. 283-296.
- Gorgone-Barbosa E.; Pivello V.R.; Bautista S.; Zupo T.; Rissi M.N. & Fidelis A. 2015. How can an invasive grass affect fire behavior in a tropical savanna? A community and individual plant level approach. **Biological Invasions**, 17: 423-431.
- Gottsberger, G. & Silberbauer-Gottsberger. 2006. **I. Life in the Cerrado, a South American tropical seasonal ecosystem**. Ulm, Germany: Reta Verlag. 280p.
- Hoffmann, W.A. 1998. Post-burn reproduction of woody plants in a Neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. **Journal of Applied Ecology**, 35:422-433.
- Hoffmann, W.A.; Lucatelli, V.M.P.C.; Silva, F.J.; Azevedo, I.N.C.; Marinho, M.S.; Albuquerque, A.M.S.; Lopes, A.O. & Moreira, S.P. 2004. Impact of the invasive alien grass *Melinis minutiflora* at the savanna-forest ecotone in the Brazilian Cerrado. **Diversity and Distributions**, 10: 99-103.
- Hoffmann, W.A.; Geiger, E.L.; Gotscher, S.G.; Rossatto, D.R.; Silva, L.C.R.; Lau, O.L.; Haridasa, M. & Franco, A.C. 2012. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology Letters**, 5: 759-768.
- Hanes, T.L. 1971. Succession after fire in the chaparral of southern California. **Ecological Monographs**, 41: 27-52.
- Hughes, R.F. & Vitousek, P.M. 1993. Barriers to shrub reestablishment following fire in the seasonal submontane zone of Hawai'i. **Oecologia**, 93: 557-563.
- Kauffman, J.B.; Cummings, D.L. & Ward, D.E. 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, 82: 519-531.
- Keeley, J.E. 2006. Fire management impacts on invasive plant species in the western United States. **Conservation Biology**, 20: 375-384.
- Keeley, J.E.; Bond, W.J.; Bradstock, R.A.; Pausas, J.G. & Rundel, P.W. 2012. **Fire in mediterranean ecosystems: ecology, evolution and management**. Cambridge: Cambridge University Press. 515p.
- Klink, C.A. 1994. Effects of clipping on size and tillering of native and African grasses of Brazilian savannas (the cerrado). **Oikos**, 70: 365-376.
- Klink, C.A. & Joly C.A. 1989. Identification and distribution of C3 and C4 grasses in open and shaded habitats in São Paulo, Brazil. **Biotropica**, 21 (1): 30-34.
- Klink, C.A. & Machado, R. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, 19(3): 707-713.
- Knox, K.J. & Clarke, P.J. 2006. Fire season and intensity affect shrub recruitment in temperate sclerophyllous woodlands. **Oecologia**, 149: 730-739.
- Mack, R.N.; Simberloff, D.; Lonsdale, W.M.; Evans, H.; Clout M. & Bazzaz, F.A. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. **Ecological Applications**, 10: 689-710.
- Marinho, M.S. 2013. **Efeito do fogo Anual na mortalidade e no Banco de Sementes de *Andropogon gayanus* (Kunth) e *Melinis minutiflora* (Beauv) no Parque Nacional de Brasília**. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília. 75p.

- Martins, C.; Leite, L.L. & Haridasan, M. 2004. Capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em Unidades de Conservação. **Revista Árvore**, 28: 739-747.
- Martins, C.R. 2006. **Caracterização e manejo da gramínea *Melinis minutiflora* P. Beauv. (capim gordura): uma espécie invasora do cerrado**. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília. 320p.
- McDonald, C.J. & McPherson, G.R. 2011. Fire behavior characteristics of buffelgrass-fueled fires and native plant community composition in invaded patches. **Journal of Arid Environments**, 75: 1147-1154.
- McGranahan, D.A.; Engle, D.M.; Miller, J.R. & Debinski, D.M. 2013. An Invasive Grass Increases Live Fuel Proportion and Reduces Fire Spread in a Simulated Grassland. **Ecosystems**, 16: 158-169.
- Medeiros, M.B. & Miranda, H.S. 2005. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. **Acta Botanica. Brasilica**, 19: 493-500.
- Medeiros, M.B, Miranda, H.S. 2008. Post-fire resprouting and mortality in Cerrado woody plant specie. **Edinburgh Journal of Botany**, 65:1-16.
- Miranda, A.C.; Miranda, H.S.; Dias, I.F.O. & Dias, B.F.S. 1993. Soil and air temperatures during prescribed cerated fires in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, 9:313-320.
- Miranda, H.S.; Sato, M.N.; Neto, W.N. & Aires, F.S. 2009. Fires in the Cerrado, the Brazilian savanna, p. 427-450. In: Cochrane, M.A. (ed.). (Org.). **tropical fire ecology: climate change, land use and ecosystem dynamics**. Heidelberg: Springer-Praxis. 682p.
- Miranda, H.S.; Bustamante, M.M.C. & Miranda, A.C. 2002. The fire factor, p. 51-68. In: Olivera, P.S. & Marquis, R.J. (eds.). **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. Columbia University Press. 424p.
- Mistry, J. & Berardi, A. 2005. Assessing fire potential in a brazilian savanna nature reserve. **Biotropica**, 37(3): 439-451.
- Ministério do Meio Ambiente. 2009. **Plano de Ação para para prevenção e controle de desmatamento e das queimadas no Cerrado**. PPCerrado. MMA. Brasília.
- Moreira, B.; Tormo, J.; Estrelles, E. & Pausas, J.G. 2010. Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin Flora. **Annals of Botany**, 105: 627-635.
- Morgan, J.W. 1999. Defining grassland fire events and the response of perrenial plants to annual fire in temperate grasslands of southeastern Australia. **Plant Ecology**, 144: 127-144.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403: 853-858.
- Neto, W.N, Andrade, S.M.A, Miranda, H.S. 1998. The dynamics of the herbaceous layer following prescribed burning: a four year study in the Brazilian savanna. Pp. 1785-1792. In: **Proceedings of the 14th Conference on Fire and Forest Meteorology 2**. (Ed. DX Viegas) (University of Coimbra: Coimbra, Portugal)
- Ogden, J.A.E. & Rejmanek, M. 2005. Recovery of native plant communities after the control of a dominant invasive plant species, *Foeniculum vulgare*: Implications for management. **Biological Conservation**, 125: 427-439.
- Paula, S. & Pausas, J. 2008. Burning seeds: germinative response to heat treatments in relation to resprouting ability. **Journal of Ecology**, 96: 543-552.
- Pausas, J.G. & Keeley, J.E. 2009. A burning story: the role of fire in the history of life. **BioScience**, 59: 593-601.
- Pauchard, A.; Gracia, R.; Peña, E.; González, C.; Cavieres, L.A. & Bustamante, R.O. 2008. Positive feedbacks between plant invasions and fire regimes: *Teline monspessulana* (L.) K. Koch (Fabaceae) in central Chile. **Biological invasions**, 10: 547-553.

- Pessenda, L.C.R.; Ledru, M.-P.; Gouveia, S.E.M.; Aravena, R.; Ribeiro, A.S.; Bendassoli, J.A. & Boulet, R. 2005. Holocene paleoenvironmental reconstruction in Northeastern Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotopes. **The Holocene**, 15 (6), 812-820.
- Petenon, D. & Pivello, V.R. 2008. Plantas invasoras: representatividade da pesquisa dos países tropicais no contexto mundial. **Natureza & Conservação**, 6: 65-77.
- Pivello, V.R. 1992. **An expert system for the use of prescribed fires in the management of Brazilian savannas**. PhD Thesis. Ascot, Inglaterra, Imperial College Centre for Environmental Technology, University of London.
- Pivello, V.R. & Norton, G.A. 1996. FIRETOOL: An expert system for the use of prescribed fires in cerrado (Brazilian savanna) conservation areas. **Journal of Applied Ecology**, 33: 348-356.
- Pivello, V.R.; Shida, C.N. & Meirelles, S.T. 1999a. Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to the biodiversity. **Biodiversity Conservation**, 8: 1281-1294.
- Pivello, V.R.; Carvalho, V.M.C.; Lopes, P.F.; Peccinini, A.A. & Rosso, S. 1999b. Abundance and distribution of native and invasive alien grasses in a "cerrado" (Brazilian savanna) biological reserve. **Biotropica**, 31: 71-82.
- Pivello, V.R.; Oliveras, I.; Miranda, H.S.; Haridasan, M.; Sato, M.N. & Meirelles, S.T. 2010. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. **Plant Soil**, 337: 111-123.
- Pivello, V.R. 2006. Manejo de fragmentos de cerrado: princípios para a conservação da biodiversidade, p. 402-413. In: Scariot, A.; Sousa Silva, J.C. & Felfili, J.M. (Eds.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 627p.
- Pivello, V.R. 2011. The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. **Fire Ecology**, 7: 24-39.
- Ramos-Neto, M.B. & Pivello, V.R. 2000. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, 26: 675-684.
- Reyes, O. & Trabaud, L. 2009. Germination behaviour of 14 Mediterranean species in relation to fire factors: smoke and heat. **Plant Ecology**, 202: 113-121.
- Rossi, R.; Martins, C.R.; Viana, P.L.; Rodrigues, E.L. & Figueira, J.E.C. 2014. Impact of invasion by molasses grass (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) on native species and on fires in areas of campo-cerrado in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 8(4): 631-637.
- Rossiter, N.A.; Setterfield, S.A.; Douglas, M.M. & Hutley, L.B. 2003. Testing the grass-fire cycle: alien grass invasions in the tropical savannas of northern Australia. **Diversity and Distributions**, 9: 169-176.
- Sampaio, A.B. & Schmidt, I.B. 2013. Espécies exóticas invasoras em Unidade de Conservação Federais do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, 3(2):32-49.
- Santana, V.M.; Baeza, M.J. & Blanes, M.C. 2013. Clarifying the role of fire heat and diel temperature fluctuations as germination cues for Mediterranean Basin obligate seeders. **Annals of Botany**, 111: 127-134.
- Sarmiento, G. 1993. Biodiversity and water relations in tropical savannas. In Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: A Global Perspective. **Ecological Studies**, 121: 61-79.
- Setterfield, S.A.; Rossiter, N.A.; Hutley, L.B.; Douglas, M.M. & Williams, R.J. 2010. Turning up the heat: the impacts of *Andropogon gayanus* (Gamba grass) invasion on fire behavior in northern Australian savannas. **Diversity and Distributions**, 16: 854-861.
- Sheil, D. 2001. Conservation and Biodiversity monitoring in the tropics: realities, priorities and distractions. **Conservation Biology**, 15: 1179-1182.
- Silva, J.M.C. & Bates, J.M. 2002. Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, 52(3): 225-233.
- Simon, M.F.; Grether, R.; Queiroz de, L.P.; Skema, C.; Pennington, R.T. & Hughes, C.E. 2009. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 106: 20359-64.



- 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. 1982. Ecological effects of fire, p. 293-306. In: Huntley, B.J. & Walker, B.H. (orgs.). **Ecology of tropical savannas**. Springer-Verlag, Berlin. 669p.
- Van Wilgen, B.W. & Richardson, R. 1985. The effects of alien shrub invasions on vegetation structure and fire behavior in South African Fynbos Shrublands: A simulation study. **Journal of Applied Ecology**, 22: 955-966.
- Vilà, M.; Basnou, C.; Pysek, P.; Josefsson, M.; Genovesi, P.; Gollasch, S.; Wolfgang N.; Olenin, S.; Roques, A.; Roy, D. & Hulme, P.E. 2010. How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 8: 135-144.
- Vilà, M.; Espinar, J.L.; Hejda, M.; Hulme, P.E.; Jarosik, V.; Maron, J.L.; Pergl, J.; Schaffner, U.; Sun, Y. & Pysek, P. 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. **Ecology Letters**, 14: 702-708.
- Watanabe, S.; Ayta, W.E.F.; Hamaguchi, H.; Guidon, N.; La Salvia, E.; Maranca, S. & Baffa Filho, O. 2003. Some Evidence of a Date of First Humans to Arrive in Brazil. **Journal of Archaeological Science**, 30: 351-354.
- Whelan, R.J. 1995. **The ecology of fire**. Cambridge: Cambridge University Press. 360p.
- Ziller, S.R. & Dechoum, M.S. 2013. Plantas e vertebrados exóticos invasores em unidades de conservação no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, 3(2): 4-31.

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

<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/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