



Universidade de Brasília

PRODUTO 10

Relatório técnico científico sobre comportamento e intensidade de queima nas áreas de implementação de MIF no Cerrado

Contrato: 83198593 GIZ-FINATEC

Acompanhamento técnico-científico da implementação do Manejo Integrado do Fogo em Unidades de Conservação do Cerrado no âmbito do Projeto Cerrado-Jalapão

Brasília, outubro de 2016

Sumário

Introdução	3
Material e métodos.....	4
Análise estatística.....	13
Resultados e discussão	13
Referências bibliográficas	44

Introdução

O fogo é um distúrbio natural e uma ferramenta de manejo utilizada no Cerrado há pelo menos 32.400 anos (Salgado-Labouriau & Ferraz-Vicentini 1994). O fogo, juntamente com o solo pobre em nutrientes e a sazonalidade das chuvas, influenciou o estabelecimento das diferentes fisionomias do Cerrado (Miranda et al. 2002). Aspectos como o tipo, o regime e o comportamento do fogo definem os efeitos do fogo na vegetação. Adicionalmente, fatores externos como relevo, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar e disponibilidade, composição e distribuição do combustível influenciam o comportamento do fogo. O regime do fogo é definido especialmente pela época e pela frequência em que o fogo ocorre e o comportamento do fogo é caracterizado pela propagação da frente de fogo, temperatura do ar durante a passagem do fogo, tempo de residência de altas temperaturas, altura das chamas e intensidade da frente do fogo (Rothermel 1983; Whelan 1995; Miranda et al. 2010). Dentre estes fatores o que podem ser mais facilmente alterados com vistas ao manejo de áreas com vegetação natural são a frequência e a época de queima, assim como as condições ambientais (especialmente temperatura, umidade do ar e velocidade do vento) no momento em que uma queimada é iniciada.

Como em todas as savanas, o fogo é um fator evolutivo importante para as espécies e paisagens do Cerrado há milhões de anos (Simon et al. 2009) sendo este um elemento determinante na composição e estrutura da vegetação. Isto se confirma pela presença de cascas bem desenvolvidas, que funcionam como isolante térmico, e órgãos subterrâneos com gemas e reservas de energia que possibilitam a rebrota e a propagação vegetativa após a passagem do fogo, a estratégia mais comum de sobrevivência e de reprodução no Cerrado (Rizzini & Heringer 1962; Coutinho 1982).

No Cerrado, assim na maior parte das Unidades de Conservação (UC) deste bioma, predominam formações savânicas mais abertas e formações campestres, desta forma, a propagação da frente de fogo, geralmente, é de superfície, consumindo principalmente a biomassa fina do estrato rasteiro (Miranda et al. 2010). Durante estas queimadas de superfície, a copa de alguns indivíduos lenhosos pode entrar em ignição e ser parcial ou totalmente atingida pelo fogo. No entanto, devido ao arranjo espacial caracterizado pela descontinuidade entre as copas das árvores e/ou umidade contida na sua biomassa, o fogo não se propaga pelo dossel. Em algumas localidades, em fitofisionomias específicas, como os brejos de veredas (buritizais) e matas de galeria inundáveis, em determinadas condições climáticas, pode ocorrer fogo subterrâneo (de turfa), devido a um acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo.

No âmbito do Projeto Cerrado-Jalapão, atividades de Manejo Integrado do Fogo (MIF) começaram a ser implementadas em 2014 no Parque Nacional Chapada das Mesas (PNM), Parque Estadual do Jalapão (PEJ), Área de Proteção Ambiental do Jalapão (APAJ) e Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT). Dentre as atividades de implementação do MIF no âmbito do Projeto Cerrado-Jalapão, em 2014 e 2015, foram realizadas queimas controladas precoces, isto é, início da estação seca

(maio, junho e julho) com o objetivo de fragmentar combustível e proteger ecossistemas sensíveis ao fogo, criando um mosaico de vegetação com diferentes tempos desde a última queima. Este mosaico visa favorecer uma gama mais ampla de espécies, tanto vegetais como animais, contribuindo assim para a conservação da biodiversidade (Bradstock et al. 2005, Myers 2006), e também reduzir áreas contínuas com acúmulo de combustível, visando assim reduzir a área anual atingida por incêndios descontrolados, ocorridos especialmente ao final da estação seca (agosto-outubro).

No PNCM, a fitofisionomia predominante é o cerrado ralo e nas UC do Jalapão, o campo sujo e estas fitofisionomias foram prioritariamente manejadas com queimas precoces nestas UC, sendo nestas instaladas parcelas permanentes para caracterização de diferentes tipos de queima sobre a vegetação. Para isto, em conjunto com as equipes gestoras das UC, montou-se um protocolo experimental para comparar as características e efeitos de queimas¹ de manejo vs. queimas simulando incêndio e áreas não queimadas. As queimas precoces, semelhantes às queimas feitas para o manejo da paisagem e as queimas tardias, simulando incêndios, visam caracterizar respectivamente queimas que podem ser implementadas no âmbito do MIF para o manejo das UC e o regime predominante de queimas em muitas UC do Cerrado: incêndios tardios (final da estação seca), com frequência bienal ou trienal, que atingem grandes extensões.

Os efeitos do fogo na vegetação variam de acordo com o regime, definido principalmente pela época e frequência de queima (Miranda et al. 2010). Desta forma, caracterizar o comportamento do fogo, isto é, o tipo e a quantidade de biomassa combustível, combustível consumido, velocidade de propagação da frente de fogo, intensidade da frente de fogo, calor liberado por área, altura das chamas, temperatura do ar durante a queima e as condições meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento) nos locais destas queimas de experimentais pode auxiliar na compreensão da coexistência desta vegetação e o fogo.

Este relatório sintetiza as características das queimas experimentais realizadas no PEJ, EESGT e no PNCM em 2015 (maio a setembro) e avalia os impactos de curto prazo destas queimas sobre a vegetação lenhosa e na recuperação da biomassa um ano após as queimas.

Material e métodos

Áreas de estudo

As parcelas permanentes de estudo foram estabelecidas em áreas selecionadas em conjunto com as equipes do Parque Nacional Chapada das Mesas (MA) e na região do Jalapão (TO) no Parque Estadual do Jalapão e na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. Nas três UC, o solo é arenoso e existe uma sazonalidade pluviométrica bem

¹ Todas as queimas experimentais foram feitas pela brigada nas três UC.

definida, marcada pela estação seca entre maio e setembro e pela estação chuvosa entre outubro e abril, com pluviosidade anual média entre 1.500 e 1.700 mm.

As fisionomias vegetacionais selecionadas para a realização dos experimentos com queimas controladas foram as predominantes nas três UC, isto é, no PEJ e na EESGT, o campo sujo (Figura 1a), uma fisionomia campestre, composta por uma camada rasteira que apresenta uma continuidade, com gramíneas, graminóides e arbustos finos e por uma camada com alguns elementos arbustivo-arbóreos apresentando cobertura inferior a 5% e altura média de 2 m. No PNCM, a fitofisionomia selecionada foi o cerrado ralo (Figura 1b), composto por uma camada rasteira com gramíneas, graminóides e arbustos finos e uma camada arbustivo-arbóreo com cobertura entre 5% e 20% e altura média variando entre 2 e 3 m (Ribeiro e Walter 1998).

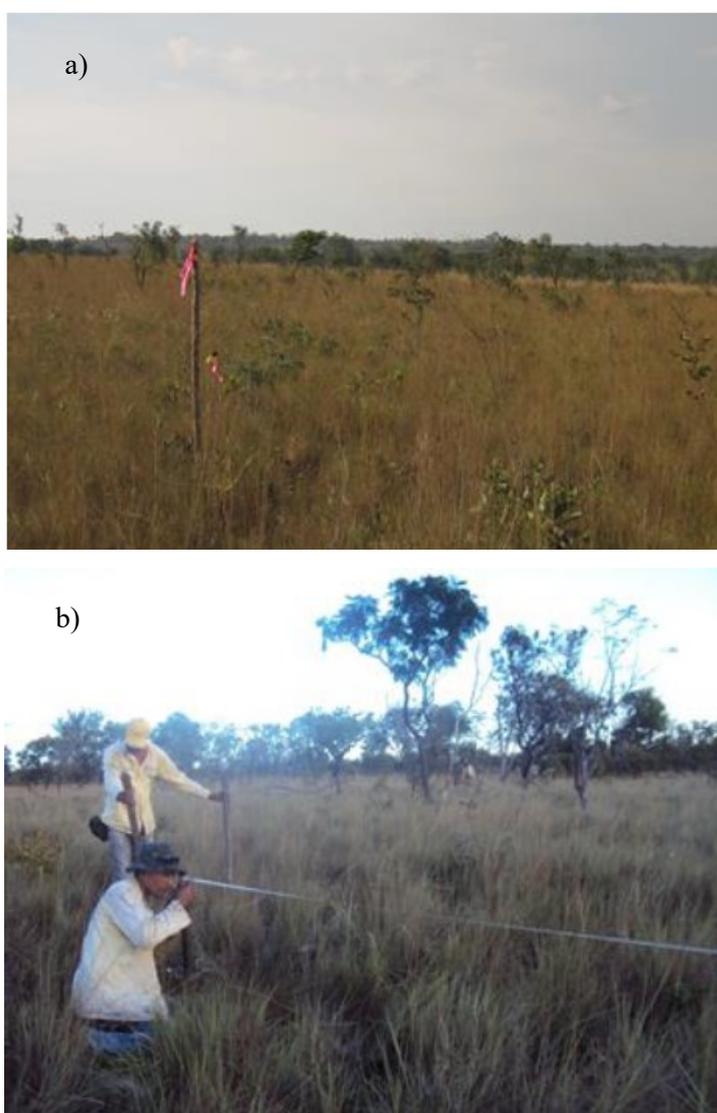


Figura 1 – Campo sujo (a) no Parque Estadual do Jalapão (TO) e cerrado ralo (b), fisionomia predominante no Parque Nacional das Chapadas das Mesas (MA).

Regime de queima – Tratamento de queima controlada

Em 2015, foram realizadas e caracterizadas 34 queimadas experimentais, sendo seis no PEJ, oito na EESGT e 20 no PNCM, entre 13 de maio e 16 de setembro de 2015 (Tabela 1). Em cada UC foram selecionadas áreas de estudo para estabelecimento de parcelas permanentes. No PEJ e na EESGT, foram selecionadas respectivamente três e quatro áreas experimentais, sendo que todas haviam sido queimadas em 2013 (2 anos sem queima, Tabela 2). No PNCM, foram instaladas parcelas permanentes em 13 áreas, sendo quatro sem queima há 3 anos e oito sem queima há 2 anos e uma que foi estabelecida em 2014 e acidentalmente incendiada neste mesmo ano (Tabela 3).

A caracterização das queimas e o monitoramento da vegetação foi realizada em cada área experimental com o estabelecimento de parcelas permanentes (50 m × 50 m) submetidas aos diferentes tratamentos de queima (queima) e de parcelas protegidas do fogo (controle). Nas UC do Jalapão foram realizadas as queimas precoce de alta intensidade² (queima precoce-alta) e tardia (queima-tardia). No PNCM, por demanda da equipe gestora, foram realizados dois tipos de queima precoce (queima precoce-alta e queima precoce-baixa), além da queima tardia. O tipo de queimada a ser realizado foi definido de acordo com a época e o horário da realização das queimadas:

(i) queima precoce-baixa: realizada no início da estação seca (maio) e no final da tarde (geralmente após as 17:30 h), com umidade relativa do ar acima de 50%;

(ii) queima precoce-alta: realizada no início da estação seca, entre maio e julho, durante o dia (entre 11:30 h e 16:30 h), com condições de temperatura do ar elevadas e umidade relativa do ar menos amenas (< 50%), o que propicia propagação mais rápida da frente de fogo; e

(iii) queima tardia, no final da estação seca (setembro) em condições de baixa umidade relativa do ar e alta temperatura do ar, ou seja, simulação de incêndios que comumente atingem UC no Cerrado.

As queimadas tardias só foram possíveis pois foram realizadas em áreas previamente aceiradas, o que garantiu a segurança e controle destas queimas.

² Queima precoce de baixa intensidade não foi realizada nas UC do Jalapão. As equipes das UC informaram que esse tipo de queima não pode ser utilizado no manejo das UC em áreas com dois anos sem queima na região do Jalapão, em função da distribuição esparsa do combustível fino. Desta forma, não havia sentido em testar os efeitos deste tipo de manejo.

Tabela 1. Número de queimadas controladas caracterizadas no Parque Nacional das Chapadas das Mesas (MA) e no Jalapão (TO – Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins e Parque Estadual do Jalapão) em 2014 e 2015. Detalhes sobre as queimadas de 2014 foram apresentados no Produto 3 deste contrato.

Local	Tempo sem queima (ano)	Queima controlada	No. de queimadas		
			2014	2015	Total
Jalapão	2	precoce-alta ¹		7	7
		tardia ³		7	7
PNCM	3	precoce-alta ¹	8		8
	1	precoce-baixa ²	2		
	2	precoce-alta ¹	2	4	4
		precoce-baixa ²	2	4	6
		tardia ³		4	4
	3	precoce-alta ¹		4	6
precoce-baixa ²			4	6	
Total			14	34	48

¹precoce-alta=queimadas entre maio e julho, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas);

²precoce-baixa= queimadas entre maio e julho, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar > 50%; ³tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

Caracterização do comportamento do fogo

- Velocidade de propagação da frente de fogo (r): foi calculada a partir do tempo em que a base da chama da frente do fogo levou para passar entre dois elementos locais bem definidos (árvores, pedras, estacas) previamente identificados e marcados. O tempo de deslocamento da frente de fogo foi cronometrado e a distância entre os dois elementos definidos medida com trena logo após a passagem do fogo;
- Altura da chama: foi estimada com o auxílio de elementos locais bem definidos (árvores, pedras, estacas). Estes registros foram realizados durante as medições da velocidade de propagação da frente de fogo;
- Temperatura do ar: durante a passagem do fogo a temperatura do ar e o tempo de residência de altas temperaturas foram mensuradas utilizando cinco sensores de temperatura (termopares tipo K, Cromel/Alumel) fixados a 1 cm e 50 cm acima do solo em meio a vegetação. Cada sensor foi conectado a um dataloger (Logbox-AA, Novus modelo IP65) com registro de temperatura a cada segundo. As duas alturas usadas visam medir a temperatura do ar rente ao solo durante a passagem de fogo e a temperatura do ar na altura média do estrato herbáceo;

- Intensidade da frente de fogo (I): foi calculada com a equação de Byram (1958) (Equação 1) que considera o combustível consumido (w_c em kg/m^2 - Equação 2), a velocidade de propagação da frente do fogo (r em m/s) e o calor efetivo de combustão do material combustível (h em kJ/kg) (Rothermel 1972). Para o calor efetivo de combustão foi utilizado o valor de 15.500 kJ/kg , como em outros trabalhos realizados para queimadas em savanas (Griffin e Friedel 1984) e Cerrado (Miranda et al. 2010; Gorgone-Barbosa et al. 2015).

$$I = h \cdot w_c \cdot r \quad (\text{Equação 1})$$

onde

$$w_c = w_a - w_d \quad (\text{Equação 2})$$

e, w_a é o combustível fino antes da queima (kg/m^2) e w_d é o combustível depois da queima (kg/m^2).

- Calor liberado (H): é um parâmetro que indica a quantidade de energia liberada por área (kWm^{-2}), foi calculado dividindo a intensidade da frente de fogo pela velocidade de propagação da frente de fogo.

$$H = I/r \quad (\text{Equação 3})$$

Durante as queimadas, as condições meteorológicas (umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura do ar) foram medidas com uma estação meteorológica portátil (anemômetro marca Lutron EM-9000).

Seleção e localização das áreas experimentais

Na região do Jalapão (TO), foram selecionadas sete áreas de campo sujo em diferentes localidades, sendo quatro na Estação Ecológica Serra Geral de Tocantins (EESGT) e três no Parque Estadual do Jalapão (PEJ). Todas as áreas selecionadas não queimavam há dois anos, por ser esta a frequência mais comum de ocorrência de queimas, bem como das áreas manejadas no âmbito da implementação de MIF nestas UC (Tabela 2). As áreas foram selecionadas também de forma a evitar áreas com grande pressão de pastejo pelo gado para evitar confundir possíveis efeitos do fogo e do pastejo.

Um total de 13 áreas foram selecionadas (Tabela 3) no Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM). Na região, usualmente a vegetação é manejada com fogo no início da estação seca (maio) ao entardecer quando as condições atmosféricas são mais amenas, assim, no PNCM foi adicionado este tratamento de queima (queima precoce-baixa). Foram selecionadas áreas que não queimavam há 2 e 3 anos.

Tabela 2. Áreas experimentais em que foram estabelecidas parcelas permanentes na região do Jalapão (TO). UC = Unidade de Conservação; EESGT = Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins; PEJ = Parque Estadual do Jalapão.

UC	Área	Coordenadas		Última queima	Tratamento de queima
EESGT	A1 Peixinho	S 11° 13' 38.8"	W 46° 50' 46"	2013	queima precoce-alta* (julho) queima tardia** (setembro) controle (sem fogo)
	A2 Oncinha	S 11° 15' 55.2"	W 46° 51' 11.3"	2013	
	A3 Balsas	S 11° 07' 38.6"	W 46° 41' 17''	2013	
	A4 Muriçoca	S 11° 06' 38.3"	W 46° 44' 24.7"	2013	
PEJ	A1 Porco	S 10° 30' 33.9"	W 46° 30' 02.5"	2013	queima precoce-alta* (junho) queima tardia** (setembro) controle (sem fogo)
	A2 Araras 1	S 10° 31' 37.9"	W 46° 30' 09.3"	2013	
	A3 Araras 2	S 10° 31' 51.1"	W 46° 30' 18"	2013	

*precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas)

**tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

Tabela 3. Áreas experimentais no Parque Nacional das Chapadas das Mesas (MA), onde foram estabelecidas parcelas permanentes com diferentes regimes de queima.

Área	Coordenadas		Última queima	Tratamento de queima	
A2	S 7° 17' 01.2"	W 47° 03' 03.7"	2014	Incêndio de 2014*	
A1	S 7° 18' 45.7"	W 47° 01' 59"	2012	queima precoce-alta (maio)** queima precoce-baixa (maio)** controle (sem fogo)	
A3	S 7° 16' 26.6"	W 47° 02' 24.9"	2012		
A4	S 7° 16' 56.4"	W 47° 02' 32.9"	2012		
A5	S 7° 17' 26.8"	W 47° 00' 47.2"	2012		
A6	S 7° 19' 19.3"	W 47° 02' 41.7"	2013		
A7	S 7° 19' 03.1"	W 47° 02' 40.2"	2013		
A8	S 7° 19' 31.5"	W 47° 02' 44.6"	2013		
A9	S 7° 19' 58.2"	W 47° 02' 29.6"	2013		
A10	S 7° 06' 49.8"	W 47° 07' 43"	2013		queima tardia (setembro)**
A11	S 7° 06' 51.3"	W 47° 07' 52"	2013		
A12	S 7° 09' 17.6"	W 47° 08' 34.4"	2013		
A13	S 7° 09' 14.7"	W 47° 08' 29.5"	2013		

*a área sofreu um incêndio em 2014, os dados da vegetação lenhosa não foram considerados neste relatório.

**precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); precoce-baixa= queimadas em maio, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar > 50%); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

Parcelas permanentes

Em 2015, em cada área selecionada, foram estabelecidas parcelas permanentes (50 m × 50 m) para monitoramento da vegetação (Figura 2). O monitoramento da vegetação lenhosa foi realizada conforme o tamanho dos indivíduos: i) indivíduos arbustivo-arbóreos (diâmetro ≥ 5 cm a 30 cm do solo) na parcela de 50 m x 50 m e ii) indivíduos pequenos (diâmetro basal entre 1 e 5 cm) na parcela de 15 m x 15 m. O número de parcelas permanentes variou de 18 a 56 em cada UC, dependendo do número de áreas estudadas (Tabela 4). Na EESGT, por demanda da equipe gestora todas as parcelas foram também subdivididas em parcelas de 20x50 e as sub-parcelas em 10x10m. Visto que estas parcelas são menores e levam a estimativas um pouco diferentes da densidade de indivíduos por hectare (Anexo 1), para fins de comparação com as demais UC, os dados aqui apresentados referem-se às parcelas de 50x50m.

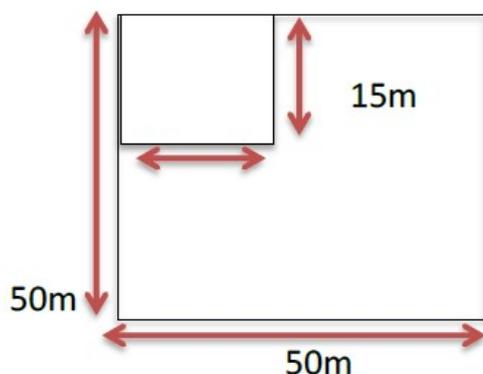


Figura 2. Tamanho das parcelas permanentes estabelecidas nas áreas de estudo.

Tabela 4. Número total de parcelas permanentes estabelecidas nas Unidades de Conservação (UC).

UC	No. de áreas	No. de parcelas/área	Tratamento				
			Precoce-alta*	Precoce-baixa**	Tardia	Controle	Total
EESGT	4	6	8	0	8	8	24
PEJ	3	6	6	0	6	6	18
PNCM	8	6	16	16	0	16	48 ^a
	4	2	0	0	8	0	8
Total	19	14	30	16	22	30	98^a

*precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas)

**precoce-baixa= queimadas em maio, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar > 50%; tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

a. Duas parcelas experimentais no PNCM foram queimadas acidentalmente imediatamente antes da amostragem em 2016, não tendo sido portanto possível averiguar o estado das plantas. Assim, foram considerados neste trabalho os dados coletados em 96 parcelas.

Antes de cada queima experimental, os indivíduos lenhosos foram marcados e receberam uma placa numerada (Figura 3). O inventário dos indivíduos arbustivo-arbóreos com diâmetro ≥ 5 cm a 30 cm do solo considerou todos os indivíduos que estavam presentes dentro da parcela permanente (50 m \times 50 m), que foram identificada quanto a espécie e tiveram a altura e a circunferência a 30 cm do solo medidos. O inventário dos indivíduos pequenos (diâmetro basal entre 1 e 5 cm) foi realizado nas parcelas de 15 m \times 15 m, estabelecida dentro da parcela permanente (Figura 2). Para todos os indivíduos foram medidos quanto à circunferência basal (na base do indivíduo), o comprimento da maior rebrota e o número total de rebrotas.



Figura 3. Amostragem dos indivíduos lenhosos (arbustivo-arbóreo e pequeno) nas parcelas permanentes. Todos os indivíduos marcados com placas numeradas e medidos quanto a altura e a diâmetro ou circunferência, posteriormente convertida em diâmetro.

Vegetação herbácea (combustível fino)

A quantificação do combustível fino em áreas com diferentes históricos de queima, para caracterizar os padrões de regeneração da biomassa aérea do estrato graminoso-herbáceo, foi realizada ao redor de cada parcela permanente. Em cada parcela permanente, foram coletadas anualmente 10 amostras do combustível fino, por meio do corte na base de toda biomassa aérea ($< 0,6$ mm de diâmetro), contida em parcelas de 50 cm \times 50 cm. Cada amostra coletada foi colocada em saco de papel e seco em estufa elétrica (70 °C) ou em estufa de campo, com lâmpadas incandescentes até o material atingir o peso constante, e pesada.

No Jalapão, a coleta de biomassa combustível, antes da queima de 2015, foi realizada sem distinção dos tratamentos de queima nas parcelas experimentais, visto que o tratamento de cada parcela foi definido pela brigada das UC no momento das queimas de acordo com as condições ambientais. Em 2016, a coleta foi realizada para cada parcela experimental. Devido à grande quantidade de plantas não-graminóides que compõe o combustível fino na região do Jalapão e com vistas a caracterizar este

material, três amostras de biomassa coletadas em cada parcela foram aleatoriamente selecionadas e triadas em monocotiledôneas e eudicotiledôneas, e pesadas separadamente.

Vegetação lenhosa

O monitoramento dos indivíduos lenhosos marcados foi realizado um ano após a queima, quando todos os indivíduos foram re-amostrados, para avaliar a dinâmica estrutural da vegetação lenhosa submetida aos diferentes tipos de queima experimentais no ano anterior ou protegidas do fogo. Avaliou-se a sobrevivência, rebrotamento, perda da parte aérea (top-kill), crescimento e recrutamento de novos indivíduos lenhosos, isto é a inclusão de indivíduos que atingiram o diâmetro mínimo pré-estabelecido para ser incorporado no inventário (Tabela 5).

Tabela 5. Monitoramento da vegetação um ano após a queima, indicadores com as diferentes classes e parâmetros.

Indicadores	Tipo	Parâmetro
Vegetação lenhosa	<ul style="list-style-type: none"> • Arbustivo-arbóreo = diâmetro \geq 5 cm a 30 cm do solo • Pequenos = diâmetro basal entre 1 e 5 cm 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrevivência • Rebrotamento • Perda da parte aérea (top-kill) • Crescimento • Recrutamento
Biomassa combustível	<ul style="list-style-type: none"> • gramíneas, graminóides, folhas e ramos com até 6 mm de diâmetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantidade de combustível fino • Recuperação do combustível fino

Um ano após a queima, todos os indivíduos marcados nas parcelas permanentes (arbustivo-arbóreo e pequenos) foram re-amostrados para verificar a sobrevivência e tamanho. Foram registrados número de rebrotas por indivíduo, e registrados os eventos de *topkill*, ou seja perda total da parte aérea, mas rebrota a partir de tecidos de reserva subterrâneos. Os indivíduos não marcados que atingiram o diâmetro mínimo pré-estabelecido foram inseridos como indivíduos recrutados.

No ano de 2016, um mês antes da realização do inventário, uma área na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e outra no Parque Nacional da Chapada das Mesas sofreram incêndio acidental. As áreas na EESGT foram inventariadas, porém os dados não estão considerados neste relatório por não apresentarem réplica e não constituírem um tratamento experimental. As parcelas queimadas foram: duas parcelas controle da Área 1 na EESGT e duas parcelas controle da Área 5 no PNCM. As parcelas controle

das outras áreas em cada UC foram usadas para a comparação de efeitos dos diferentes tipos de queima sobre a vegetação de cada UC.

Análise estatística

Todas as análises foram realizadas utilizando testes do programa BioEstat (Ayres et al 2007). A biomassa foi testada para normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para os dados coletados em 2015, antes da realização da queima, e para a biomassa coletada, em 2016, nas parcelas controle. A quantidade de biomassa existente em cada área foi comparada por uma ANOVA, enquanto que a comparação entre as quantidades de biomassa existentes nas áreas antes e um ano após as queimas foi feita pelo teste de Kruskal-Wallis.

Resultados e discussão

Os resultados dos dados de comportamento do fogo das queimadas experimentais realizadas no Jalapão e no PNCM foram apresentados no Relatório 6. No entanto, para compreender o impacto destas queimadas na vegetação, os resultados mais relevantes serão novamente apresentados.

A eficiência de queima alta, variando entre 81 e 88% do combustível fino existente nas áreas experimentais no PNCM, em todos os tipos de queima experimental realizados, independentemente o tempo desde a última queima. Em contraste, a eficiência de queima de combustível no Jalapão foi muito determinada pela época de queima sendo muito maior nas queimas tardias (cerca de 92%) que nas queimas precoces (55% do combustível fino consumido, Tabela 6).

A velocidade de propagação do fogo foi bastante determinada pelo tipo de queima realizado, sendo, no Jalapão de em média 0,26m/s (menos de 1km/h) nas queimas precoces de de 0,65m/s (2,34km/h) nas queimadas tardias. No PNCM, o tipo de queima determinou a velocidade de propagação do fogo, mas o tempo desde a última queima também influenciou este parâmetro de forma significativa: as queimas precoces de baixa intensidade tiveram velocidades de propagação do fogo entre 0,11 e 0,18m/s (entre 0,4 e 0,65km/h) tanto nas áreas não queimadas há dois quanto há três anos. Para as queimas precoces de alta intensidade, no entanto, houve diferenças na velocidade de propagação da frente de fogo entre áreas queimadas com diferentes históricos de queima. Nas áreas queimadas há dois anos, a velocidade de propagação da frente de fogo nas queimas precoces-alta foi semelhante ao encontrado no Jalapão (0,27m/s ou 0,97km/h); queimas em condições semelhantes de temperatura e umidade do ar, também classificadas como precoce-alta em áreas não queimadas há três anos, no PNCM, no entanto geraram frentes de fogo com velocidades semelhantes às queimas tardias, com velocidades médias de 0,57 e 0,54m/s, respectivamente (cerca de 1,94 e 20,5km/h). Devido à maior quantidade de combustível nas áreas não queimadas há três anos, a intensidade do fogo nestas áreas foi maior que a intensidade do fogo medida durante queimas tardias nas áreas não queimadas há dois anos, no PNCM (Tabela 6). Estes resultados são condizentes com a experiência de moradores e da equipe do

PNCM, que indicam que áreas não queimadas há três anos promovem queimas mais intensas e difíceis de controlar, mesmo no início do período seco. Os resultados de efeitos de diferentes tipos de queima (ver resultados abaixo) indicam que pode ser seguro e não muito danoso para a vegetação, a realização de queimas prescritas de baixa intensidade (em horários com umidade mais alta e temperaturas mais amenas).

Os valores estimados para a biomassa combustível nas parcelas experimentais estão dentro do estimado para as duas fitofisionomias, uma vez que a literatura reporta grande variação nos valores de biomassa combustível antes da realização de queimadas prescritas: entre 0,34 kg/m² a 0,94 kg/m² para o campo sujo (Miranda et al. 2010) e de 0,49 kg/m² a 0,86 kg/m² (Pivello & Coutinho 1992; Kauffmann et al. 1994).

A eficiência de queima reportado por Miranda et al. (2010) para o campo sujo varia de 81% a 99%. A alta eficiência de queima está associada à composição da biomassa, sendo que a maior proporção de serapilheira e de eudicotiledôneas pode diminuir a eficiência de queima enquanto a maior proporção de graminóides (monocotiledôneas) aumenta a sua eficiência.

Os resultados aqui encontrados bem como as observações de campo e das equipes das UC indicam que, na região do Jalapão, há maiores densidades de dicotiledôneas em comparação com o PNCM. Estas diferenças na composição do combustível fino entre as duas regiões pode explicar as diferenças observadas nos comportamentos das queimas experimentais nestas duas regiões, especialmente no que diz respeito a maiores valores de eficiência de consumo de combustível, velocidade de propagação da frente de fogo e intensidade da queima nas áreas do PNCM submetidas a queimas precoces de alta intensidade em comparação com as áreas do Jalapão queimadas nas mesmas condições (queima precoce-baixa).

Tabela 6. Parâmetros de comportamento do fogo (média±dp) medidos em queimas experimentais realizadas no Parque Nacional das Chapadas das Mesas (MA) e no Jalapão (TO - Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e Parque Estadual do Jalapão no Tocantins), considerando a época do ano e o tipo de queima.

UC	Tempo sem queima (ano)	Tratamento	Ef. de queima (%)	r (m/s)	Intensidade (kW/m)	Calor liberado (kW/m ²)	Temp. máx. do ar (°C)		Altura da chama (m)
							1cm	50cm	
Jalapão	2	precoce-alta	55,6±20,8	0,26±0,15	1.012± 658	3.701±1.635	473±112	491± 80	2,3±0,5
		Tardia	91,9± 2,6	0,65±0,29	4.136±2.419	6.072± 907	704± 38	612± 84	2,8±0,6
PNM	2	precoce-alta	81,4± 8,9	0,27±0,15	1.570±1.053	5.619±1.800	565± 44	407± 82	2,0±0,7
		precoce-baixa	86,8± 5,2	0,11±0,09	640± 516	6.200± 705	464± 65	402± 61	1,3±0,3
		Tardia	88,3± 3,4	0,54±0,27	2.833±1.665	5.076± 599	574± 75	490± 79	2,3±0,3
	3	precoce-alta	84,5± 6,3	0,57±0,26	4.400±2.175	7.634± 804	508± 51	435±136	2,1±0,3
		precoce-baixa	85,2± 5,7	0,18±0,10	1.340± 679	7.440±1.096	387± 93	378±172	2,3±0,5

precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); precoce-baixa=queimadas em maio, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar > 50%; tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar); Ef. de queima=eficiência de queima, % de combustível fino consumido pela queima; r=velocidade de propagação da frente de fogo; Temp. máx. do ar= temperatura máxima do ar durante a passagem da frente de fogo; Alt. da chama=altura da chama.

Biomassa combustível no Jalapão

A coleta de combustível fino antes das queimas de 2015 foi realizada em volta das parcelas de cada área experimental antes da definição dos tratamentos, assim a média aqui apresentada de quantidade de combustível nas áreas antes das queimas é uma só. Há variações entre os valores médios de biomassa entre as áreas experimentais, além de heterogeneidade entre as amostras coletadas em cada área (indicado pelos valores de desvios padrão), no entanto, não há diferenças significativas entre as sete áreas experimentais no PEJ e EESGT. Em quatro das sete áreas há uma tendência de aumento da quantidade de combustível fino nas áreas controle (não queimadas) de um ano para outro, mas é importante destacar a grande variação espacial da distribuição de combustível (Figura 4).

Houve em média, acúmulo de uma pequena quantidade de biomassa nas parcelas não-queimadas (controle) entre 2015 e 2016. Enquanto que, a recuperação da biomassa fina nas áreas queimadas foi de cerca de 70% um ano após as queimas, tanto após as queimas precoces quanto após as queimas tardias (Figura 5). Não houve diferenças entre os valores encontrados nas áreas submetidas a estes dois tipos de queima: nas parcelas precoce-alta ($0,31 \text{ kg/m}^2$) e tardia ($0,30 \text{ kg/m}^2$) são similares entre si, considerando área experimental e tipo de queima como fatores ($Z=2,39$). Estes valores são significativamente menores do que a biomassa total ($0,47 \text{ kg/m}^2$) das parcelas controle (Tabela 7).

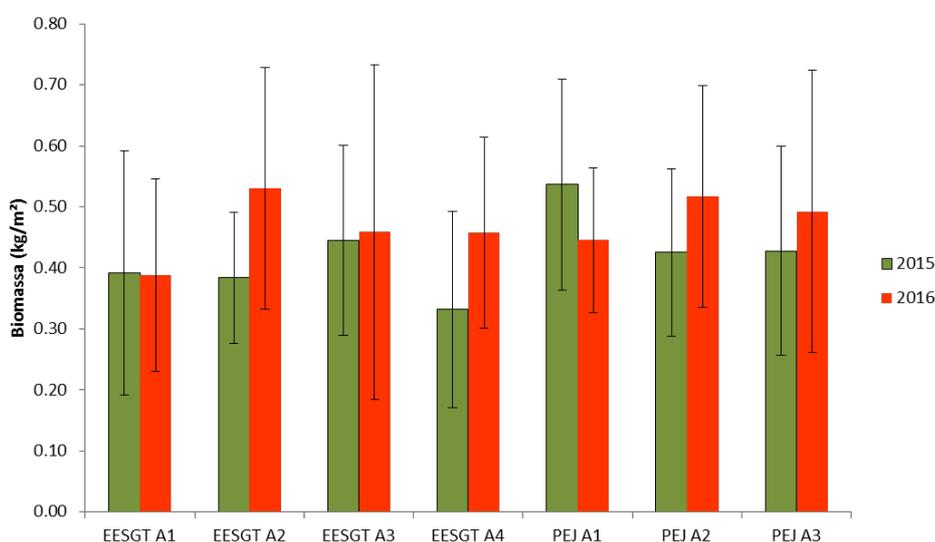


Figura 4. Biomassa combustível total (média±dp) antes da realização de queimas experimentais em 2015 na região do Jalapão e a biomassa das parcelas controle, não queimadas em 2016 nas mesmas áreas.

Tabela 7. Biomassa combustível (média±dp) nas parcelas experimentais no ano de 2015 (antes da realização da queima controlada) e em 2016 (um ano após a realização da queima).

UC	Tempo sem queima	Tratamento	Biomassa 2015 (kg/m ²)	Biomassa 2016 (kg/m ²)	Recuperação da biomassa 2016 (%)
Jalapão	2	controle	0,43±0,17	0,47±0,19	109
		precoce-alta	0,43±0,17	0,31±0,15	72
		tardia	0,43±0,17	0,30±0,14	70
PNCM	2	controle	0,23±0,2	0,31±0,18	135
		precoce-alta	0,23±0,21	0,26±0,10	113
		precoce-baixa	0,23±0,21	0,24±0,11	104
		tardia	0,18±0,17	0,23±0,09	128
	3	controle	0,28±0,26	0,46±0,17	164
		precoce-alta	0,28±0,26	0,20±0,10	71
		precoce-baixa	0,28±0,26	0,21±0,11	75

UC= unidade de conservação; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); precoce-baixa=queimadas em maio, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar > 50%; tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

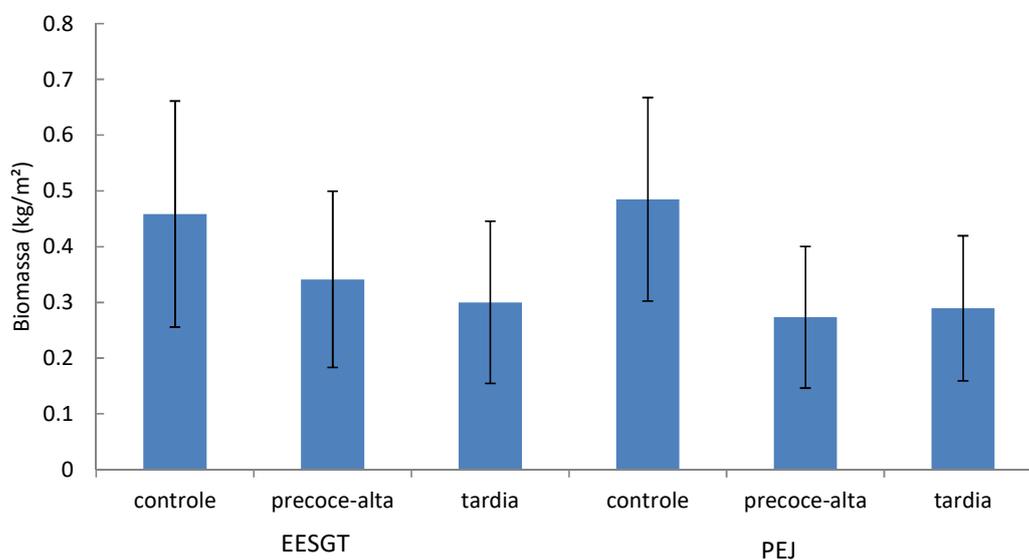


Figura 5. Média e desvio padrão de quantidade de biomassa fina em junho de 2016, em quatro áreas experimentais na EESGT e três áreas no PEJ. Controle= sem queima por três anos; precoce-alta=queimadas em maio 2015, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro de 2015), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

A triagem da biomassa em três amostras coletadas em cada parcela experimental no Jalapão em monocotiledôneas e eudicotiledôneas indicou que mais de um terço do combustível fino é constituído por dicotiledôneas nas áreas experimentais (Tabela 8). E que houve um aumento significativo na quantidade de monocotiledôneas nas áreas controle (não queimadas há três anos) em relação às áreas queimadas no ano anterior (Figura 6), enquanto que a quantidade de biomassa de eudicotiledôneas não varia entre as áreas submetidas a diferentes tipos de queima e as áreas protegidas do fogo. Há uma tendência a redução da biomassa de dicotiledôneas um ano após queimas tardias, o que pode ser explicado pelo aumento da mortalidade de indivíduos arbustivos e arbóreos com diâmetros entre 1 e 5 cm (ver resultados abaixo).

Tabela 8. Proporção de monocotiledôneas e de eudicotiledôneas (média±dp) na biomassa combustível nas áreas experimentais do Jalapão em 2016.

Tratamento	Biomassa (%)	
	Monocotiledôneas	Eudicotiledôneas
controle	64,0±24,5	36,0±24,5
precoce-alta	53,0±24,4	47,0±24,4
tardia	57,8±25,1	42,2±25,1

Controle= sem queima por três anos; precoce-alta=queimadas em maio 2015, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro de 2015), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

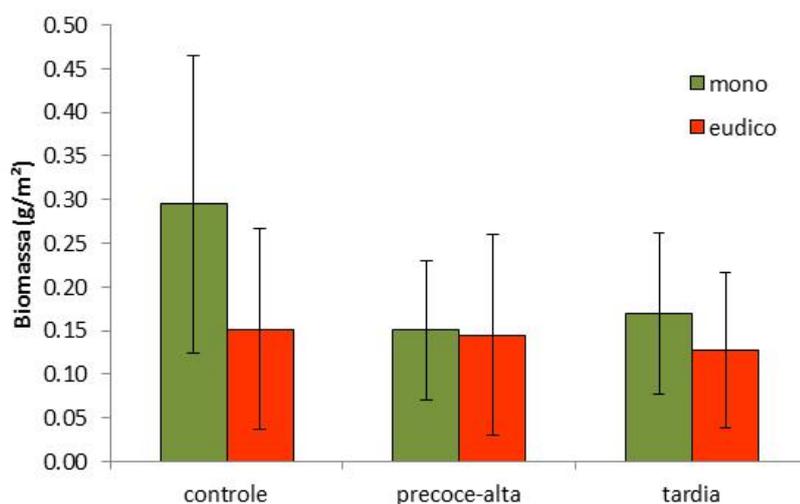


Figura 6. Biomassa combustível (média±dp) de monocotiledôneas e eudicotiledôneas em 2016 nas áreas experimentais na região do Jalapão (TO). Controle= sem queima por três anos; precoce-alta=queimadas em maio de 2015, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro de 2015), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

Biomassa combustível no Parque Nacional da Chapada das Mesas

A coleta de combustível fino em 2015, antes das queimas experimentais, no PNCM também foi realizada em volta das parcelas experimentais de cada área. Como as queimas tardias (setembro) foram realizadas em áreas experimentais distintas das queimas precoces (precoce-alta e precoce-baixa), a média de quantidade de combustível aqui apresentada é única por área, antes das queimas experimentais. Assim como nas áreas experimentais do Jalapão, há variações entre áreas e dentro de cada área (Tabela 7).

Há uma tendência de acúmulo de combustível nas áreas controle não queimadas, tanto de dois para três anos sem queima quanto para três para quatro anos sem queima. Nas áreas não queimadas há dois anos, houve recuperação total da biomassa um ano após todos os tipos de queimadas experimentais realizadas. Nas áreas não queimadas há três anos, um ano após as queimas experimentais, a biomassa fina estava semelhante ao encontrado em áreas não queimadas há um ano e representava entre 71 e 75% da biomassa combustível existente antes do fogo (Tabela 7).

A quantidade de biomassa combustível encontrada no PNCM é menor que a biomassa fina coletada no Jalapão. Estas diferenças podem ser devidas a grande proporção de dicotiledôneas encontradas nas amostras do Jalapão. Estas plantas representam entre 36 e 47% da biomassa coletada no Jalapão e contribuem de forma muito diferente das monocotiledôneas para a propagação do fogo. A proporção de dicotiledôneas no material combustível do PNCM não foi medida, mas observação de campo indicam que esta seja muito menor nesta UC comparada com a região do Jalapão.

Comparação com outros trabalhos e implicações para o manejo

A possibilidade de ocorrência de nova queima em uma área depende do material combustível. Poucos são os estudos que relatam a recuperação da biomassa combustível em áreas de Cerrado, enquanto alguns autores relatam que um ano é o tempo necessário para a total recuperação a biomassa combustível (Andrade 1998; Neto et al. 1998; Cianciaruso et al. 2010), outros estudos (Batmanian & Haridasan 1985; Cardoso et al. 2000b) mostraram que é necessário mais de um ano para que ocorra a total recuperação da biomassa do estrato rasteiro após a queima. Nossos resultados mostram que é necessário um ano para a recuperação de biomassa combustível no PNCM enquanto que neste período a recuperação de biomassa combustível no Jalapão foi de cerca de 70%. Embora espécies do Cerrado possuam características adaptativas ao fogo (Simon & Pennington 2012; Simon et al. 2009), muitas persistirão na área após vários eventos de fogo devido a capacidade de rebrotar de órgãos subterrâneos, em especial as espécies do estrato rasteiro (Bellinghan & Sparrow 2000). Entretanto, a recuperação da vegetação além de estar associada a características de cada espécie, depende também das condições climáticas pré e pós-fogo, em especial da precipitação local.

Estudos de dinâmica do estrato rasteiro após a queima mostram que o maior componente deste estrato, isto é, as gramíneas, possuem uma relação positiva com a precipitação local (Andrade 1998, Neto et al. 1998, Rosa 1990). Desta forma, a época de ocorrência da queima e a quantidade e a regularidade da chuva durante a estação chuvosa seguinte são importantes fatores para a recuperação da biomassa e da cobertura vegetal. A precipitação após as queimadas realizadas em 2015, tanto no Jalapão quanto no PNCM, foram inferiores aos dos anos anteriores (Figura 7). A diferença em relação à média dos anos anteriores (2005 a 2015) foi de 20% no PNCM e de 40% em Porto Nacional, estação meteorológica com dados confiáveis mais próxima ao Jalapão.

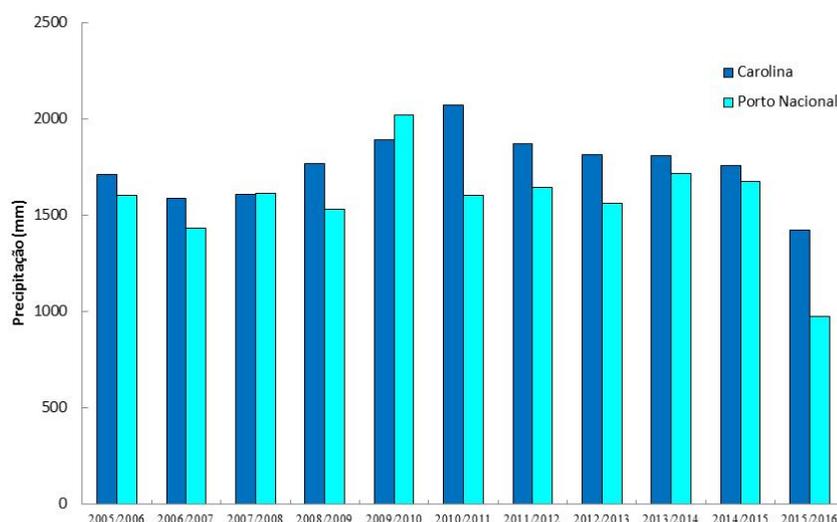


Figura 7. Precipitação anual acumulada por estação chuvosa (de maio de um ano a junho do ano seguinte), dados das estações meteorológicas de Carolina (MA) e Porto Nacional (TO).

Em termos quantitativos, a literatura reporta a ocorrência de queimadas em fitofisionomias campestres com valores de biomassa combustível variando entre 210 e 260g/m² (Barbosa & Fearnside 2005; Cardoso et al. 2000a), assim como a ocorrência de queimadas anuais em campo sujo com biomassa variando entre 340 e 370g/m² (Miranda et al. 2010). Assim, as parcelas experimentais tanto no Jalapão quanto no PNCM podem sofrer queimas anuais. No entanto, no Jalapão, Barradas et al. (2015) relatam que incêndios param nas cicatrizes do fogo do ano anterior. Isto indica que, em escala de paisagem, não há a ocorrência frequente de fogo em um mesmo local dois anos seguidos, talvez devido a qualidade do material combustível.

Nossos resultados para a composição do material analisado para o Jalapão mostram que pouco mais que a metade da biomassa recuperada um ano após o fogo é composta por monocotiledôneas enquanto na parcela controle este componente corresponde a mais de 60% da biomassa. Miranda et al. (2010) reportam que para campo sujo as monocotiledôneas são o principal componente da biomassa combustível

(90%) e o responsável pela propagação do fogo, indicando que a relação monocotiledôneas/dicotiledôneas parece ser importante para a propagação do fogo. Assim, os campos sujos da região do Jalapão parecem ter proporção de dicotiledôneas, que são menos propensas a propagar o fogo, maior que campos sujos de outras regiões do Cerrado. O que corrobora a experiência dos gestores das UC do Jalapão.

As áreas controle (não queimadas) no Jalapão apresentaram pequeno acúmulo de biomassa combustível três anos após última queima (em 2016), tendo em média 109% da biomassa existente nas áreas dois anos após a última queima. Estes resultados, associados à grande proporção de dicotiledôneas nos campos sujos desta região podem indicar que, queimas prescritas de áreas de campo sujo com objetivos de manejo de combustível possam ser feitas com segurança em períodos de início da seca ou veranicos na estação chuvosa inclusive em áreas não queimadas há três ou mais anos. As experiências de queimas prescritas no âmbito do MIF realizadas desde 2014 e as queimas experimentais realizadas em 2015 nestas parcelas de estudo, indicaram que, devido à heterogeneidade e descontinuidade do combustível fino, em algumas áreas, queimas iniciadas após as 16 horas, ou em condições de umidade relativa do ar relativamente alta e ventos lentos, não há propagação do fogo no início da estação seca. Este cenário muda completamente com o aumento da velocidade do vento e redução da umidade do ar a partir do mês de agosto. O que reforça a necessidade de realização de queimas prescritas para o manejo de combustível no início da estação seca ou em veranicos durante a estação chuvosa. As características climáticas e do combustível na região do Jalapão promovem uma janela de oportunidade para a realização de queimas prescritas para manejo de combustível relativamente ampla, permitindo inclusive queimas prescritas de forma segura em áreas sem fogo há dois ou mais anos.

O cenário de acúmulo de biomassa combustível e dominância de monocotiledôneas no estrato herbáceo do PNCM é bem diferente do Jalapão e parece ser mais parecido com de outras regiões mais estudadas do Brasil Central. A biomassa combustível se recupera em apenas uma estação chuvosa pós-queima, quando comparada a áreas que estavam há dois anos sem queima. A biomassa combustível pode inclusive ser maior um ano após a queima do que em áreas dois anos sem queimar. O que pode ser explicado por maiores taxas de rebrota das plantas após a perda de parte aérea provocada pela queima. E este acúmulo é ainda mais significativo em áreas que ficam quatro anos sem queima (Tabela 7, dados de 2016 nas áreas controle que estavam 3 anos sem queima em 2015). Por isto, nesta UC, queimas prescritas de áreas de cerrado ralo com objetivos de manejo de combustível devem ser feitas com cautela em áreas não queimadas há dois ou mais anos. A janela de oportunidade para a realização de queimas prescritas para manejo de combustível no PNCM de forma segura é mais restrita que na região do Jalapão, devendo ser priorizadas queimas nos veranicos e no início da estação seca, observando-se sempre as condições climáticas (temperatura, umidade relativa e velocidade do vento especialmente).

As queimas experimentais precoces de baixa intensidade feitas em 2015 no PNCM parecem ser boa alternativa para realização de queimas prescritas com objetivo

de manejo de combustível nesta UC, e em outras com comportamento de combustível semelhante. Pela alteração do horário e umidade de relativa do ar no momento de início da queima, foi possível fazer queimadas de menor intensidade e velocidade de propagação do fogo. As consequências destas queimas para a vegetação lenhosa foram muito semelhantes às queimas precoces de alta intensidade nas áreas não queimadas há dois anos e menos danosas nas áreas não queimadas há três anos (ver resultados abaixo). É importante ressaltar que apesar de serem de ‘baixa intensidade’, a propagação da frente de fogo nestas queimas foi relativamente alta, com tempos de permanência de altas temperaturas em geral inferiores a dois minutos em um mesmo local. Assim, estas queimas são muito diferentes de algumas queimas realizadas no PNCM e também no Jalapão em 2014 contra o vento, com tempos de permanência de temperaturas acima de 100°C de mais de cinco minutos, o que pode aumentar mortalidade de plantas.

Nestas e em outras regiões, a periodicidade de queimas com outros objetivos, como o favorecimento de alguma espécie de interesse, a atração de fauna, proteção de áreas de vegetação sensíveis devem considerar outros aspectos, além destes aqui apresentados. Adicionalmente, o princípio básico de que se deve, dentro de cada UC, promover a diversidade de regimes de queimas entre áreas de um mesmo tipo de vegetação é importantíssimo. Pois diferentes épocas e frequências de queima certamente favorecerão o crescimento e sobrevivência de diferentes espécies nativas de plantas e animais.

Amostragem da vegetação lenhosa

Nas 96 parcelas que foram amostradas em 2015 e 2016 nas três UC, ou seja 24 hectares, foram marcadas, identificadas e medidas 8.008 plantas lenhosas, pertencentes a 165 espécies de 35 famílias botânicas. Sendo que 4.263 destas plantas tinham diâmetro a 30cm do solo ≥ 5 cm, sendo aqui chamadas de adultas, enquanto que 3.745 destas plantas tinham diâmetro de 1 a 5 cm a altura do solo, sendo aqui chamadas regenerantes. Dentre as dez espécies mais abundantes, que somam mais de 4.600 indivíduos amostrados (mais de 57% do total), apenas quatro são comuns às três UC: *Keilmeyera coriacea*, *Qualea parviflora*, *Hirtella ciliata* e *Pouteria ramiflora* (com 221, 288, 808 e 1.417 indivíduos amostrados, respectivamente). Além destas outras 8 espécies foram amostradas nas três UC estudadas, somando 12 espécies comuns às três UC.

Das 165 espécies amostradas, 82 foram amostradas no PNCM, sendo que 65 delas foram amostradas apenas nesta UC. Na EESGT foram amostradas 67 espécies lenhosas e no PEJ 75, sendo que 42 espécies ocorreram nas duas UC do Jalapão. Assim, 23 espécies lenhosas foram amostradas apenas na EESGT e 31 apenas no PEJ (Tabela 9 e Anexo 2).

Nas três UC, houve diferenças nas espécies amostradas nos dois estratos considerados (regenerantes vs. adultos). No PNCM, de 30 espécies amostradas como adultas não foram encontrados regenerantes, para quatro destas espécies foram

encontrados mais de 20 indivíduos adultos e nenhum regenerante, o que pode indicar uma lacuna de reprodução destas espécies. As 15 espécies amostradas apenas como indivíduos pequenos, são mais raras, tendo sido registrados menos de 12 indivíduos de cada espécie.

Já no Jalapão, houve maiores diferenças entre espécies nos dois estratos amostrados: 44 espécies na EESGT e 50 no PEJ foram amostradas apenas como indivíduos regenerantes, para algumas estas espécies foram registrados mais de 100 indivíduos pequenos e nenhum adulto. Dentre as 5 e 16 espécies registradas apenas como plantas adultas na EESGT e no PEJ, respectivamente, todas tinham densidade baixa, tendo sido registrados menos 18 indivíduos de cada espécie em cada UC. Estes resultados podem ser devido a lacunas de crescimento de indivíduos de espécies arbóreas, inclusive devido a alta frequência de queimas tardias, que causam a perda da parte aérea de indivíduos lenhosos pequenos (ver resultados abaixo); isto pode também estar associado a uma alta diversidade de espécies lenhosas herbáceas e arbustivas, que não crescem muito além dos 5 cm de diâmetro de caule.

Tabela 9. Número de espécies e indivíduos lenhosos amostrados nas três UC estudadas. N spp únicas UC indica número de espécies amostradas em apenas uma das três UC; N spp únicas estrato indica número de espécie que, em uma mesma UC, foram amostradas apenas como indivíduos adultos (e não regenerantes) ou apenas regenerantes.

	EESGT		PEJ		PNCM	
	Adultos (diam>5cm)	Regenerantes (diam=1-5cm)	Adultos (diam>5cm)	Regenerantes (diam=1-5cm)	Adultos (diam>5cm)	Regenerantes (diam=1-5cm)
N espécies	23	62	25	59	67	52
N indivíduos	388	1658	282	1156	2719	1805
N spp. únicas UC	23		31		65	
N spp. únicas estrato	5	44	16	50	30	15

Vegetação lenhosa no Jalapão

Foram marcadas 3.848 plantas lenhosas nas 42 parcelas (10,5 hectares) estabelecidas em 2015 nas duas UC do Jalapão, mais de 80% destas plantas eram regenerantes. Nas 24 parcelas da EESGT foram marcadas 2.046 plantas lenhosas, enquanto que nas 18 parcelas do PEJ, foram acompanhadas 1.438 plantas (Tabela 10).

Tabela 10. Número de indivíduos lenhosos amostrados em 2015, em parcelas experimentais na EESGT (24 parcelas) e PEJ (18 parcelas) submetidas a diferentes tratamentos de Queima precoce de alta intensidade (junho-julho 2016), queimas tardias (setembro de 2016) e protegidas do fogo.

UC	Tratamento	adultos (>5cm)	regenerantes (1-5cm)
EESGT	Sem-fogo	163	593
	Q_precoce	97	559
	Q_tardia	128	506
PEJ	Sem-fogo	130	563
	Q_precoce	86	352
	Q_tardia	66	241

As queimas experimentais tardias provocaram a morte de, em média 4,7% dos indivíduos adultos (diâmetro ≥ 5 cm) na região do Jalapão. Não foi registrada a mortalidade de indivíduos adultos após as queimas precoces. Os dois tipos de queima provocaram aumento, em relação às parcelas não queimadas, na proporção de plantas adultas que sofreram perda total da parte aérea, mas rebrotaram (*topkill*). No Jalapão, em média 5,4% e 13,4% das árvores adultas nas áreas sofreram topkill após as queimas precoces e as queimas tardias, respectivamente (Figura 8). As árvores que não perderam a parte aérea em resposta ao fogo (representadas nos gráficos como ‘vivas’) tendem a ser mais altas que as plantas que sofreram topkill ou foram mortas pelo fogo (Figura 9). Por outro lado, o diâmetro destas árvores adultas parece ter sido menos determinante para a resposta ao fogo (Figura 10).

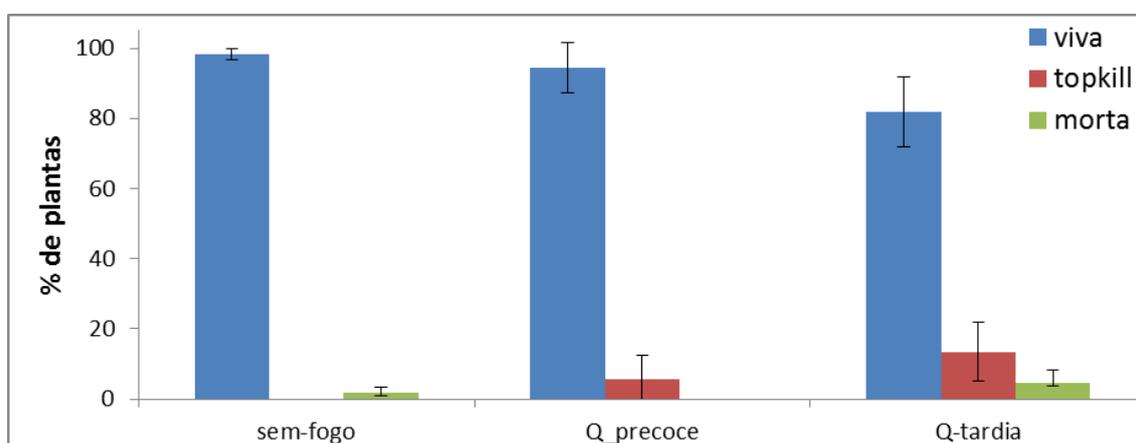


Figura 8. Efeitos de três tratamentos: sem fogo entre 2015 e 2016, queima precoce em junho-julho de 2015 e queima tardia (setembro de 2015), em plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) na região do Jalapão. Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

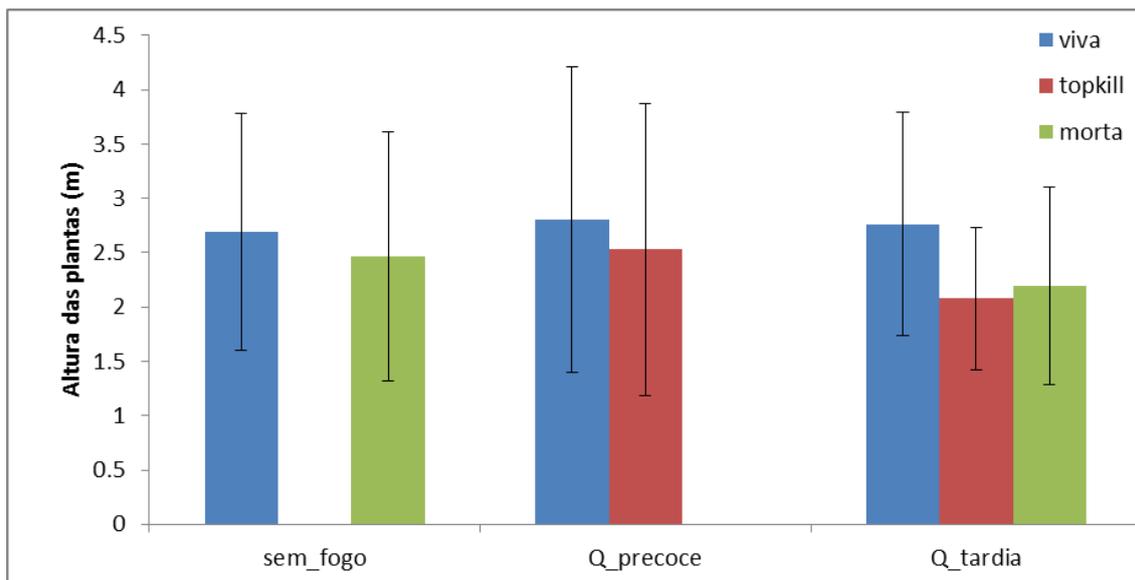


Figura 9. Distribuição de altura de plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) na região do Jalapão, em relação à sua resposta a três tratamentos: sem fogo entre 2015 e 2016, queima precoce em junho-julho de 2015 e queima tardia (setembro de 2015). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

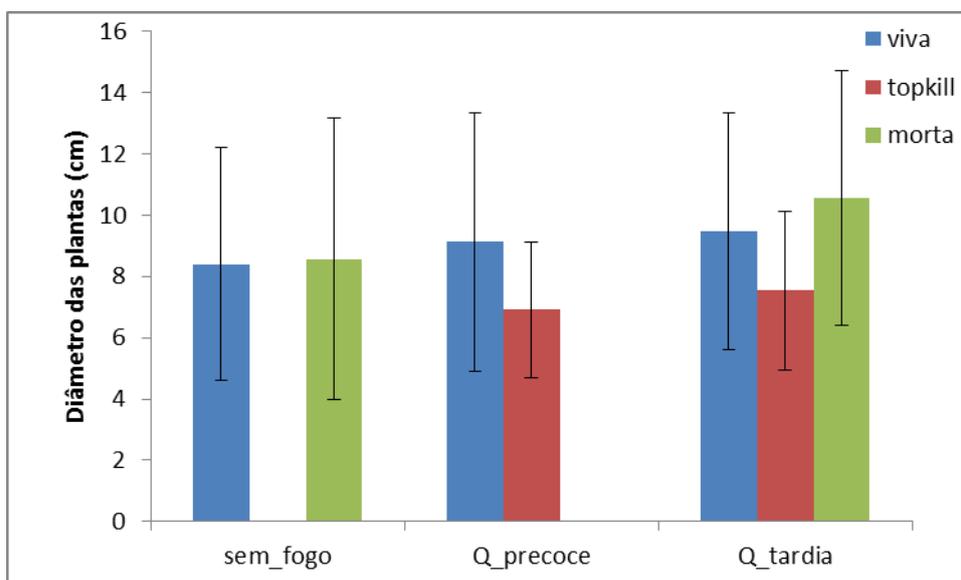


Figura 10. Distribuição de diâmetro do caule a 30cm do solo de plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) na região do Jalapão, em relação à sua resposta a três tratamentos: sem fogo entre 2015 e 2016, queima precoce em junho-julho de 2015 e queima tardia (setembro de 2015). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

As alturas e diâmetros das plantas adultas nas parcelas alocadas para os diferentes tratamentos de queima no Jalapão eram semelhantes em 2015. A mortalidade e perda de parte aérea causadas pelas queimas experimentais provocaram pequena diminuição nos valores médios de altura e diâmetro das árvores em 2016 (Figura 11).

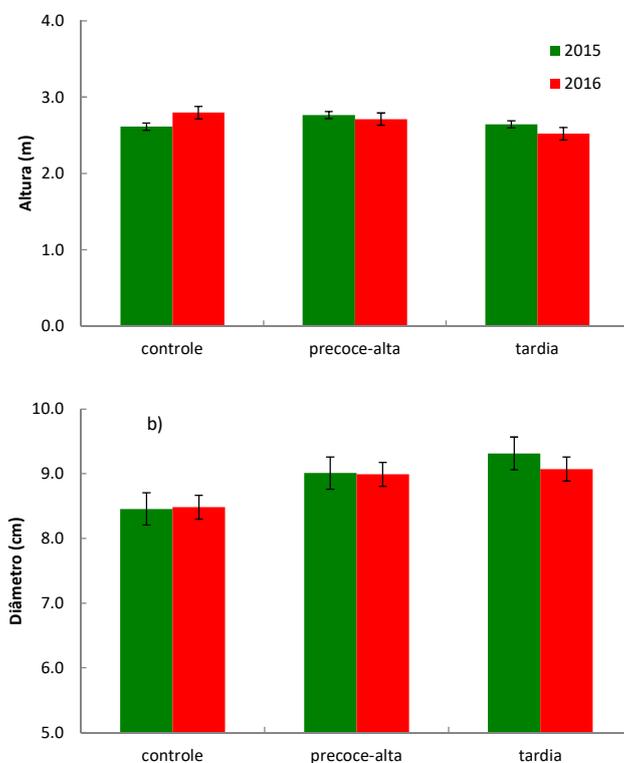


Figura 11. Altura (a) e circunferência (b) (média±ep) da vegetação arbustiva-arbórea (com diâmetro ≥ 5 cm a 30 cm do solo) nas parcelas experimentais submetidas à queima controlada em maio (precoce-alta) e em setembro (tardia) e sem queima (controle), no Jalapão (TO) nos anos de 2015 e 2016.

A resposta de árvores pequenas (regenerantes com diâmetro a altura do solo entre 1 e 5 cm) ao fogo foi bastante diferente das árvores adultas. Os dois tipos de queima provocaram mortalidade muito baixa de plantas (<1%), no entanto, mais de 76 e 97% das plantas sofreram topkill após as queimas precoces e queimas tardias, respectivamente (Figura 12). Também diferentemente das árvores adultas, o diâmetro, e não a altura dos regenerantes parece ter sido mais determinante para a resposta das plantas ao fogo (Figuras 13 e 14). As plantas que não perderam a parte aérea ('vivas') tendem a ser plantas com diâmetros maiores do que as plantas que sofreram topkill ou morte. Isto pode se explicar pelo fato de a maior parte destas plantas terem alturas baixas, sendo portanto totalmente atingidas pela frente de fogo (abaixo da altura de escape do fogo). Assim, apenas plantas com diâmetros maiores podem não perder todo seu tecido aéreo devido às altas temperaturas.

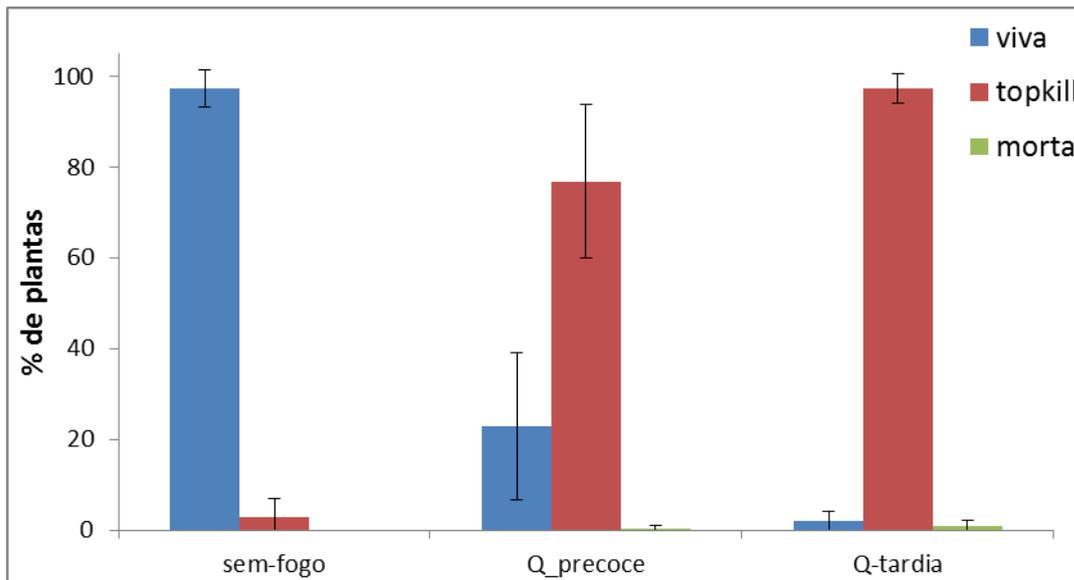


Figura 12. Efeitos de três tratamentos: sem fogo entre 2015 e 2016, queima precoce em junho-julho de 2015 e queima tardia (setembro de 2015), em plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) na região do Jalapão. Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

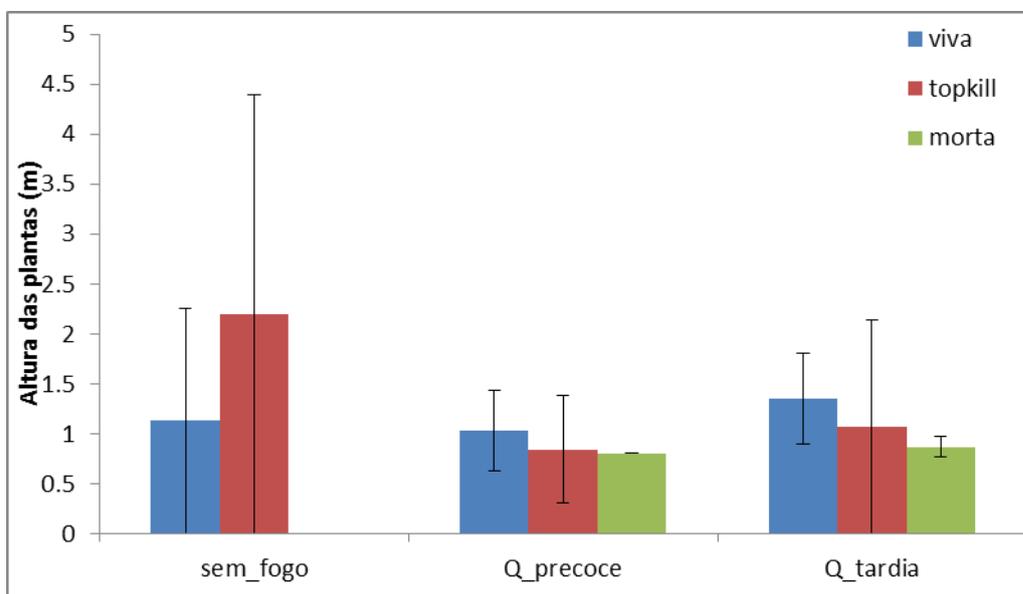


Figura 13. Distribuição de altura de plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) na região do Jalapão, em relação à sua resposta a três tratamentos: sem fogo entre 2015 e 2016, queima precoce em junho-julho de 2015 e queima tardia (setembro de 2015). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

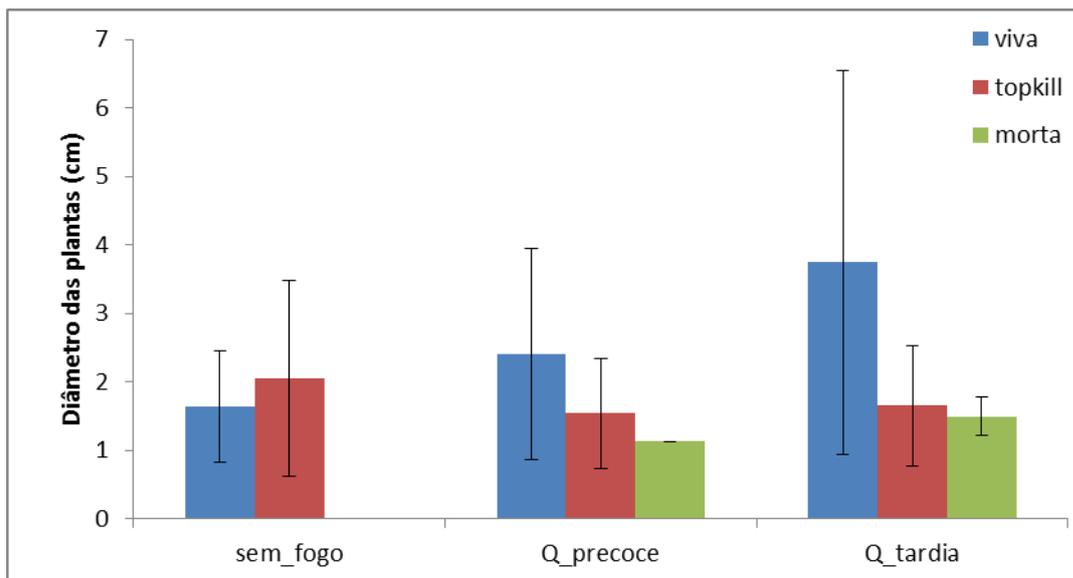


Figura 14. Distribuição de diâmetro de plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) na região do Jalapão, em relação à sua resposta a três tratamentos: sem fogo entre 2015 e 2016, queima precoce em junho-julho de 2015 e queima tardia (setembro de 2015). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

Em todas as parcelas houve o recrutamento de indivíduos, e o número médio de indivíduos recrutados por hectare variou entre tratamentos (Figura 15). Houve maior recrutamento de novos indivíduos nas parcelas controle, com em média 870 indivíduos/ha, o que corresponde a um aumento de 71% na densidade de indivíduos regenerantes nas parcelas. Este aumento foi de 40% (448 indivíduos/ha) nas parcelas submetidas a queimas precoces e de 26% (215 indivíduos/ha) nas parcelas de queima tardia.

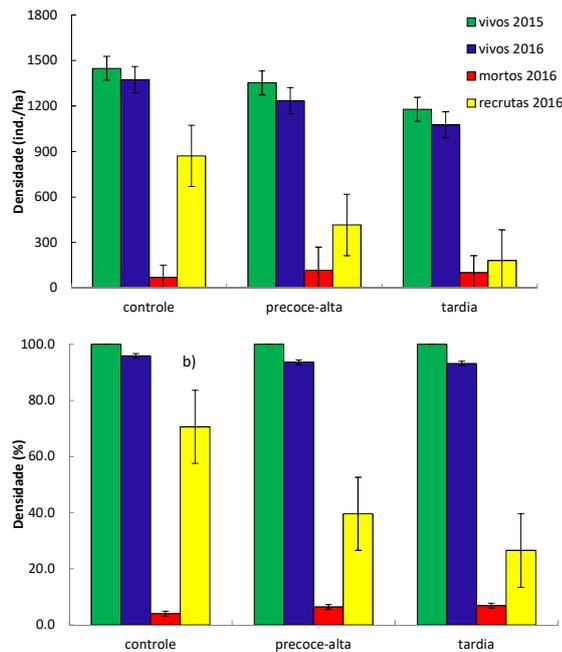


Figura 15. Densidade (média \pm ep) dos indivíduos pequenos (diâmetro basal entre 1 cm e 5 cm - a) e a proporção de indivíduos pequenos (b) nas parcelas experimentais de queima controlada no Jalapão (TO) nos anos de 2015 e 2016. Controle= sem queima; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

O número de rebrotas por indivíduo variou de um a mais de dez rebrotas por indivíduo (Figura 16). Não houve diferenças no número de indivíduos apresentando até três rebrotas em 2015 e 2016, pois representa mais de 93% dos indivíduos na parcela controle em 2015 e 94% em 2016. Nas parcelas queimadas a proporção é maior, sendo de 97% e 94% em 2015 nas parcelas precoce-alta e tardia e em 2016, de 95% e 94% nas parcelas precoce-alta e tardia.

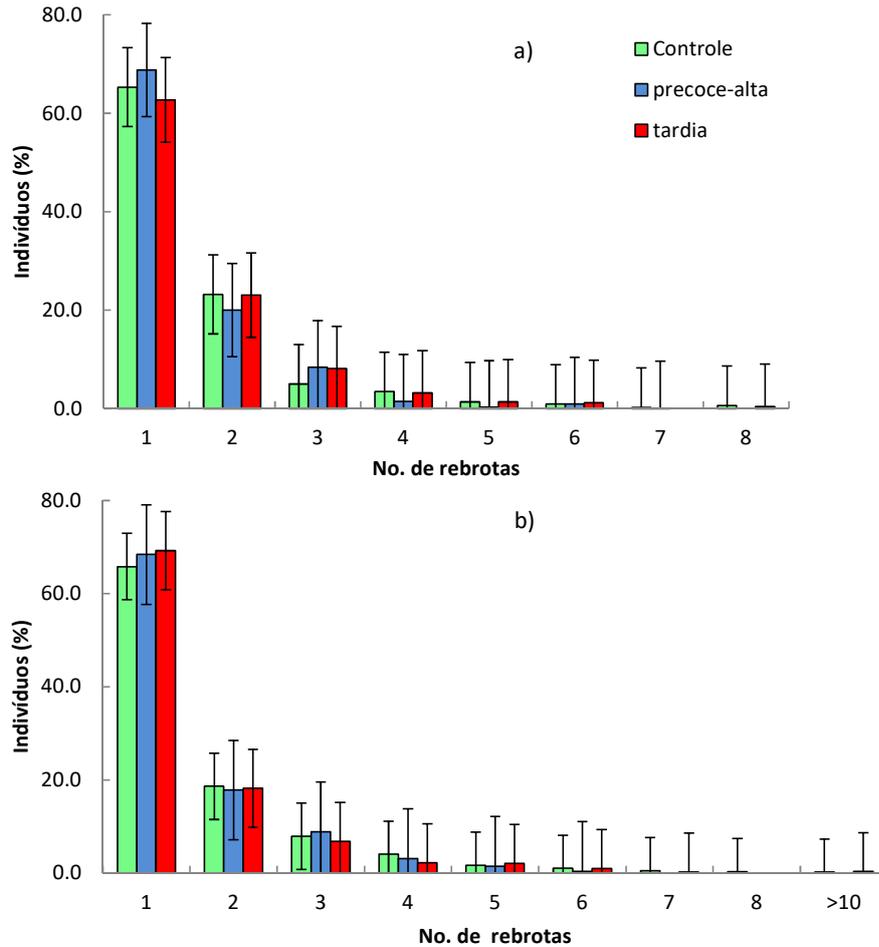


Figura 16. Indivíduos regenerantes (diâmetro basal entre 1 cm e 5 cm) e o número de rebrotas (média±ep) antes da queima (a) e um ano após a queima (b) no Jalapão (TO) nos anos de 2015 e 2016. Controle= sem queima; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

Vegetação lenhosa no Parque Nacional da Chapada das Mesas

Foram marcadas 4.524 plantas lenhosas nas 54 parcelas (13,5 hectares) estabelecidas no PNCM, cerca de 40% destas plantas eram regenerantes (Tabela 11).

Tabela 11. Número de indivíduos lenhosos amostrados em 2015, em 54 parcelas experimentais no PNCM submetidas a diferentes tratamentos de queima. Controle=sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar). O tempo desde a última queima (2 ou 3 anos sem fogo) refere-se ao ano de queimas experimentais (2015).

PNCM	2 anos sem fogo		3 anos sem fogo	
	Adultos (diam>5cm)	Regenerantes (diam=1- 5cm)	Adultos (diam>5cm)	Regenerantes (diam=1- 5cm)
sem-fogo	346	189	487	312
Q_precoce-baixa	386	237	438	315
Q_precoce-alta	371	253	414	252
Q_tardia	277	247	0	0

As queimas experimentais tardias provocaram a morte de, em média 5,85% dos indivíduos adultos (diâmetro ≥ 5 cm) em áreas não queimadas há dois anos no PNCM. A mortalidade de indivíduos adultos em áreas submetidas a queimas precoces foi entre 2,5 e 4,0% nas queimas precoces de baixa intensidade quanto de alta intensidade, em áreas com intervalo de queima de 2 e 3 anos (Figuras 17 e 18). A queima tardia provocou a perda da parte aérea de, em média 16% das árvores adultas, enquanto que as queimas precoces, tanto de baixa intensidade quanto de alta intensidade, em áreas com intervalo de queima de 2 e 3 anos provocaram perdas de parte aérea (topkill) de árvores adultas em proporções menores, variando de 2,45 a 3,70% das árvores. A altura e diâmetro das árvores adultas que permaneceram vivas entre 2015 e 2016 tenderam a ser maiores do que das árvores que morreram ou sofreram topkill após as queimas experimentais (Figuras 19 a 22). Mas como o número de indivíduos mortos ou com topkill foi baixo, a variação nestes valores é alta.

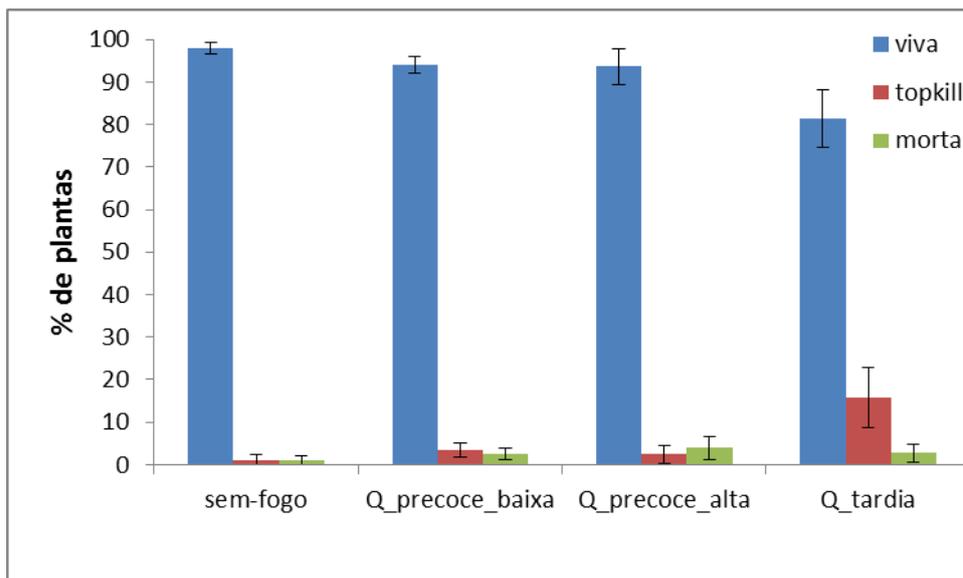


Figura 17. Efeitos de quatro tratamentos de queima experimentais em plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) no PNCM em parcelas sem queima há 2 anos. Controle= sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade $< 50\%$, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

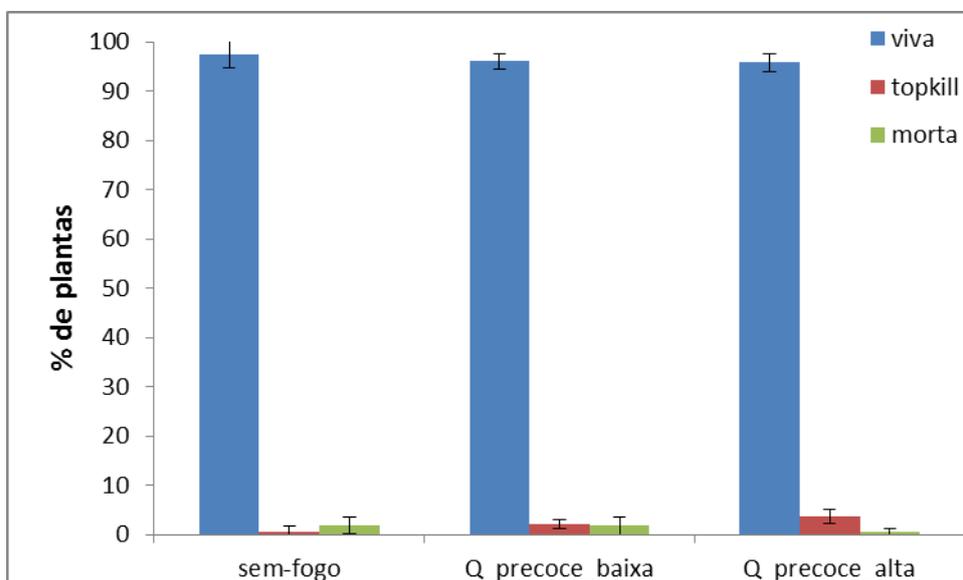


Figura 18. Efeitos de quatro tratamentos de queima experimentais em plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) no PNCM em parcelas sem queima há 3 anos. Controle= sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade $< 50\%$, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

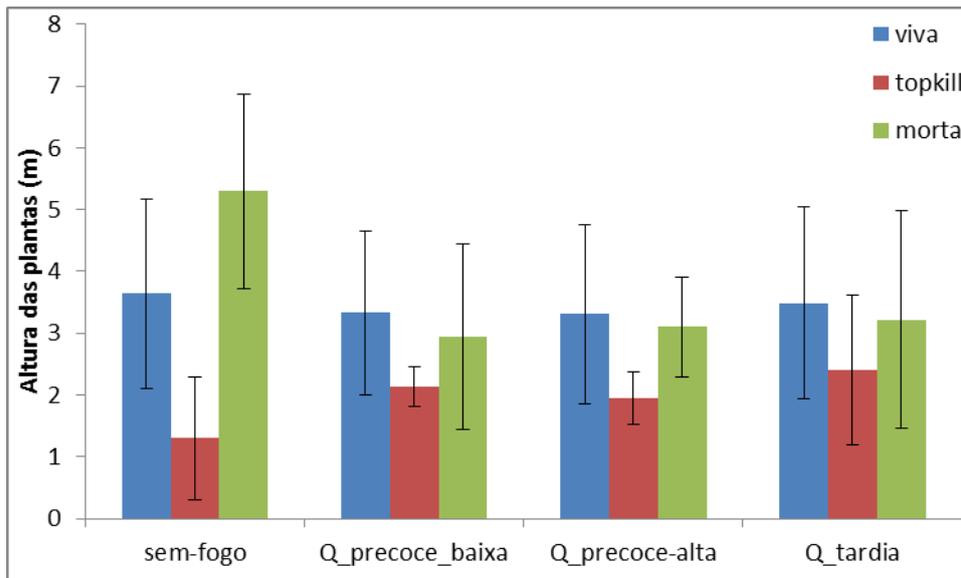


Figura 19. Distribuição de altura de plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) no PNCM, em relação à sua resposta a quatro tratamentos em áreas não queimadas há dois anos. Controle=sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade $< 50\%$, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

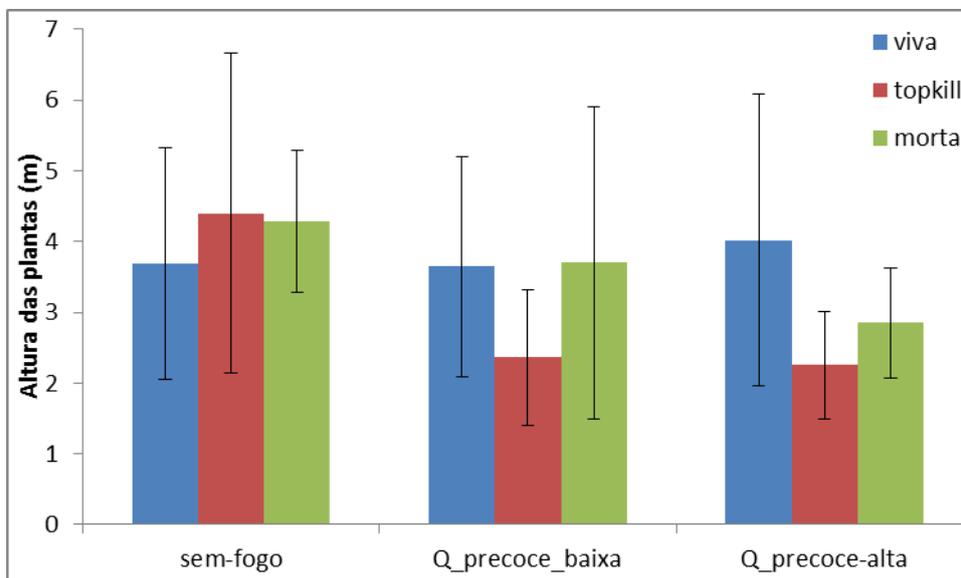


Figura 20. Distribuição de altura de plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) no PNCM, em relação à sua resposta a quatro tratamentos em áreas não queimadas há três anos. Controle= sem-fogo; precoce-baixa= queimadas em maio, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar $> 50\%$; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade $< 50\%$, menos amenas);

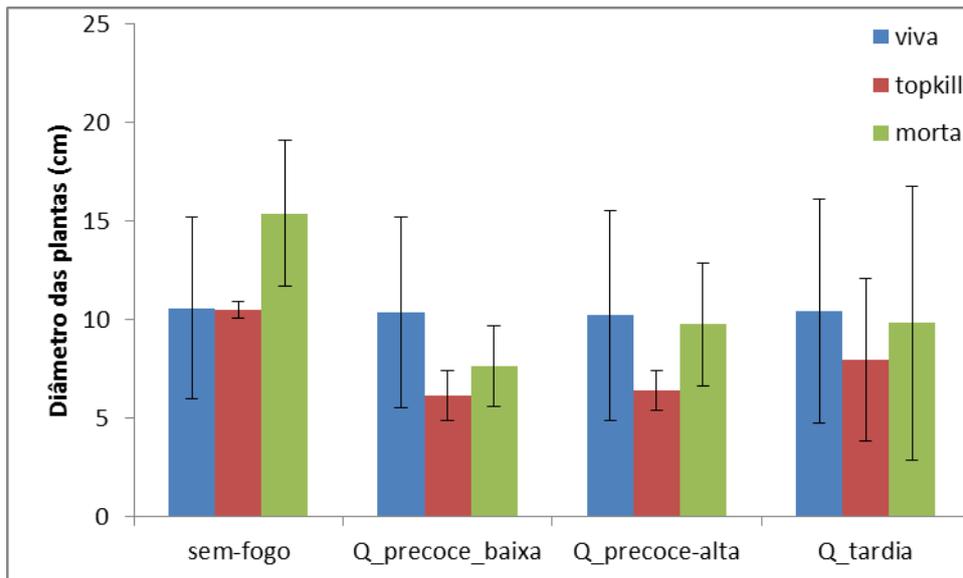


Figura 21. Distribuição de diâmetro de plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) no PNCM, em relação à sua resposta a quatro tratamentos em áreas não queimadas há dois anos. Controle=sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade $< 50\%$, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

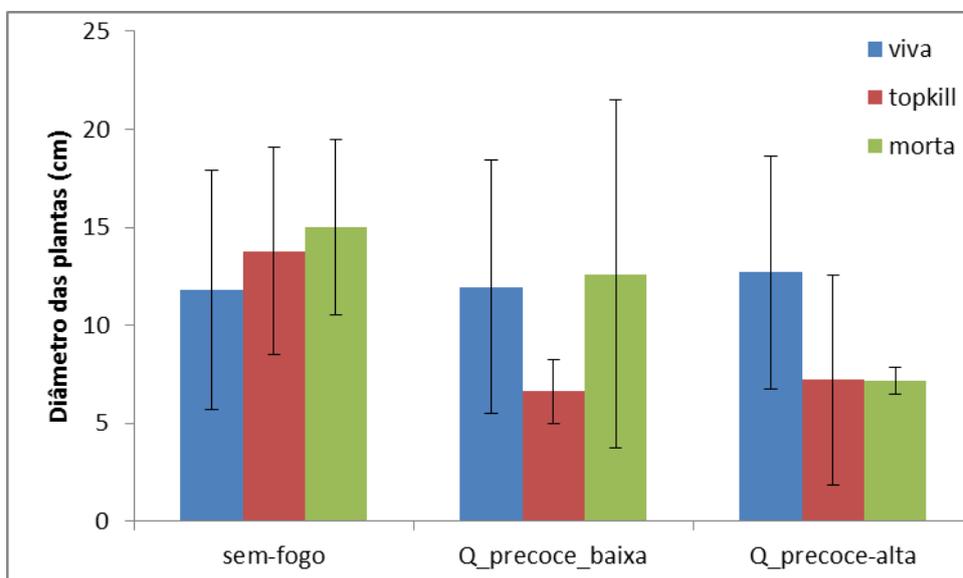


Figura 22. Distribuição de diâmetro de plantas adultas (diâmetro ≥ 5 cm) no PNCM, em relação à sua resposta a quatro tratamentos em áreas não queimadas há três anos. Controle= sem-fogo; precoce-baixa= queimadas em maio, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar $> 50\%$; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade $< 50\%$, menos amenas).

Assim como no Jalapão, as queimas experimentais causaram maior mortalidade e perda de parte aérea de árvores regenerantes do que de árvores adultas no PNCM. A mortalidade e especialmente topkill foi maior nas queimas tardias em áreas não queimadas há dois anos (Figura 23). A taxa de topkill nas queimas precoces de alta intensidade nas áreas com combustível acumulado há três anos (95%) foi maior que o encontrado nas queimas precoces sem queima há três anos (80%) e inclusive em média maior que a proporção de topkill em plantas regenerantes após queimas tardias em áreas há dois anos sem queima (90%). Isto indica que com esta quantidade de combustível acumulado, queimadas de manejo mesmo no início da estação seca podem ter efeitos bastantes consideráveis sobre a vegetação lenhosa.

Assim como encontrado nas parcelas no Jalapão, a mortalidade e perda da parte aérea dos indivíduos arbóreos regenerantes parece ter sido melhor explicada pelo diâmetro das plantas do que por sua altura, já que estas plantas estão, em geral, na mesma altura do estrato herbáceo e são totalmente atingidas pelas chamas (Figuras 25 a 28).

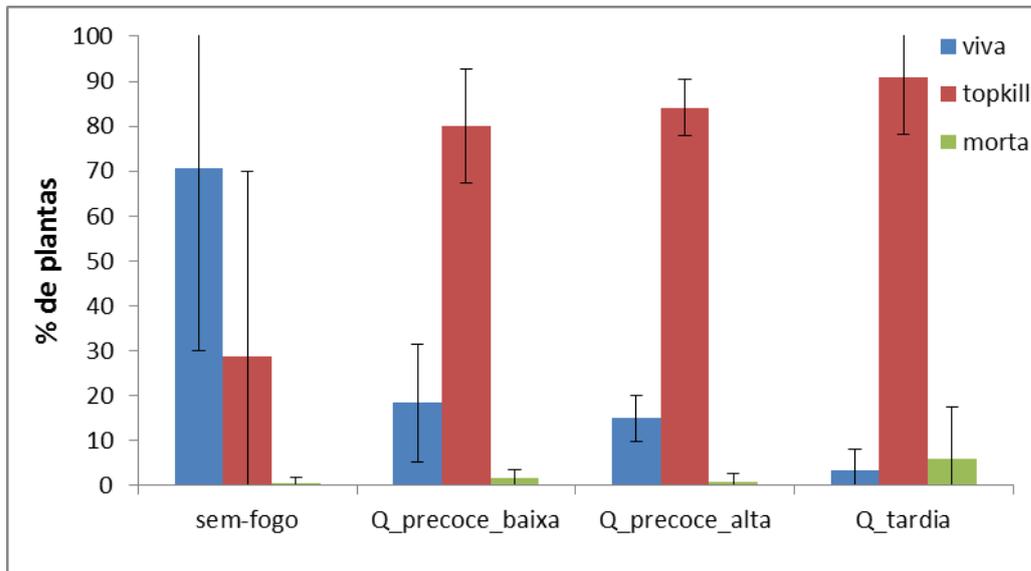


Figura 23. Efeitos de três tratamentos de queima experimentais em plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) no PNCM em parcelas sem queima há 2 anos. Controle= sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

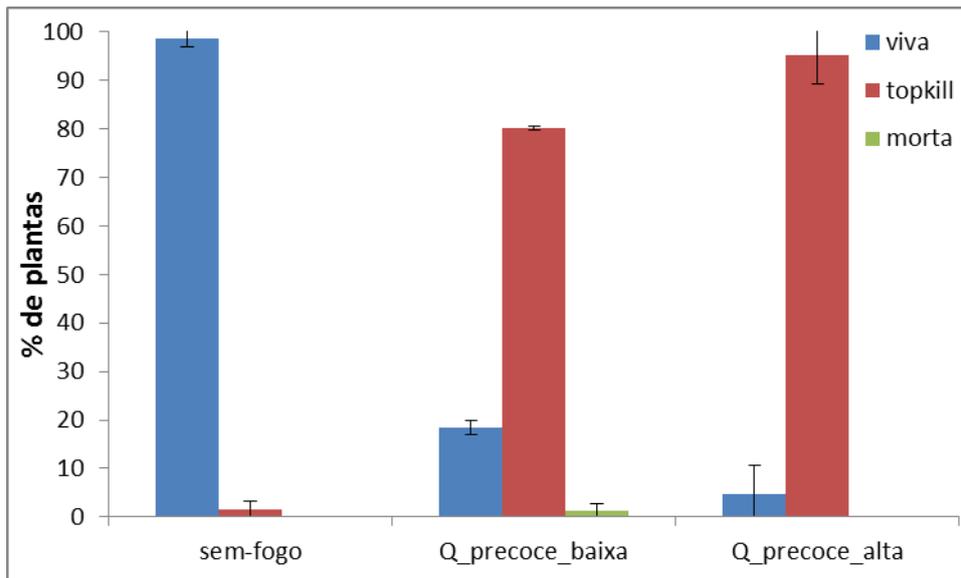


Figura 24. Efeitos de três tratamentos de queima experimentais em plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) no PNCM em parcelas sem queima há 3 anos. Controle= sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

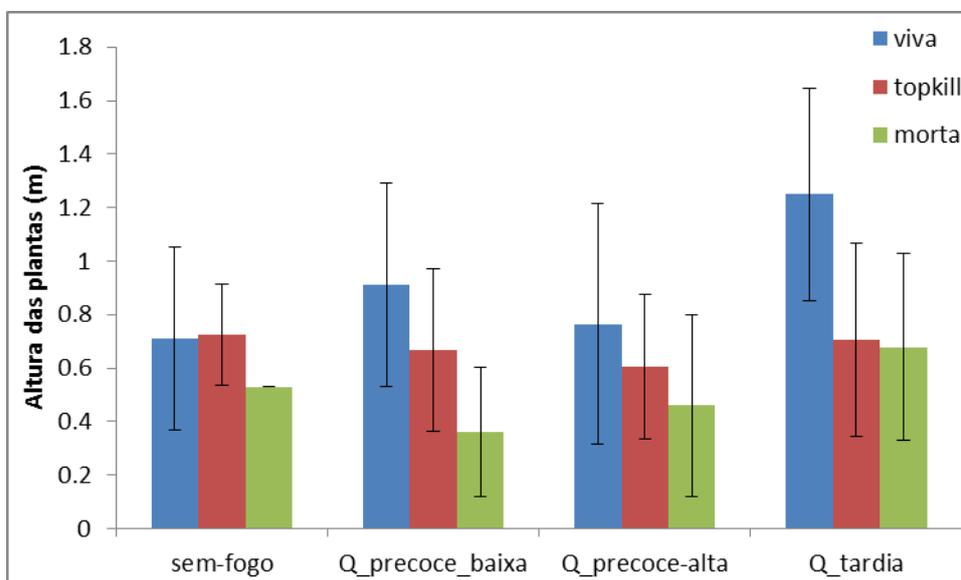


Figura 25. Distribuição de altura de plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) no PNCM, em relação à sua resposta a quatro tratamentos em áreas não queimadas há 2 anos. Controle=sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

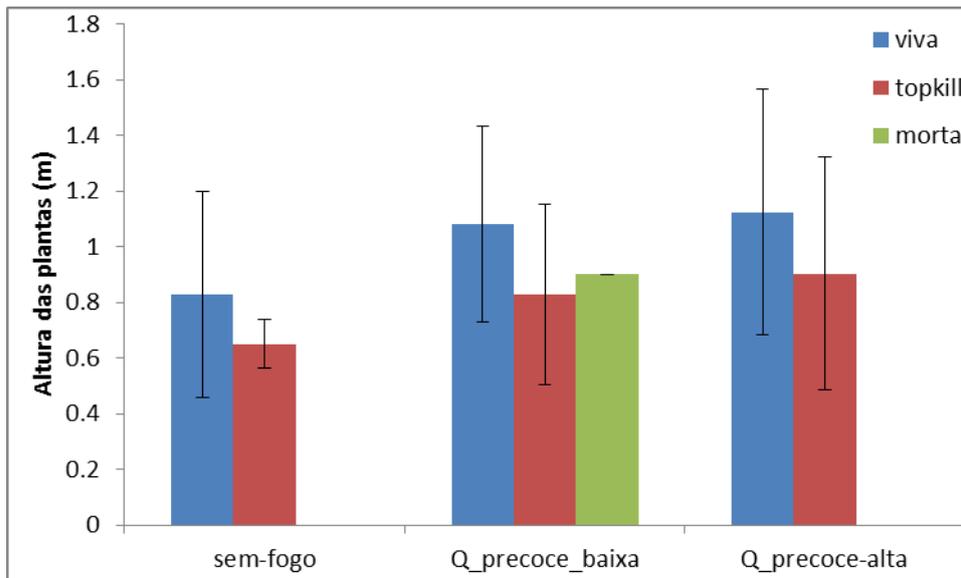


Figura 26. Distribuição de altura de plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) no PNCM, em relação à sua resposta a quatro tratamentos em áreas não queimadas há 3 anos. Controle=sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

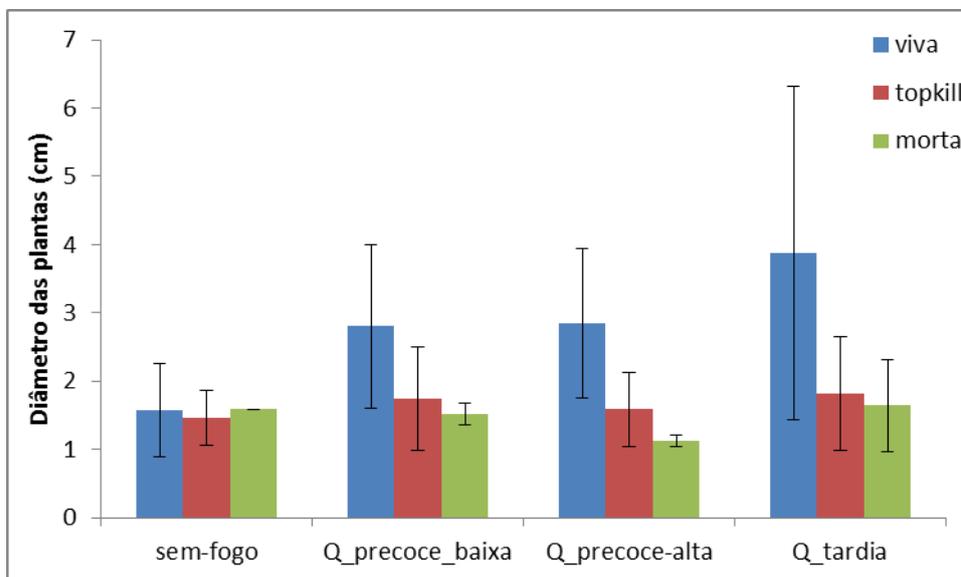


Figura 27. Distribuição de diâmetro de plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) no PNCM, em relação à sua resposta a quatro tratamentos em áreas não queimadas há 2 anos. Controle=sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

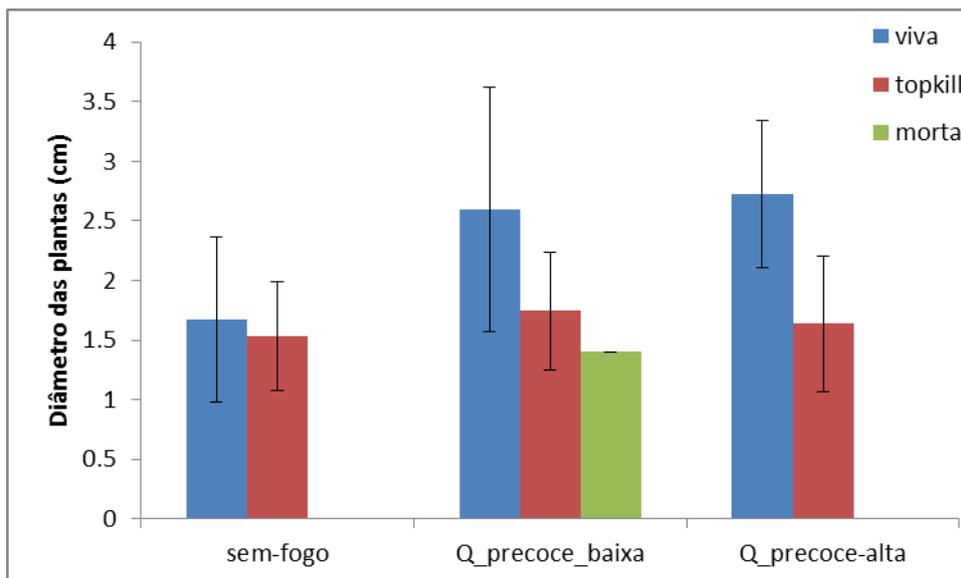


Figura 28. Distribuição de diâmetro de plantas regenerantes (diâmetro 1-5cm) no PNCM, em relação à sua resposta a quatro tratamentos em áreas não queimadas há 3 anos. Controle=sem-fogo; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas). Viva: planta não perdeu totalmente a parte aérea; Topkill: planta perdeu totalmente a parte aérea, mas rebrotou e continua viva, independentemente de seu tamanho atual; ou Morta: planta perdeu a parte aérea e não há evidências de rebrota.

As alturas e diâmetros das plantas adultas nas parcelas alocadas para os diferentes tratamentos de queima no PNCM eram semelhantes em 2015, com uma tendência a médias de alturas maiores para as plantas localizadas em parcelas que não havia sido queimadas há três anos. De forma geral houve aumento da altura e do diâmetro médio das árvores no período de estudo, com exceção do tratamento de queima tardia, onde a mortalidade de árvores provavelmente causou redução da altura média das plantas amostradas (Figura 29).

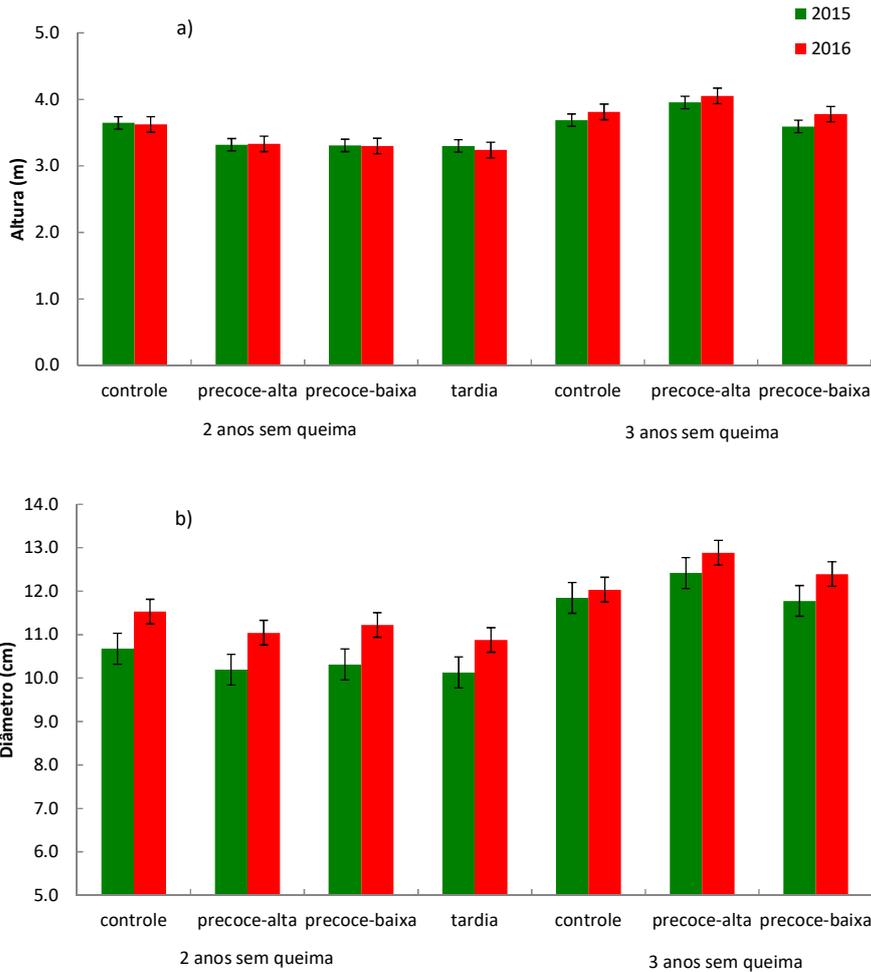


Figura 29. Altura (a) e circunferência (b) (média±erro) da vegetação arbustiva-arbórea (com diâmetro ≥ 5 cm a 30 cm do solo) nas parcelas experimentais submetidas à queima no Parque Nacional das Chapada das Mesas (MA) nos anos de 2015 e 2016. Controle= sem queima; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade $< 50\%$, menos amenas); precoce-baixa=queimadas em maio, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar $> 50\%$; tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

Também no PNCM, houve recrutamento em todas as parcelas de estudo, e o número médio de indivíduos recrutados por hectare variou entre tratamentos (Figura 30). O recrutamento foi maior nas parcelas sem queima há três anos. Para as parcelas controle, o recrutamento médio foi de 452 indivíduos/ha, isto é, 52% de aumento no número de indivíduos inventariado em 2015. Recrutamento de 235 indivíduos/ha (35%) e 317 indivíduos/ha (31%) foram registrados nas parcelas precoce-alta e precoce-baixa. Já nas parcelas sem queima há dois anos, o recrutamento foi, em média, de 133 indivíduos/ha (14%) nas áreas não queimadas e de 267 indivíduos/ha (25%) e 263 indivíduos/ha (35%) nas parcelas precoce-alta e precoce-baixa. Já nas parcelas

submetidas a queimas tardias, o recrutamento foi de, em média, 108 indivíduos/ha (23%).

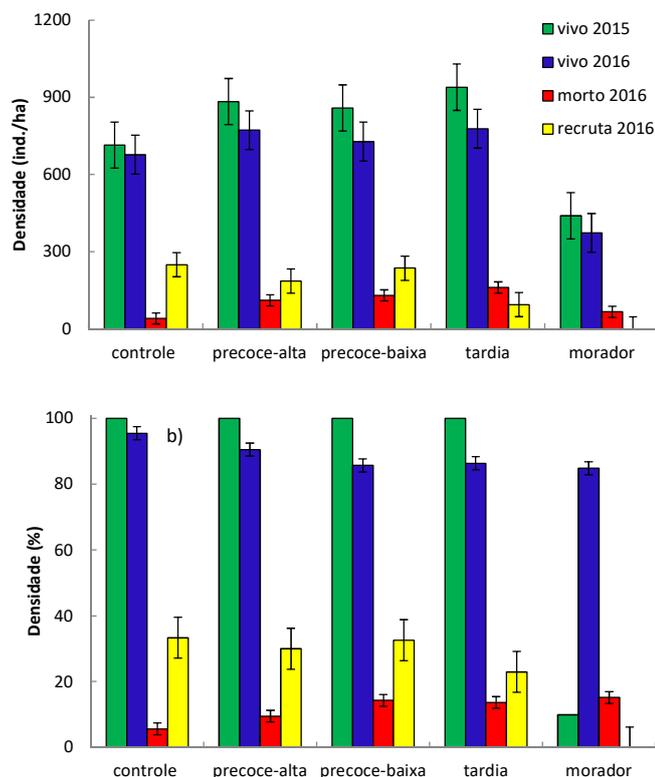


Figura 30. Densidade (média±ep) dos indivíduos pequenos (diâmetro basal entre 1 cm e 5 cm - a) e a proporção de indivíduos pequenos (b) nas parcelas experimentais de queima controlada no Parque Nacional das Chapada das Mesas (MA) nos anos de 2015 e 2016. Controle= sem queima; precoce-alta=queimadas em maio, durante o dia (temperatura elevada e umidade < 50%, menos amenas); precoce-baixa=queimadas em maio, no final da tarde (após as 17:30 h e com umidade relativa do ar > 50%; tardia= no final da estação seca (setembro), simulando incêndios (baixa umidade e alta temperatura do ar).

Os resultados encontrados neste trabalho indicam que a mortalidade de indivíduos lenhosos em resposta aos diferentes tipos de fogo é eventual, indicando que a vegetação arbustiva-arbórea é persistente, apresentando alta capacidade de rebrotamento, seja pela porção aérea do indivíduo ou por órgãos subterrâneos (hipógeo), como observado por Coutinho (1982), Rocha-Silva (1999) e por Medeiros & Miranda (2008). A resistência dos indivíduos arbóreos adultos (diâmetro ≥ 5 cm) se dá provavelmente devido à espessura da casca e a altura da copa destes indivíduos acima da altura das chamas. Por outro lado, grande parte dos indivíduos menores (diâmetros de 1-5cm) perdeu a parte aérea (topkill) devido à passagem do fogo, especialmente após queimadas tardias. A persistência destes indivíduos nas áreas se deu por rebrota a partir de órgãos subterrâneos.

Estudos indicam que espessura da casca superior a 6 mm garante a sobrevivência de 50% dos indivíduos arbustivo-lenhosos e que a mortalidade pode ser reduzida para 40% quando a espessura da casca for superior a 9 mm (Hoffmann & Solbrig 2003). Já Guedes (1993) e Rocha-e-Silva & Miranda (1996) mostram que a espessura mínima de 6 a 8 mm pode garantir a proteção efetiva do câmbio, uma vez que o isolamento térmico proporcionado pela casca é uma estratégia eficiente para escapar das altas temperaturas durante o fogo. Medeiros & Miranda (2005) sugerem que o diâmetro mínimo de 5 cm garante essa espessura de casca e, conseqüentemente, a mortalidade é baixa para indivíduos com diâmetro ≥ 5 cm. Os autores mostraram que a mortalidade de indivíduos lenhosos com mais de 5 cm de diâmetro em um campo sujo submetido a queima após 30 anos de proteção contra o fogo foi de 5% e que 95% dos indivíduos mortos tinham diâmetro entre 2 cm e 5 cm, de diâmetro, sugerindo aumento na eficiência da casca como órgão de proteção ao câmbio vasos diâmetros ≥ 5 cm.

A capacidade rebrota após o fogo a partir de órgãos subterrâneos em indivíduos lenhosos pequenos e espécies herbáceas é relatada por diversos autores (Rizzini & Ferri 1962, Warming & Ferri 1973, Coutinho 1982, Rosa 1990, Medeiros & Miranda 2008, Simon et al. 2009, Simon & Pennington 2012). Nossos resultados indicam que a mortalidade é baixa e a recomposição da biomassa aérea dos indivíduos lenhosos pequenos (1 cm a 5 cm de diâmetro basal) é alta. De forma geral, como resultado do fogo ocorre a mortalidade da parte aérea (top kill) com rebrotamento pela base ou por órgãos subterrâneos, indicando que a presença de órgãos subterrâneos é uma eficiente estratégia de manutenção de um grande número de indivíduo com porte de juvenis, isto é, baixo recrutamento para o estrato arbustivo-arbóreo. Os valores encontrados para os indivíduos pequenos nas parcelas experimentais são similares aos registrados por Cardinot (1998) para rebrotas de *Kielmeyera coriacea* que atingiram a altura máxima de 83 cm e diâmetro de 1 cm, cinco meses após uma queimada prescrita. Esta informação sugere que poucos indivíduos pequenos são capazes de sair da zona de chamas, considerando tanto a altura quanto o diâmetro e, desta forma, gastam as reservas acumuladas nos órgãos subterrâneos para persistir na área via rebrota. Entretanto, queimadas em alta frequência podem reduzir a quantidade de reservas armazenadas resultando em redução no número e no vigor destas rebrotas (Medeiros & Miranda 2008).

O efeito da altura de escape ao fogo pode ser notada na resposta das árvores com diâmetros ≥ 5 cm aos diferentes eventos de fogo, em que a grande maioria destas plantas não teve nenhuma evidência de dano à parte aérea. Nestes casos, é provável que as chamas não tenham atingido a copa das árvores e nem danificado ramos ou folhas. Por outro lado, registramos a ocorrência de rebrotas aéreas (epígeas) em árvores submetidas às queimas prescritas, provavelmente em resposta a danos à copa, seja por efeito direto de chamas ou por exposição ao ar quente proveniente das correntes convectivas ou pela queima parcial da copa (Miranda et al. 2002; 2010).

Implicações para o manejo

Os resultados aqui apresentados tem diversas limitações, especialmente o curto período de estudo e o fato deste ter ocorrido em um ano com pluviosidade abaixo da média histórica para o Cerrado e para as regiões estudadas. Será importante continuar o monitoramento das parcelas estabelecidas e, se for de interesse das UC, realizar mais queimas experimentais nestas ou outras parcelas para melhorar a compreensão dos efeitos de diferentes tipos de queima e regimes de fogo sobre a vegetação graminóide e herbácea, bem como a vegetação arbustivo-arbórea.

Os resultados aqui encontrados são semelhantes ao esperado com base em estudos anteriores feitos no Cerrado e em outras savanas, exceto sobre os efeitos dos diferentes tipos de queimas precoces testadas no PNCM. Dificilmente os resultados de um ano de experimentos poderão ser suficientes para o planejamento de ações de manejo de fogo, especialmente com objetivos de conservação, como o favorecimento de espécies-alvo e atração de fauna, o que reforça a necessidade de monitoramento por médio e longo prazo destas áreas de estudo. No entanto, é possível destacar algumas implicações dos resultados aqui apresentados para o planejamento de ações de manejo de fogo com vistas ao manejo de combustível fino e prevenção de incêndios nas UC estudadas, bem como para estudos futuros.

- 1- A ocorrência de qualquer tipo de queima causa mortalidade, e principalmente perda da parte aérea de árvores, especialmente das árvores menores (diâmetros <5cm). Assim, queimas muito frequentes em uma mesma área impedem o crescimento de indivíduos arbóreos, mantendo a vegetação aberta (formações campestres ou de cerrado ralo, por exemplo).
- 2- Esta mortalidade e perda de parte aérea são maiores após queimas tardias, ao final da estação seca. Assim, mesmo que haja impacto à vegetação lenhosa, as queimas precoces causam menor dano às árvores e à estrutura da vegetação (densidade de indivíduos arbóreos grandes, acima da altura média do estrato graminóide) do que os incêndios que frequentemente ocorrem no final da estação seca.
- 3- Como o dano à vegetação lenhosa foi correspondente à intensidade de fogo, e esta é diretamente relacionada à quantidade de combustível fino existente na área e a variáveis ambientais, em especial velocidade do vento e umidade relativa do ar, estas variáveis devem ser levadas em consideração para o planejamento e execução de queimas prescritas com objetivos de manejo.
- 4- As queimas precoces de alta intensidade feitas no PNCM em áreas com acúmulo de combustível de três anos tiveram intensidade e consequências para a vegetação lenhosa semelhantes às queimas tardias, realizadas em áreas com acúmulo de combustível de dois anos, e mais severas que as queimas precoces

de baixa intensidade realizadas também em áreas com acúmulo de três anos de combustível. Isto indica que esperar algumas horas para iniciar queimas prescritas em áreas com acúmulo de combustível por três ou mais anos não só aumenta a segurança para a realização das queimas, como reduz os danos destas queimas à vegetação. Medidas em campo indicaram que em poucas horas, no final da tarde, início da noite, a umidade do ar fica acima de 50% durante os meses de abril e maio, no PNCM. É provável que estas condições ambientais também ocorram em veranicos durante a estação chuvosa.

- 5- A presença de tantos indivíduos arbóreos pequenos (regenerantes, entre 1 e 5cm de diâmetro), nas áreas estudadas, especialmente no Jalapão, indica que a ocorrência de queimas frequentes, especialmente no final da estação seca não permite o crescimento destas plantas. Assim, o aumento do intervalo de queimas pode ser um objetivo de manejo para algumas áreas dentro das UC para permitir o crescimento destes indivíduos. Este objetivo, no entanto deve ser planejado de forma a não aumentar o risco de ocorrência de incêndios devido ao acúmulo de combustível em grandes áreas.
- 6- A grande proporção de dicotiledôneas e a recuperação da biomassa combustível de forma relativamente lenta no Jalapão permite que a realização de queimas prescritas nas áreas de campo sujo seja feita em janelas de intervalos longas, incluindo veranicos e os primeiros meses de seca.
- 7- O tipo e ritmo de acúmulo de biomassa combustível no Jalapão parece permitir a realização de queimas prescritas com segurança inclusive em áreas de campo sujo sem queima há mais de dois anos.
- 8- É importante ressaltar que não há nenhuma informação sobre os efeitos de queimadas durante o período chuvoso para o Cerrado. Assim, é possível que queimas realizadas em veranicos durante a estação seca sejam bastante seguras para o manejo de combustível mas tenham efeitos indesejados na vegetação e na fauna, especialmente caso as queimas ocorram durante períodos reprodutivos de plantas e animais. Assim, recomenda-se que este não seja o único tipo de queima prescrita realizada e que não seja feito em grandes extensões, para manter áreas de refúgio e/ou regeneração e manutenção das populações que sejam eventualmente prejudicadas por queimas neste período.

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 queima. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.

Ayres, M., Ayres-Jr, M., Ayres, D.L. & Santos, A.A.S. 2007. BioEstat aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Belém, Brasil.

Barbosa, R.I. & Fearnside, P.M. 2005. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 216: 295-316.

Barradas, A.C.S., Borges, M.A. & Costa, M.M. 2015. Relatório de gestão “O manejo do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT)” <http://cerradojalapao.mma.gov.br/biblioteca/categorias/manejo-integrado-e-adaptativo-do-fogo>, acesso em 20/07/2016.

Batmanian, G.J. & Haridasan, M. 1985. Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. *Plant and Soil*, 88: 437-440.

Bellingham, P. J. & Sparrow, A. D. 2000. Sprouting as a life history strategy in woody plant communities. *Oikos* 89:409-416

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

Byram, G.M. 1958. Some basic thermal processes controlling the effects of fire in living vegetation. Southeast Forest Experiment Station. Research Notes 114.

Cardinot, G.K. 1998. Efeitos de diferentes regimes de queima nos padrões de rebrotamento de *Kielmeyera coriacea* Mart. e *Roupala montana* Aubl., duas espécies típicas do cerrado. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasil.

Cardoso, E.L.; Crispim, M.A.; Rodrigues, C.A. & Baroni Jr., W. 2000a. Composição e dinâmica da biomassa aérea após a queima em savana gramíneo-lenhosa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35: 2309-2316.

Cardoso, E.L.; Crispim, M.A.; Rodrigues, C.A. & Baroni Jr., W. 2000b. Biomassa aérea e produção primária do estrato herbáceo em campo de *Elionurus muticus* submetido a queima anual no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35: 1501-1507.

Cianciaruso, M.V.; Silva, I.A. & Batalha, M.A. 2010. Aboveground biomass of functional groups in the ground layer of savannas under different fire frequencies. *Australian Journal of Botany*, 58: 169-174.

Cirne, P. 2002. Efeitos do fogo na regeneração da lenhosa *Kielmeyera coriacea* em área de cerrado *sensu stricto*: mecanismos de sobrevivência e época de queima. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasil.

Clarke, P.J., Lawes, M.J., Midgley, J.J., Lamont, B.B., Ojeda, F., Burrows, G.E., Enright, N.J. & Knox, J.E. 2013. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New Phytologist*, 197:19-35.

Coutinho L.M. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. Pp 273–291 in BJ Huntley, BH Walker, eds. *Ecology of Tropical Savannas*. Springer, Berlin.

Gorgone-Barbosa, E., V. R. Pivello, S. Bautista, T. Zupo, M. N. Rissi, & A. Fidelis. 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.

Griffin, G. F., & M. H. Friedel. 1984. Effects of fire in Central Australia rangelands. I - Fire and fuel characteristics and change in herbage and nutrients. *Australian Journal of Ecology* 9:381–393.

Guedes, D.M. 1993. Resistência das árvores do Cerrado ao fogo: papel da casca como isolante térmico. Dissertação Mestrado. Universidade de Brasília, Brasil.

Hoffmann, W.A. & Solbrig, O.T. 2003. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. *Forest Ecology and Management*, 180:273-286.

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.

Medeiros, M.B. 2002. Efeitos do fogo nos padrões de rebrotamento em plantas lenhosas em campo sujo. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasil.

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 species over a three year period. *Edinburgh Journal of Botany* 65:53-68.

Miranda, H. S., M. M. C. Bustamante, & A. C. Miranda. 2002. The Fire Factor. Pages 51–68 in P. S. Oliveira and R. J. Marquis, editors. *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, New York.

Miranda, H. S., W. N. Neto, & B. M. C. Neves. 2010. Caracterização das queimadas de Cerrado. Pages 23–34 in H. S. Miranda, editor. *Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo*. MMA, IBAMA, Brasília, DF.

- Myers, R. L. 2006. Living with fire: sustaining ecosystems and livelihoods through integrated fire management. The Nature Conservancy, Global Fire Initiative, Tallahassee, USA.
- Neto, W.N., Andrade, S.M.A. & Miranda, H.S. 1998. The dynamics of the herbaceous layer following prescribed burning: a four years study in the Brazilian savanna. In D.X. Viegas (ed.). Proceedings of Third International Conference on Forest Fires Research, Coimbra. Portugal.
- Pivello, V.R. & Coutinho, L.M. 1992. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). *Journal of Tropical Ecology*, 8:487-497.
- Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T. 1998. Fitofisionomias do bioma cerrado. in S. M. Sano & S. P. de Almeida (eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa-CPAC. pp.89-168.
- Rizzini C.T., Heringer, E.P. 1962. Studies on the underground organs of trees and shrubs from some southern Brazilian savannas. *An Acad. Bras Cienc.*, 34:235–247.
- Rocha-Silva, E.P. 1999. Efeito do regime de queima na taxa de mortalidade e estrutura da vegetação lenhosa de campo sujo de cerrado. Brasília: Dissertação Mestrado. Universidade de Brasília, Brasil.
- Rocha-Silva, E.P.; Miranda, H.S. 1996. Temperatura do câmbio de espécies lenhosas do cerrado durante queimadas prescritas. In: Pereira, R.C.; Nasser, L.C.B. (ed.). VII Simpósio sobre o Cerrado, Brasília, DF. Anais. Brasília: EMBRAPA-CPAC, p. 253-257.
- Rosa, C.M.M. 1990. Recuperação pós-fogo do estrato rasteiro de um campo sujo de cerrado. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasil.
- Rothermel, R. C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service Research Paper INT USA:48.
- Rothermel, R. C. 1983. How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires. Boise, Idaho.
- Salgado-Labouriau, M. L., & K. R. Ferraz-Vicentini. 1994. Fire in the Cerrado 32.000 years ago. *Current Research in the Pleistocene* 11:85–87.
- Sato, M. N. 2003. Efeito a longo prazo de queimadas prescritas na estrutura de comunidade de lenhosas da vegetação do cerrado sensu stricto. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- 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.

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 doi 10.1073 pnas.0903410106

Warming, E. & Ferri, M.E. 1973. Lagoa Santa e a vegetação de cerrados brasileiros. Editora Universidade de São Paulo. 419p.

Whelan, R. J. 1995. The ecology of fire. Cambridge University Press, Cambridge.

Anexo 1

Tabela 1. Comparativo da densidade e do número de espécies de indivíduos arbustivo-arbóreos (diâmetro ≥ 5 cm a 30 cm do solo) nas parcelas experimentais da Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins (TO), utilizando área de amostragem de 50 m x 50 m e de 20 m x 50 m, inventário realizado em 2015.

Área	50 mx 50 m			20 m x 50 m		
	Ind./ha	No. spp.	Total de spp.	Ind./ha	No. spp.	Total de spp.
Área 1	95 \pm 28	5 \pm 2	11	18 \pm 3	2 \pm 0	3
Área 2	65 \pm 45	4 \pm 2	12	23 \pm 18	2 \pm 1	6
Área 3	39 \pm 13	6 \pm 1	12	19 \pm 17	2 \pm 1	7
Área 4	42 \pm 26	5 \pm 2	13	17 \pm 13	2 \pm 1	7

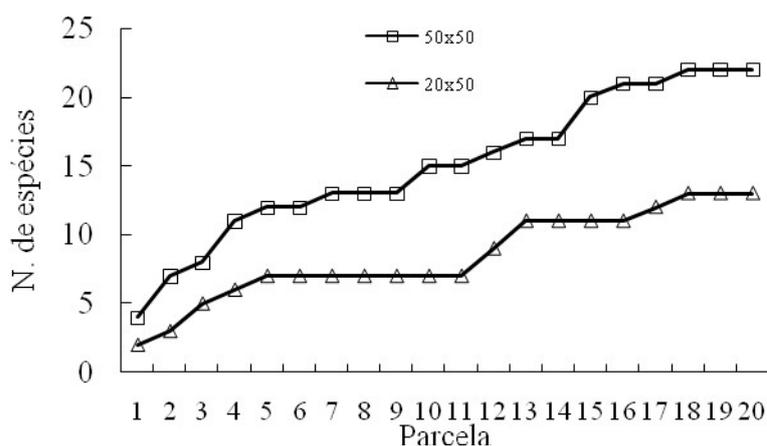


Figura 1. Curvas de acumulação de espécie por parcela amostrada na Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins (TO), inventário realizado em 2015.

Tabela 2. Comparativo da densidade de indivíduos arbustivo-arbóreos nas parcelas experimentais da Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins (TO), utilizando área de amostragem de 50 m x 50 m e de 20 m x 50 m, inventário realizado em 2016.

Área	50 mx 50 m			20 m x 50 m		
	Ind./ha	No. spp.	Total de spp.	Ind./ha	No. spp.	Total de spp.
Área 1	97 \pm 32	6 \pm 2	13	18 \pm 3	2 \pm 0	3
Área 2	71 \pm 53	6 \pm 3	12	23 \pm 20	2 \pm 1	6
Área 3	35 \pm 13	6 \pm 1	12	16 \pm 16	2 \pm 1	7
Área 4	42 \pm 26	6 \pm 3	13	15 \pm 11	2 \pm 1	7

Tabela 3. Comparativo da densidade e do número de espécies de indivíduos lenhosos pequenos (diâmetro basal entre 1 cm e 5 cm) nas parcelas experimentais da Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins (TO), utilizando área de amostragem de 15 m x 15 m e de 10 m x 10 m, inventário realizado em 2015.

Área	15 m x 15 m			10 m x 10 m		
	Ind. vivos/ha	No. spp.	Total de spp.	Ind. vivos/ha	No. spp	Total de spp.
Área 1	1978±555	11±3	17	2650±636	10±4	13
Área 2	1748±486	13±4	25	1917±847	8±3	23
Área 3	1311±619	12±2	26	1383±733	8±2	22
Área 4	748±147	8±2	13	900±303	5±2	19

Tabela 4. Comparativo da densidade e do número de espécies de indivíduos lenhosos pequenos (diâmetro basal entre 1 cm e 5 cm) nas parcelas experimentais da Estação Ecológica da Serra Geral do Tocantins (TO), utilizando área de amostragem de 15 m x 15 m e de 10 m x 10 m, inventário realizado em 2016.

Área	15 m x 15 m			10 m x 10 m		
	Ind. vivos/ha	No. spp.	Total de spp.	Ind. vivos/ha	No. spp	Total de spp.
Área 1	1867±701	11±4	17	2700±1414	10±4	13
Área 2	1941±389	14±4	26	2220±704	9±3	23
Área 3	1748±592	15±3	33	1467±592	8±2	24
Área 4	985±317	9±2	24	883±306	5±2	19