

Este artigo encontra-se nas regras da revista *Biodiversity and Conservation*

Efeito do fogo na rede de interação planta-formiga nos Campos Sulinos

Carolina Veronese Corrêa da Silva¹, Camila da Silva Goldas¹, Luciana Regina Podgaiski¹

Resumo Nesse estudo, utilizando a espécie de planta *Chamaecrista repens*, analisamos como o fogo afeta a interação planta-formiga nos Campos Sulinos. Os campos sulinos estão sob constante influência de distúrbios, como o fogo, que remove parte da biomassa acima do solo e facilita o recrutamento das espécies vegetais. Mudanças na estrutura da vegetação ocasionadas pelo fogo podem ter efeitos indiretos em diferentes tipos de interações animal-planta, como àquela mediada por nectários extraflorais (NEF), em que formigas são atraídas a partir da oferta de néctar por estas estruturas. Em áreas campestres com diferentes históricos de queimada, obtivemos dados da população de *C. repens*, do microhabitat do entorno, e a rede de interação intrapopulacional planta-formiga amostrando as formigas que entravam em contato com os NEF de *C. repens*. Em áreas de histórico recente, encontrou-se uma maior abundância de *C. repens*, com indivíduos com maior estrutura aérea da planta e número de NEF, microhabitat com maior abertura do dossel e cobertura de herbáceas não gramíneas e maior abundância de formigas com mais espécies de formigas centrais na rede. Verificou-se diferença na composição de formigas entre os históricos recente e tardio. A maior abertura de dossel no histórico recente pode ter permitido o rápido estabelecimento das herbáceas não gramíneas (como *C. repens*), aumentando sua abundância, estrutura e número de NEF. O maior número de NEF e o ambiente menos complexo após o fogo podem ter facilitado o acesso da formiga ao recurso, aumentando a abundância de formigas. Além disso, a diferença da composição de formigas entre os históricos de queimada parece ter ocorrido em decorrência das mudanças na estrutura do habitat causadas pelo fogo, além da disponibilidade de recurso e da interação competitiva, fatores fundamentais

Palavras-chave Ecossistemas campestres Distúrbio *Chamaecrista repens* Nectário extrafloral Interação animal-planta

Carolina Veronese Corrêa da Silva

carolaita@gmail.com

¹ Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre 91501-970, Brasil

na estruturação das assembleias de formigas.

Introdução

Distúrbios podem ter um efeito na estrutura da vegetação e no padrão de distribuição das populações de plantas (Agrawal, 1990) e assim também nos organismos que interagem com as plantas (e.g. Farji-brener *et al.*, 2002). Os Campos Sulinos, ecossistemas típicos do Sul do Brasil, tem sua dinâmica fortemente associada à ocorrência de distúrbios, como pastejo e queimadas (Pillar & Vélez, 2010). Esses distúrbios, segundo Overbeck *et al.*, (2007) são os principais fatores que mantêm a fisionomia e a diversidade dos Campos, podendo inclusive ser utilizados como ferramenta de manejo na manutenção desses ecossistemas. Sem sua presença, o que geralmente se percebe, é uma alta dominância de espécies de gramíneas, acúmulo de biomassa inflamável (Overbeck *et al.*, 2007; Pillar & Vélez, 2010) e o estabelecimento e avanço de espécies arbóreo-arbustivas (Oliveira & Pillar, 2004; Müller *et al.*, 2007) que podem descaracterizar estes ambientes. Em especial, queimadas em ecossistemas abertos, como campos e savanas, removem grande parte da biomassa acima do solo (e.g. Podgaiski *et al.*, 2014; Fidelis *et al.*, 2010), gerando espaços no substrato que facilitam o recrutamento de uma grande diversidade de espécies de plantas (e.g. Araújo *et al.*, 2013) e estimulam sua floração (Fidelis *et al.*, 2014).

Associada principalmente pela mudança nas características bióticas e abióticas do ambiente, e o aumento da disponibilidade de recursos alimentares pós-fogo, a fauna também é altamente influenciada em termos de composição e diversidade. Por exemplo, Podgaiski *et al.*, (2017), nos Campos Sulinos, demonstrou haver um aumento da riqueza de thrips (Thysanoptera) em áreas após o evento de queimada, assim como no trabalho de Albuquerque *et al.*, (2017) que observou mudanças na composição entre áreas queimadas e não queimadas e em Maravalhas & Vasconcelos, (2014) que observaram mudanças na composição de formigas em áreas com diferentes frequências de queimada no Cerrado brasileiro. Além disso, Ferrando *et al.*, (2016) e Podgaiski *et al.*, (2013) verificaram um claro efeito do fogo em características funcionais das comunidades de gafanhotos e aranhas, respectivamente, após o fogo em campos.

Tendo em vista que o hábitat e ambas as comunidades de plantas e as animais se alteram após distúrbios por fogo, podemos esperar efeitos indiretos das queimadas em diferentes tipos de interações animal-planta. Uma interação muito importante é aquela entre formigas e plantas mediadas por nectários extraflorais (NEF), em que formigas são atraídas a partir da oferta de néctar. Nectários extraflorais são glândulas de néctar não relacionadas diretamente com

polinização (Koptur, 1992; Del-Claro *et al.*, 2016) e que representam uma fonte de recurso alimentar abundante (Schultz & McGlynn, 2000). A oferta de recurso é um dos importantes mecanismos de estruturação de redes ecológicas envolvendo formigas e plantas (Rico-Gray *et al.*, 2012).

Nesse estudo, nós analisamos como o fogo afeta a interação planta-formiga através da interação entre formigas e NEF. Utilizamos a espécie de planta *Chamaecrista repens* (Vogel) H. S. Irwin & Barneby, que possui NEF, como modelo no nosso sistema de estudo para avaliar essa interação. O gênero *Chamaecrista* já foi utilizado em outros estudos envolvendo interação planta-formiga, como em redes de interação intrapopulacional (Dáttilo *et al.*, 2014a), no efeito do NEF no valor adaptativo de colônias de formigas (Byk & Del-Claro, 2011) e no efeito da visitação de formigas aos NEF na herbivoria foliar (Nascimento & Del-Claro, 2010). No presente trabalho, abordamos as seguintes questões: (i) A população de *C. repens* apresentará mudanças entre os históricos de queimada? (ii) A estrutura do hábitat diferirá entre os históricos de queimada? (iii) A comunidade de formigas que interagir com os NEF de *C. repens* nos diferentes históricos de queimada será diferente?

Nós hipotetizamos que, com as mudanças na estrutura do hábitat provocadas pelo fogo, como maior espaço no substrato e disponibilidade de nutrientes no solo, haverá um aumento da abundância da espécie estudada e presença de indivíduos com uma maior estrutura área da planta no histórico recente. Caso haja um aumento na estrutura aérea da planta nos indivíduos após o evento de queimada, a quantidade de NEF presente nessas plantas também pode ser aumentada, modificando a disponibilidade de recurso disponível às formigas e estimulando as interações destas com os NEF de *C. repens* (Fig. 1).



Fig. 1 Desenho esquemático da principal hipótese do estudo. Espera-se que o fogo em campos nativos, ao modificar a estrutura da vegetação, afete a disponibilidade de recurso alimentar (i.e. número de NEF) e isso tenha um efeito na fauna associada, como as formigas.

Material e métodos

Área de estudo e espécie de planta estudada

Nós conduzimos o estudo no Parque Natural Municipal Sain't Hilaire (PNMSH), (30° 5' S 51° 5' W), localizado no município de Viamão, estado do Rio Grande do Sul. De acordo com a classificação Köppen, essa região é caracterizada como subtropical úmida (Cfa), com temperatura média de 22°C e uma pluviosidade média anual de 1.400 mm (Alvares *et al.*, 2013). As áreas de estudo utilizadas nesse estudo integram os campos do bioma Pampa.

Os Campos Sulinos são ecossistemas naturais subtropicais com uma grande riqueza em espécies vegetais, das quais pertencem majoritariamente às famílias Poaceae, Asteraceae, Fabaceae e Rubiaceae (Overbeck *et al.*, 2006). Como modelo para entender a influência do fogo na interação entre formigas e NEF, utilizamos uma espécie de leguminosa bastante comum nos Campos Sulinos: *Chamaecrista repens* (Fabaceae-Caesalpinioideae) (Fig. 2). Essa espécie é um subarbusto perene, medindo entre 20-60 cm e que apresenta nectários extraflorais na base da folha com largura igual ou maior que o diâmetro da face secretora (Camargo & Miotto, 2004).

Os NEF do gênero *Chamaecrista* apresentam uma epiderme de 1-2 camadas de células (papilosa na fase secretora), que, muitas vezes, possuem uma parede periclinal externa grossa e uma cutícula fina. A secreção ocorre quem o néctar acumula na zona central do nectário e rompe a cutícula (Melo *et al.*, 2010).



Fig. 2 Indivíduos de *C. repens*. Fotos: Rubens Teixeira de Queiroz. Disponível em: <<http://rubens-plantasdobrasil.blogspot.com.br/2014/08/fabaceae-chamaecrista-repens-vogel-hs.html>>

Delineamento amostral e Coleta de dados

O PNMSH apresenta uma recorrência de queimadas nos campos nos meses mais secos do ano (dezembro-fevereiro). Essas queimadas possuem origem antrópica e os guarda-parques da Unidade de Conservação fazem o registro das datas de ocorrências. Utilizamos essas áreas em que houveram queimadas, para efetuar o estudo (Fig. 3).

O estudo foi realizado de dezembro de 2016 a fevereiro de 2017, em áreas campestres do PNMSH, com diferentes históricos de queimada: quatro áreas com histórico de queimada recente (menos de seis meses após o fogo), quatro áreas com histórico de queimada intermediário (um ano após o fogo) e três áreas com histórico de queimada tardio (pelo menos dois anos após o fogo), totalizando 11 áreas. Em cada uma das áreas, foram realizados dois delineamentos amostrais diferentes para a coleta de dados.

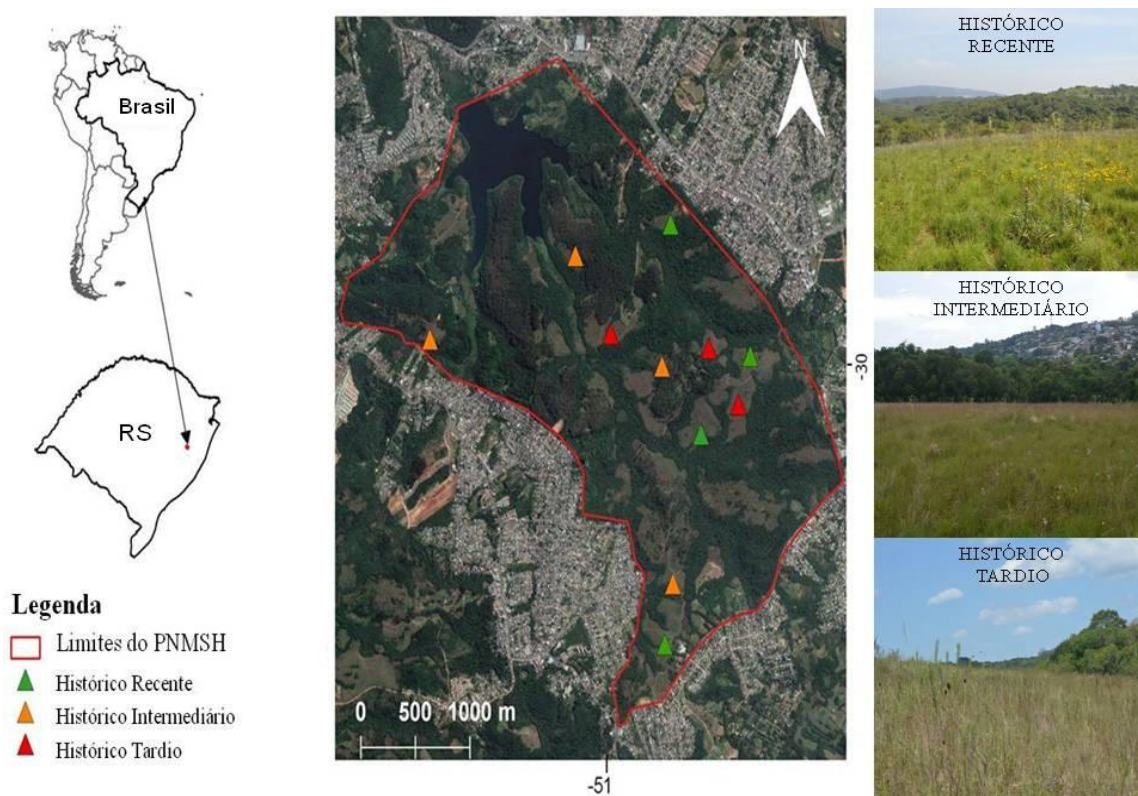


Fig. 3 Local de estudo e áreas campestres utilizadas, divididas em três históricos de queimada (recente, intermediário e tardio).

O primeiro delineamento amostral foi implementado para obter dados de abundância de *C. repens* e estruturas reprodutivas (flor, fruto, botão) presentes para avaliar possíveis diferenças desses atributos em cada uma das áreas. Através de dois transectos independentes de 30x1m, foram registradas a abundância de *C. repens*, assim como a quantificação das estruturas reprodutivas (botões, flores e frutos) ou a ausência dessas estruturas, em cada um dos indivíduos encontrados.

No segundo delineamento amostral selecionamos 10 indivíduos de *C. repens* em cada uma das áreas, distantes uns dos outros pelo menos 10 metros, a fim de garantir independência amostral (Dáttilo *et al.*, 2014b). Como critério de padronização, só foram selecionadas plantas reprodutivas (e.g. com presença de flores) para que mudanças na amostragem das formigas fossem devido a diferenças no histórico de queimada e não ao período fenológico das plantas. Cada indivíduo de *C. repens* foi descrito em termos de altura, largura (2 medidas perpendiculares) e número de NEF. A altura e as larguras de cada indivíduo foram multiplicadas e tratadas como a estrutura aérea da planta (cm³). A quantificação de NEF foi aqui utilizada como nossa medida de recurso alimentar disponível. Além disso, caracterizamos o microhabitat do entorno de cada indivíduo em uma parcela de 30x30cm, obtendo dados de altura da vegetação

em cinco pontos equidistantes da parcela, porcentagem média (%) de solo exposto, gramíneas e de herbáceas não gramínoideas. Solo exposto será utilizado aqui como *proxy* de abertura de dossel (Podgaiski *et al.*, 2013). Para as variáveis do segundo delineamento amostral, foram amostradas 105 plantas no total.

Utilizando aspirador entomológico manual, amostramos todas as formigas interagindo com NEF de *C. repens* durante 5 minutos, por planta. Só foram amostradas plantas que possuíam formigas interagindo no NEF, indicando provável atividade destes. Foram amostradas ao todo 110 plantas. Estas amostragens somente ocorreram no turno da manhã (8:00-12:00). As formigas coletadas foram armazenadas em *ependorffs* contendo álcool 80%, e em laboratório, foram identificadas com base em chaves específicas de identificação (e.g. Baccaro *et al.*, 2015) e por comparação com a coleção do Laboratório de Ecologia de Interações da UFRGS. As morfoespécies seguem o padrão desta coleção.

Análises estatísticas

Com relação ao primeiro delineamento amostral, nós investigamos se as variáveis de abundância de *C. repens* e densidade de estruturas reprodutivas (botões, flores e frutos) nesses indivíduos diferiram quanto ao histórico de queimada. Modelos lineares mistos (LMM) foram utilizados através do pacote estatístico *nlme* utilizando como fator fixo o histórico de queimada (recente, intermediário ou tardio) e como fatores aleatórios os transectos aninhados dentro das áreas de estudo.

No segundo delineamento amostral, as variáveis de microhabitat do entorno (altura da vegetação, solo exposto, cobertura de gramíneas e herbáceas não gramínoideas), assim como as variáveis de cada indivíduo de *C. repens* (estrutura aérea da planta e quantificação de NEF) foram comparadas entre os diferentes históricos de queimada utilizando LMM. Neste caso, somente as áreas foram tratadas como efeitos aleatórios. De forma semelhante, também testamos, buscando possíveis diferenças em abundância e riqueza de formigas interagindo com NEF de *C. repens* entre os históricos de queimada. Todas as análises de dados com LMM tiveram ajuste em distribuição normal ou log-normal. Todos os testes estatísticos univariados foram realizados no programa R (R Core Team, 2016).

Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) foi utilizado para representar a ordenação da composição das espécies de formigas em cada área de estudo, a partir do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis e Jaccard. Com o índice de Bray-Curtis, a matriz utilizada descrevia a abundância das espécies de formigas (colunas: 21 espécies) interagindo com *C.*

repens nas áreas de estudo (linhas: 11 áreas). Já com o índice de Jaccard, a matriz descrevia presença/ausência das espécies de formigas interagindo com *C. repens* nas áreas de estudo. Para testar a existência de significância nestes padrões de composição de formigas entre as áreas, uma análise de similaridade (ANOSIM) foi empregada utilizando os grupos do NMDS e o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis e posterior o de Jaccard, através de 9999 permutações. NMDS e ANOSIM foram realizados no programa PAST (Hammer *et al.*, 2001).

As redes de interação intrapopulacional formiga-planta foram construídas para cada histórico de queimada no programa R através do pacote bipartite. Além disso, nós mensuramos o uso de *C. repens* por cada espécie de formiga em cada histórico de queimada com a distância de Kullback-Leibler (ou divergência de Kullback-Leibler) empregada de forma padronizada (d'). A métrica d' , conforme descrita por Blüthgen *et al.*, (2006), sugere seu uso em redes de interação interpopulacionais (e.g. diferentes espécies de plantas x diferentes espécies animais) como uma métrica de “diversidade de parceiros” em nível de espécie, variando de 0 (espécies mais generalistas, e.g. muitos parceiros) a 1 (espécies mais especializadas, e.g. poucos parceiros). O índice d' pode ser interpretado como o desvio da frequência de interações real de um modelo nulo, que assume que todos os parceiros são usados de acordo com sua disponibilidade. No nosso trabalho, esta métrica foi adaptada para o nível intrapopulacional (d'_{intra}), e, portanto, avalia como cada espécie de formiga interage com os indivíduos de *C. repens* nas redes de interação de cada histórico de queimada. Em nosso estudo, quanto menor o d'_{intra} da espécie de formiga (escala de 0 a 1), mais esta está interagindo com NEF de diferentes indivíduos de *C. repens*.

Também se utilizou a fórmula proposta por Dáttilo *et al.*, (2013), realizada no programa R (pacote bipartite), que descreve as espécies componentes da rede de interação em centrais (e.g. espécies generalistas, que possuem o maior número de interações) e periféricas (e.g. espécies seletivas, com um menor número de interações). Foi aqui empregado para as espécies de formigas. A fórmula é definida como: $G_c = (k_i - k_{mean}) / \sigma_k$, em que k_i = número médio de ligações de uma determinada espécie de formiga, k_{mean} = número médio de ligações para todas as espécies de formigas da rede, e σ_k = desvio padrão do número de ligações para as espécies de formiga. Quando $G_c > 1$, as espécies são classificadas em centrais e $G_c < 1$, periféricas.

Resultados

Efeito do fogo sobre a população e investimento reprodutivo de *Chamaecrista repens*

Através do levantamento de *C. repens*, foi observada uma maior abundância total da espécie no histórico recente (1537 indivíduos), seguido dos outros históricos de queimada: intermediário (857) e tardio (643), totalizando 3037 indivíduos. Os diferentes históricos apresentaram diferenças significativas quanto ao número de indivíduos ($F_{2,19} = 5,11$; $p=0,02$; Fig. 4). O histórico recente apresentou maior abundância comparada ao intermediário e ao tardio; porém, o intermediário e o tardio não diferiram entre si.

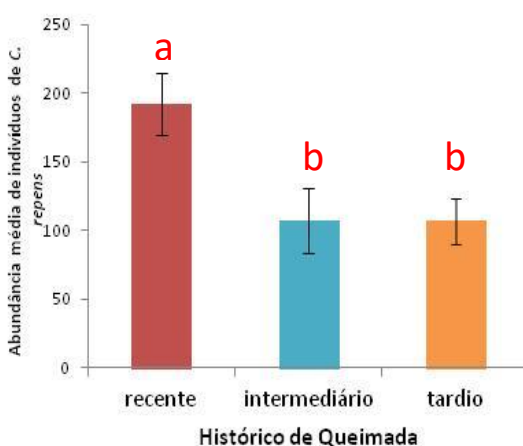


Fig. 4 Abundância média de indivíduos de *C. repens* em cada histórico de queimada. Letras diferentes indicam diferenças significativas (e.g. $p<0.05$) entre os tratamentos, testado a partir de teste a posteriori de Tukey.

O percentual de estruturas reprodutivas presentes nos indivíduos de *C. repens*, ou a ausência delas, também apresentou divergências quanto aos históricos de queimada. No histórico recente foi observada uma maior quantidade de estruturas reprodutivas (flores: 21%; botões: 15%; legumes: 56%; Fig. 5) quando comparada aos históricos intermediário e tardio que predominantemente não apresentaram essas estruturas (sem estruturas reprodutivas: 92%; 84% respectivamente; Fig. 5).

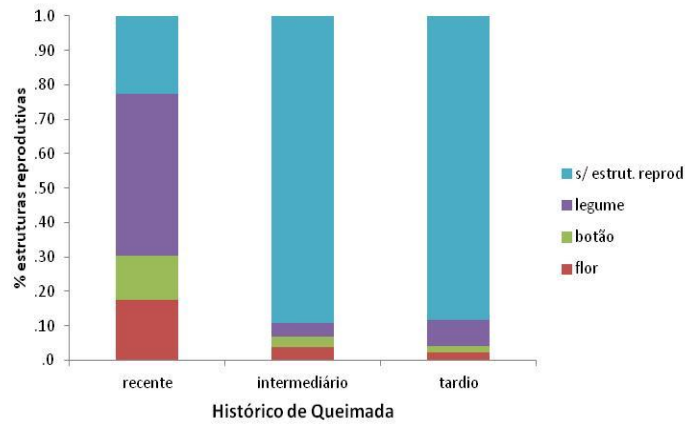
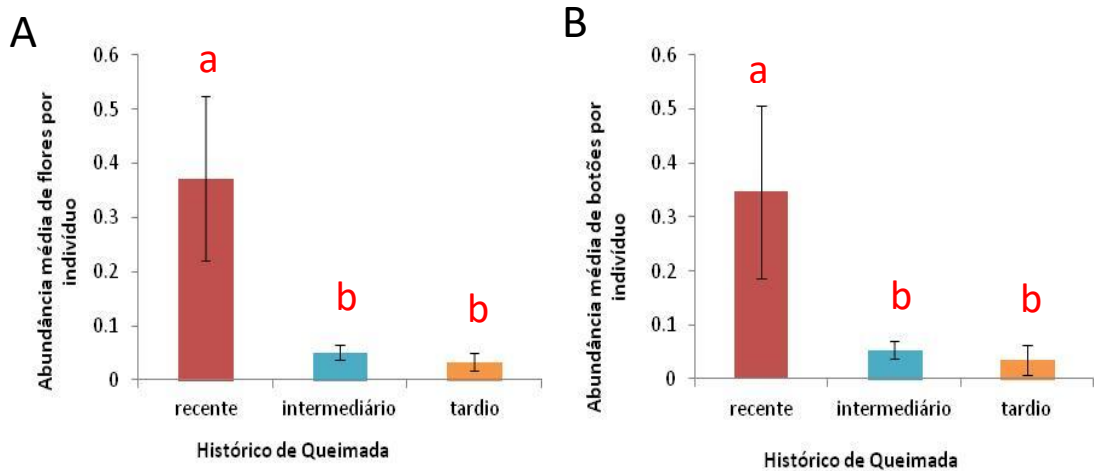


Fig. 5 Proporção de estruturas reprodutivas presentes em indivíduos de *C. repens* nos diferentes históricos de queimada.

Quando observadas as densidades médias destas estruturas reprodutivas (Fig. 6), verificou-se diferença significativa entre os tratamentos para flores ($F_{2,19}=5,67$; $p=0,012$), frutos ($F_{2,19}=43,75$; $p<0,001$) e botões ($F_{2,19}=3,51$; $p=0,05$). O padrão para a densidade das estruturas reprodutivas foi o mesmo: o histórico recente apresentou sempre maiores densidades do que o histórico intermediário e o tardio, e estes não diferiram entre si (Fig. 6).



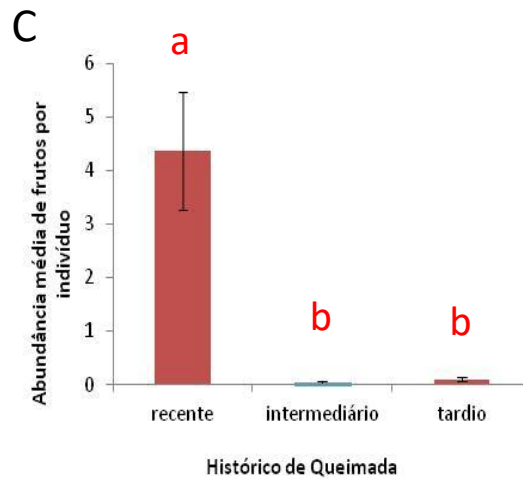


Fig. 6 A Abundância média de flores por indivíduo de *C. repens* em cada histórico de queimada. B Abundância média de botões por indivíduo de *C. repens* em cada histórico de queimada. C Abundância média de frutos por indivíduo de *C. repens* em cada histórico de queimada. Letras diferentes indicam diferenças significativas (e.g. $p < 0.05$) entre os tratamentos, testado a partir de teste a posteriori de Tukey.

Efeito do fogo no microhabitat do entorno nos indivíduos de *C. repens*

Em relação ao microhabitat do entorno de cada indivíduo de *C. repens*, verificaram-se diferenças de altura média da vegetação (Fig. 7A) de acordo com o histórico de queimada ($F_{2,8}=15,81$; $p=0,002$). Uma menor altura média foi observada no histórico recente ($10,76\text{cm} \pm 0,8$), com um aumento progressivo nos históricos intermediário ($18,78\text{cm} \pm 0,91$) e tardio ($29,27\text{cm} \pm 1,65$).

A cobertura de gramíneas (Fig. 7B) foi similar à altura da vegetação, possuindo diferenciação entre os históricos ($F_{2,8}=26,92$; $p < 0,001$), sendo em média menor no histórico recente ($26\% \pm 2,42$), comparada aos históricos intermediário ($60\% \pm 3,45$) e tardio ($75\% \pm 2,4$). A cobertura de herbáceas não gramínoides (Fig. 7C), com diferenciação entre os históricos de queimada ($F_{2,8}=6,65$; $p=0,002$), foi maior no histórico recente ($52\% \pm 2,41$), reduzindo sua cobertura nos históricos intermediário ($37\% \pm 3,33$) e tardio ($24\% \pm 2,4$). A abertura de dossel (Fig. 7D) também diferiu entre os históricos de queimada ($F_{2,8}=119,60$; $p < 0,001$), sendo maior no histórico recente ($21\% \pm 1,83$) em relação ao histórico intermediário ($1,75\% \pm 1$) e tardio ($0\% \pm 0$). Históricos intermediário e tardio não diferiram significativamente em relação a nenhuma das variáveis anteriores, exceto altura da vegetação.

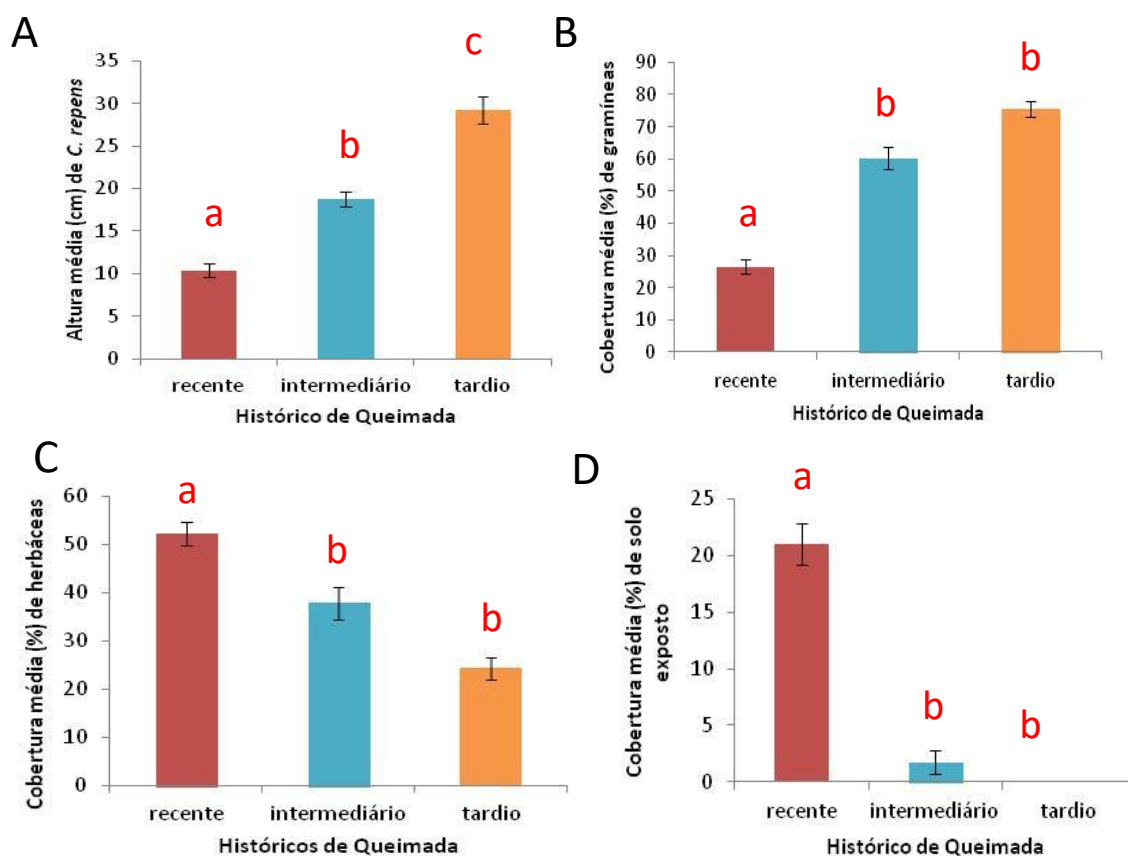


Fig. 7 A Altura média de *C. repens* em cada histórico de queimada. B Cobertura média de gramíneas em cada histórico de queimada. C Cobertura média de herbáceas não gramíneas em cada histórico de queimada. D Cobertura média de solo exposto em cada histórico de queimada. Letras diferentes indicam diferenças significativas (e.g. $p < 0.05$) entre os tratamentos, testado a partir de teste a posteriori de Tukey.

Efeito do fogo nas populações de *C. repens* em termos de nº de NEF e estrutura área da planta

Conforme a estrutura aérea da planta (cm^3) de cada indivíduo de *C. repens* (Fig. 8A), observou-se diferenças entre os históricos de queimada ($F_{2,8}=19,52$; $p < 0,001$), com o histórico recente possuindo plantas mais volumosas/estruturadas ($9003,42\text{cm}^3 \pm 1581,34$), em relação aos históricos posteriores (intermediário: $2048,07\text{cm}^3 \pm 357,29$; tardio: $1556,97\text{cm}^3 \pm 177,38$). Na quantificação de nectários extraflorais (Fig. 8B), constataram-se diferenças quanto os históricos de queimada ($F_{2,8}=56,95$; $p < 0,001$), em que uma maior abundância no histórico recente foi observada ($79,03$ NEF por planta $\pm 7,98$) decrescendo com o tempo após a queimada (intermediário: $23,35 \pm 2,58$; tardio: $16,33 \pm 1,25$). Históricos intermediário e tardio não

diferiram significativamente quanto à estrutura aérea de *C. repens* e ao número de nectários. A correlação entre a estrutura de *C. repens* e número de NEF foi de 78%.

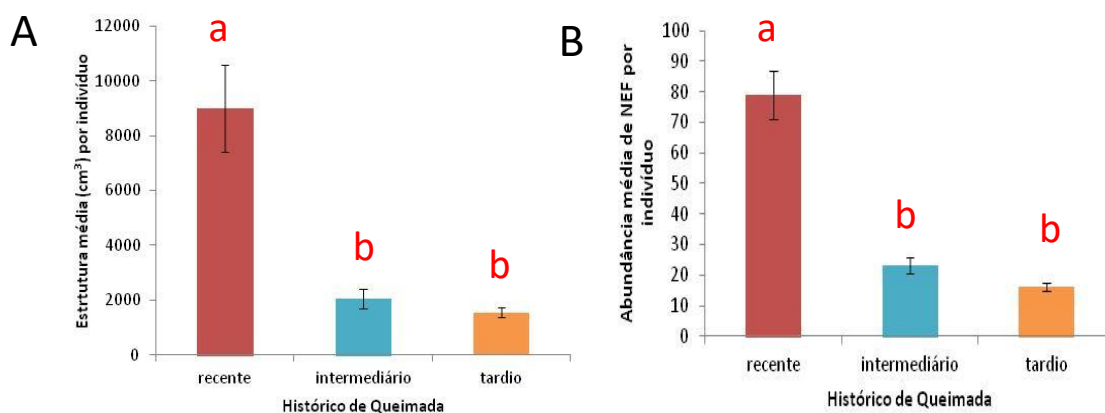


Fig. 8 A Estrutura aérea (cm³) média dos indivíduos de *C. repens* em cada histórico de queimada. B Abundância média de NEF por indivíduo em cada histórico de queimada. Letras diferentes indicam diferenças significativas (e.g. $p < 0.05$) entre os tratamentos, testado a partir de teste a posteriori de Tukey.

Efeito do fogo na estrutura de comunidades de formigas

Foram amostradas 435 formigas, divididas em 21 espécies, representando nove gêneros e três subfamílias interagindo com os NEF de *C. repens* nos três históricos de queimada. As espécies mais frequentes e mais abundantes foram *Camponotus personatus* Emery 1894, *Crematogaster* sp. 8 e *Camponotus punctulatus* Mayr, 1868 (Tab. 1). *Camponotus punctulatus*, apesar de ser uma das mais abundantes, não ocorreu no histórico tardio.

O histórico recente apresentou quatro espécies exclusivas (*Camponotus rufipes* (Fabricius, 1775), *Cyphomyrmex* gr. *rimosus*, *Pheidole* A, *Pheidole obtuso pilosa* Mayr, 1887), o intermediário, três espécies (*Pheidole* (gr. *tristis*) sp. 1, *Brachymyrmex* sp. A, *Camponotus crassus* Mayr 1862) e o tardio, quatro (*Ochetomyrmex semipolitus* Mayr, 1878, *Pheidole pampana* Santschi, 1929, *Crematogaster* sp. 9, *Solenopsis* sp.1). As espécies compartilhadas entre os três históricos foram: *C. personatus*, *C. sp. 8*, *Camponotus sp. 2*, *Pseudomyrmex* gr. *flavidulus*) (Fig. 9).

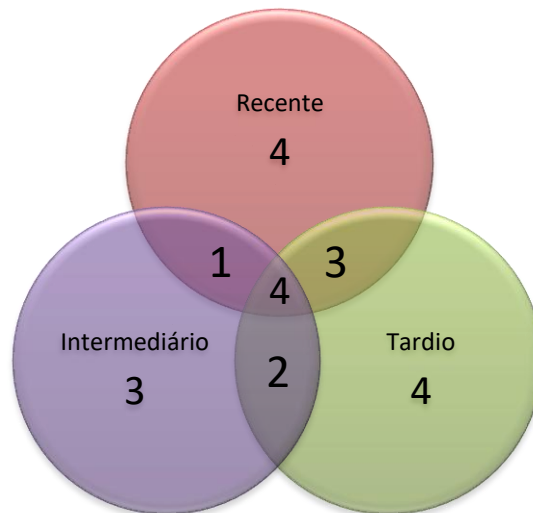


Fig. 9 Diagrama de Venn demonstrando número de espécies exclusivas e compartilhadas em cada histórico de queimada.

Tabela 1 Frequência (e.g. número de indivíduos de *C. repens* que a espécie de formiga interagiu/número total de plantas no histórico) e abundância de cada espécie de formiga amostrada. Número total possível de plantas em cada histórico (40 no recente e intermediário, e 30 no tardio).

Espécie	Frequência				Abundância			
	Recente	Intermediário	Tardio	Total	Recente	Intermediário	Tardio	Total
<i>Camponotus personatus</i> Emery 1894	0,25	0,4	0,13	0,78	42	32	4	78
<i>Crematogaster</i> sp. 8	0,25	0,15	0,27	0,78	78	26	13	117
<i>Camponotus punctulatus</i> Mayr, 1868	0,37	0,15		0,52	82	9		91
<i>Pseudomyrmex</i> gr. <i>flavidulus</i>	0,05	0,05	0,07	0,17	2	3	2	7
<i>Camponotus</i> sp. 2	0,2	0,07	0,07	0,16	30	8	2	40
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)		0,07	0,07	0,14		16	2	18
<i>Crematogaster</i> sp. 1	0,02		0,10	0,12	1		3	4
<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr, 1884	0,02		0,10	0,12	2		3	5
<i>Pheidole</i> (gr. <i>tristis</i>) sp. 1		0,12		0,12		8		8
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1		0,05	0,07	0,12		2	5	7
<i>Ochetomyrmex semipolitus</i> Mayr, 1878			0,1	0,1			7	7
<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)	0,1			0,1	11			11
<i>Crematogaster</i> sp. 7	0,05		0,03	0,08	29		2	31
<i>Pheidole pampana</i> Santschi, 1929			0,07	0,07			2	2
<i>Crematogaster</i> sp. 9			0,03	0,03			1	1
<i>Solenopsis</i> sp. 1			0,03	0,03			1	1
<i>Camponotus crassus</i>		0,02		0,02		1		1
<i>Brachymyrmex</i> sp. A		0,02		0,02		1		1
<i>Pheidole obtusopilosa</i> Mayr, 1887	0,02			0,02	2			2
<i>Pheidole</i> A	0,02			0,02	2			2
<i>Cyphomyrmex</i> gr. <i>rimosus</i>	0,02			0,02	1			1

A partir da ordenação das áreas com NMDS com base na composição de formigas visitando *C. repens*, verificamos claros agrupamentos das áreas com o mesmo histórico de queimada utilizando o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis (Fig. 10). A análise de similaridade (ANOSIM) indicou diferença significativa entre os históricos ($R=0,308$; $p=0,03$) em que a composição de formigas do histórico recente diferiu com a do histórico tardio ($p=0,03$). A

composição das espécies de formigas, com o índice de dissimilaridade de Jaccard, não diferiu entre os históricos de queimada (ANOSIM, $R=0,16$; $p=0,15$).

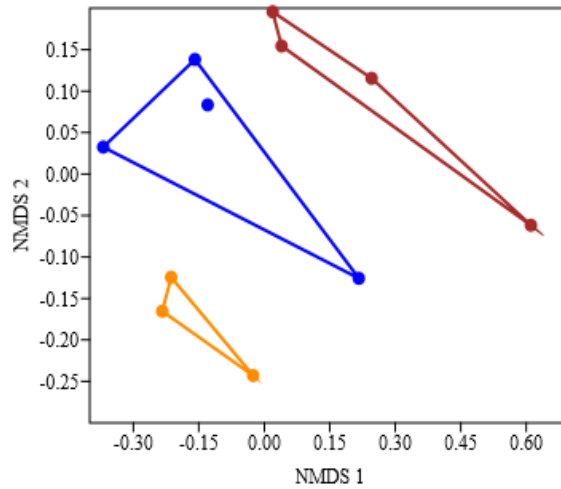


Fig. 10 Ordenação NMDS (stress 0,19) da composição de formigas nas áreas de estudo, utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis. Áreas do histórico recente (vermelho), áreas do histórico intermediário (azul), áreas do histórico tardio (laranja).

Com relação à riqueza de formigas, foram amostradas 12 espécies no histórico recente, enquanto que no histórico intermediário, 10 espécies e no histórico tardio, 13 espécies. No histórico recente, *Camponotus punctulatus* foi a espécie mais abundante, sendo que no histórico intermediário a mais abundante encontrada foi *Camponotus personatus* e no histórico tardio, *Crematogaster* sp. 8. A riqueza de formigas (Figura 11A) não diferiu entre os históricos ($F_{2,8}=1,8$; $p=0,22$), enquanto a abundância de formigas (Figura 11B) apresentou diferenciação ($F_{2,8}=27,64$; $p<0,001$). Uma maior abundância de formigas foi observada no histórico recente comparada ao histórico intermediário e tardio.

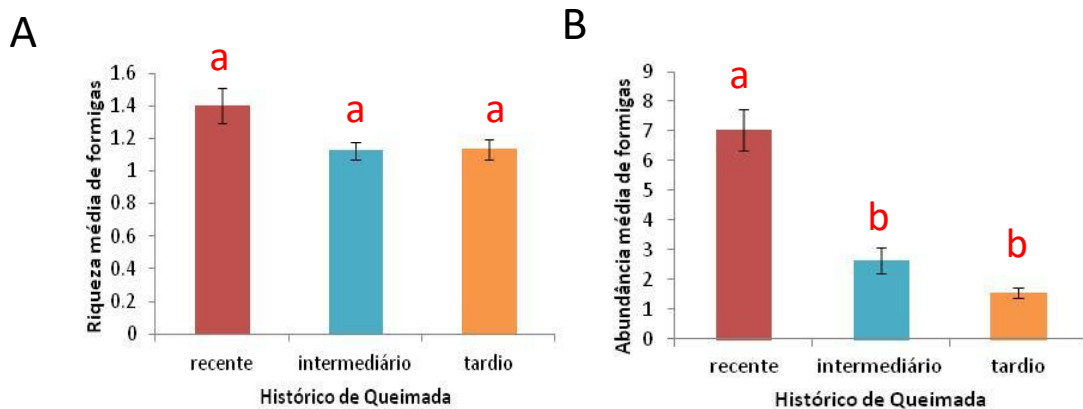


Fig. 11 A Riqueza média de formigas em cada histórico de queimada. B Abundância média de formigas em cada histórico de queimada. Letras diferentes indicam diferenças significativas (e.g. $p < 0.05$) entre os tratamentos, testado a partir de teste a posteriori de Tukey.

Redes de interação intrapopulacional

Com relação às redes de interação intrapopulacional planta-formiga (Fig. 12), observou-se um total de 435 interações, sendo 282 no histórico recente (Fig. 12A), reduzindo para 106 no histórico intermediário (Fig. 12B) e 47 no histórico tardio (Fig. 12C).

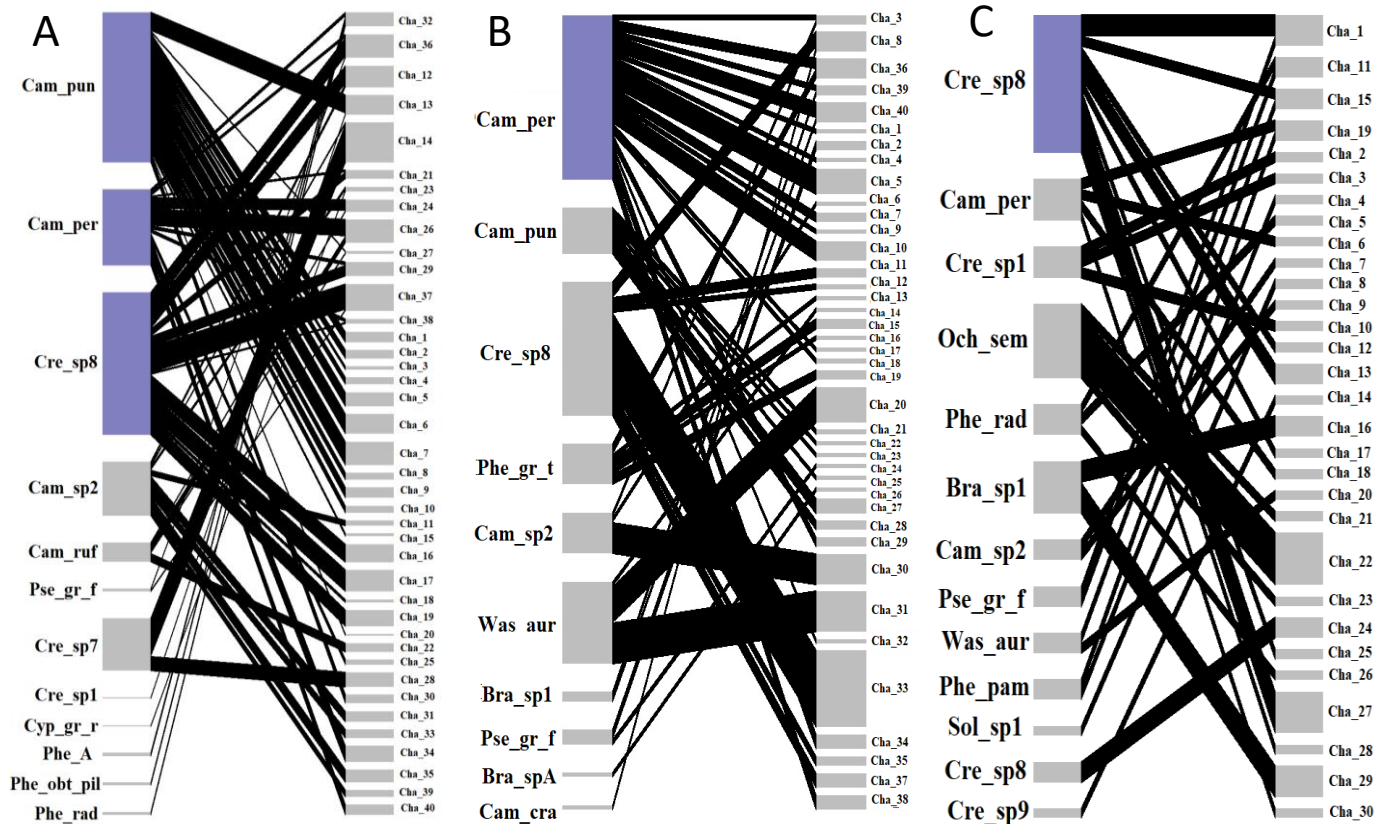


Fig. 12 Redes de interação intrapopulacional entre indivíduos de *C. repens* (direita) e espécies de formigas (esquerda) nos históricos (A) recente, (B) intermediário e (C) tardio. As linhas representam as interações entre os indivíduos de *C. repens* e as formigas. Os retângulos em lilás são as espécies centrais na rede.

A média do índice d'_{intra} das espécies de formigas nas redes intrapopulacionais de *C. repens* diferiu entre os históricos de queimada ($F_{2,32}=9,15$; $p=0,001$). As comunidades de formigas ocorrendo no histórico recente obtiveram menores valores d'_{intra} , em comparação ao intermediário e tardio, que não diferiram (Fig. 13).

Já na fórmula que avalia a posição da espécie na rede de interação (central ou periférica), foi observado que no histórico recente três espécies foram classificadas com centrais na rede (*C. punctulatus*, *C. personatus* e *Crematogaster*. sp. 8). Porém, nos outros históricos somente uma espécie foi central (intermediário, *C. personatus*; tardio, *Crematogaster*. sp. 8) (Fig.12).

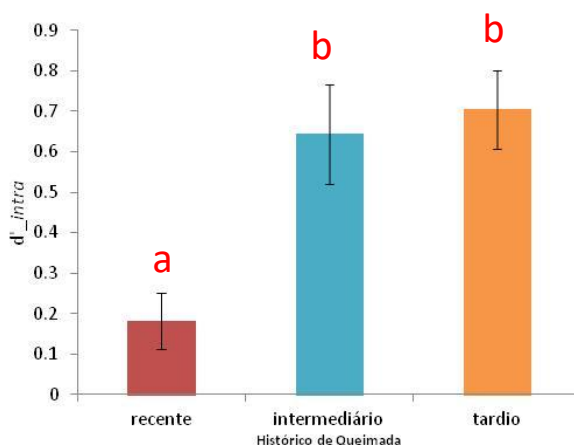


Fig. 13 Média do índice d'_{intra} das espécies de formigas em cada histórico de queimada. Letras diferentes indicam diferenças significativas (e.g. $p < 0.05$) entre os tratamentos, testado a partir de teste a posteriori de Tukey.

Discussão

Respostas das populações de *C. repens* ao histórico de queimadas

Logo após o fogo, no histórico recente, observou-se uma maior abundância de *C. repens* e um maior percentual e abundância média de estruturas reprodutivas (flores, frutos e botões) nesses indivíduos, ou seja, a reprodução nessas áreas foi mais intensificada. Além disso, o fogo também favoreceu a formação de indivíduos de *C. repens* mais vigorosos e estruturados, com um maior número de NEF. A maior abundância de *C. repens* no histórico recente pode ser explicada pelo fato de que nessas áreas há menor competição entre as espécies vegetais e maior espaço no substrato, o que aumenta o recrutamento e estabelecimento das espécies vegetais (Fidelis, 2008). Esse maior estabelecimento das espécies herbáceas não gramínoides após o fogo também permite que essas cresçam e desenvolvam mais suas estruturas vegetativas, já que, segundo Whelan, (1995), a reprodução vegetativa é estimulada através dos eventos de queimada. Além disso, considerando a correlação da estrutura aérea de *C. repens* e o número de NEF de 78%,

parece que plantas mais vigorosas, observadas no histórico recente, causaram o aumento do número de NEF, como em Chamberlain *et al.*, 2010 em que foi observado que plantas maiores possuíam um maior número de NEF. Com isso, o aumento no número de NEF no histórico recente aumentou a disponibilidade de recurso alimentar para as formigas.

Uma maior abundância de plantas floridas após o evento de queimada também foi observada em outros estudos (veja Lunt, 1994; Fidelis & Blanco, 2014) e pode ter sido desencadeada devido à maior disponibilidade de nutrientes e uma maior incidência solar na superfície do solo (Wroblewski & Kauffman, 2003). Além disso, logo após a queimada, em que se observa esse intenso evento de floração e uma grande produção de frutos, também se verifica a presença de um maior banco de sementes no solo nessas áreas (Lamont & Downes, 2011; Fidelis *et al.*, 2014). Portanto, a grande produção de flores, frutos e sementes visualizada após o fogo faz com que se assegure o sucesso reprodutivo e a persistência dessas espécies vegetais. Parece também que *C. repens* é uma espécie de planta r-estrategista, em que sua estratégia ótima é alocar energia máxima na reprodução, produzindo maiores quantidades de descendentes, habitando ambientes instáveis (MacArthur & Wilson, 1967), portanto seria beneficiada pelo distúrbio.

Respostas da estrutura do hábitat ao histórico de queimadas

Com o passar do tempo após o fogo, nos históricos intermediário e tardio, a altura média da vegetação aumentou, assim como a cobertura de gramíneas. Como consequência, a abertura do dossel diminuiu ao longo do tempo após o fogo, do mesmo modo que a cobertura de herbáceas não gramíneas, que teve sua cobertura reduzida nos históricos intermediário e tardio. O distúrbio fogo geralmente retira a biomassa acima do solo, aumentando a abertura do dossel (e.g. Podgaiski *et al.*, 2014) e reduzindo a cobertura de plantas, fazendo com que esses ambientes apresentem uma menor complexidade do hábitat após o fogo (Andersen, 1988; Andersen, 1991). Com a abertura do dossel, que permite o estabelecimento das espécies vegetais (Fidelis *et al.*, 2012), há a rápida colonização das herbáceas não gramíneas (como *C. repens*) anterior ao estabelecimento das gramíneas (Fidelis & Blanco, 2014).

Com a exclusão do fogo, as gramíneas aumentam em biomassa ao longo do tempo e acabam sombreando espécies menores, como as herbáceas não gramíneas (Overbeck *et al.*, 2005), reduzindo sua cobertura, assim como a abundância de *C. repens*. Essa dominância de gramíneas acabou por isolar os indivíduos de *C. repens*, fazendo com que estes se tornassem manchas isoladas em uma matriz de hábitat fechado, com uma menor estrutura aérea da planta e

reduzido número de NEF, diminuindo também a disponibilidade de recurso alimentar às formigas. Dessa forma, os distúrbios possibilitam a renovação dos processos sucessionais, impedindo que poucas espécies, competitivamente superiores, como as gramíneas cespitosas, dominem a comunidade (Pillar & Velez, 2010). *Andropogon lateralis*, *Leptochoryphium lanatum* e *Elyonurus muticus* são exemplos de gramíneas cespitosas comuns nos Campos Sulinos (Overbeck & Pfadenhauer, 2007).

Respostas das comunidades de formigas, interagindo com os NEF de *C. repens*, ao histórico de queimadas

A comunidade de formigas interagindo com os NEF de *C. repens* apresentou uma maior abundância no histórico recente, reduzindo nos históricos intermediário e tardio; porém a riqueza não diferiu entre os históricos de queimada. Essas formigas apresentaram uma composição diferente entre os históricos recente e tardio em termos de abundância, mas quando considerado somente presença/ausência das espécies, a composição não mudou. Ou seja, as espécies de formigas não diferiram entre os históricos de queimada, mas sim a frequência com que estas interagiram com os indivíduos de *C. repens*. Um fator que pode estar explicando tanto a maior abundância quanto a mudança na composição de formigas é a estrutura do hábitat, já que a complexidade do hábitat afeta a habilidade das formigas localizarem e acessarem os recursos alimentares (Andersen, 2000; Gibb, 2005). Além disso, segundo Gibb & Parr, (2010), esses recursos alimentares são descobertos mais rapidamente em ambientes com menor complexidade estrutural. Como o fogo reduz a complexidade estrutural do hábitat (e.g. através da maior abertura de dossel e redução da cobertura de plantas), o acesso da formiga ao recurso é facilitado, fazendo com que haja uma maior abundância de formigas e maior frequência de interação destas nos NEF de *C. repens*.

Além disso, estudos como o de Alves-Silva & Del-Claro, (2013) e Alves-Silva, (2011) demonstraram que após o fogo há uma maior atividade de formigas nos NEF através do rápido rebrote das espécies de plantas e da maior disponibilidade e qualidade de néctar. A partir disso, observa-se que o fogo está relacionado à disponibilidade de recurso. Neste estudo, a medida de recurso utilizada foi o número de NEF, que também teve um aumento em áreas após o evento de queimada, assim como uma maior abundância de formigas. Ou seja, tanto a estrutura do hábitat quanto a disponibilidade de recurso foram determinantes na estruturação das comunidades de formigas.

Respostas das redes de interação intrapopulacional ao histórico de queimada

Considerando a abordagem de rede de interações intrapopulacional, também utilizada no trabalho de Dáttilo *et al.*, (2014a), observou-se um menor índice d'*intra* para as espécies de formiga no histórico recente, comparado aos outros históricos. Além disso, a rede de interação planta-formiga do histórico recente apresentou três espécies de formigas centrais (i.e. aquelas com o maior número de ligações), enquanto nos históricos intermediário e tardio ocorreu somente uma espécie central nas redes. A maior disponibilidade de recursos alimentares, através de um aumento no número de NEF, além de uma grande abertura de dossel e maior abundância de *C. repens* no histórico recente, pode ter permitido que as espécies de formigas interagissem com um maior número de indivíduos de *C. repens*, refletindo no menor índice d'*intra*, e no maior número de espécies centrais na rede. O maior número de espécies de formigas centrais na rede de interação do histórico recente pode ter ocorrido também devido à redução da competição, já que a alta disponibilidade de recurso reduz a competição interespecífica, permitindo a coexistência de mais espécies de formigas (Ribas *et al.*, 2003).

Conclusão

Em suma, nosso estudo demonstrou que o fogo, a partir das modificações na estrutura do hábitat assim como nos indivíduos de *C. repens*, estimulou as interações entre formigas e NEF, permitindo que as espécies de formigas interagissem com mais indivíduos de *C. repens* e mais frequentemente com esses indivíduos; e que um maior número de espécies centrais de formigas interagisse mais fortemente com os NEF de *C. repens*. Tanto a disponibilidade de recurso alimentar quanto a complexidade do hábitat foram fundamentais na estruturação dessa interação, mas provavelmente outros fatores, como interação competitiva, estejam atuando de forma conjunta nessa estruturação.

Agradecimentos Profundos agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial à Me. Camila Goldas, pelo apoio em toda minha caminhada “científica”, por ser extremamente fundamental e responsável por muito de meu aprendizado, e por toda a ajuda a qualquer hora, dia de semana e em qualquer situação. Tua empatia e determinação me inspiram. Todas as discussões de artigo e experiências em campo ajudaram no desenvolvimento desse trabalho. À Dra. Luciana Podgaiski, a “Lu”, por ser uma orientadora tão preocupada e interessada, apaixonada pelo trabalho, e que não mediu esforços

para me ajudar em todos os obstáculos que apareceram na resolução desse artigo. Aprendi muito contigo em cada reunião e conversa que tivemos. Lu e Camila: obrigada por serem minhas duas principais inspirações e modelos a seguir na ciência. Gratidão por ter encontrado mulheres tão incríveis nesse caminho. Admiração imensurável por vocês. Espero que nossa parceria renda muitos frutos. Ao Me. William Dröse, pela ajuda essencial na identificação das formigas (até mesmo no sábado), por estar sempre disposto a tirar qualquer dúvida minha que houvesse, e por me motivar a seguir o caminho da mirmecologia. Muita admiração por ti, obrigada por tudo! Ao Dr. Wesley Dáttilo, pelas sugestões valiosas no desenvolvimento do trabalho, ao professor Dr. Milton Mendonça, por contribuir tanto na minha formação acadêmica quanto científica, e por proporcionar o espaço do laboratório em todas as etapas do estudo; e ao pessoal do Laboratório de Ecologia de Interações, por proporcionarem um ótimo ambiente de trabalho de muitas conversas e colaboração. Ao gestor do PNMSH, Gerson, aos guarda-parques Chico e Telmo e demais funcionários, pelo acompanhamento à campo em qualquer situação, pelas conversas e parceria. Vocês foram essenciais na resolução do trabalho. Agradeço também a toda minha família (mãe, pai e irmão) e amigas, por me motivarem a buscar o meu melhor, por me ajudarem no que fosse necessário e por me aguentarem falar desse trabalho 24 horas por dia. A todos vocês, minha eterna gratidão. Muito obrigada!

REFERÊNCIAS

- Agrawal AK. (1990). Floristic composition and phenology of temperate grasslands of Western Himalaya as affected by scraping, fire and heavy grazing. *Plant Ecology* 88: 177-187.
- Albuquerque EZ, Diehl E, Silva R. (2017). Structure of ground-dwelling ant communities in burned and unburned areas in Brazilian subtropical grasslands. *Entomology Science* 20: 427-436.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, de Moraes Gonçalves JL, Sparovek G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift* 22: 711-728.
- Alves-Silva E. (2011). Post fire resprouting of *Banisteriopsis malifolia* (Malpighiaceae) and the role of extrafloral nectarines on the associated ant fauna in a Brazilian Savanna. *Sociobiology* 58: 327-340.
- Alves-Silva E & Del-Claro K. (2013). Effect of post-fire resprouting on leaf fluctuating asymmetry, extrafloral nectar quality, and ant-plant-herbivore interactions. *Naturwissenschaften* 100: 525-532.

- Alves-Silva E & Del-Claro K. (2014). Fire triggers the activity of extrafloral nectaries, but ants fail to protect the plant against herbivores in a Neotropical savanna. *Arthropod-Plant Interactions* 8: 233-240.
- Andersen AN. (1988). Immediate and longer term effects of fire on seed predation by ants in sclerophyllous vegetation in southeastern Australia. *Aust. J. Ecol.* 13: 285-293.
- Andersen AN. (1991) Responses of ground foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica* 23: 575-585.
- Araújo GM, Amaral AF, Bruna EM, Vasconcelos HL. (2013). Fire drives the reproductive responses of herbaceous plants in a Neotropical swamp. *Plant Ecology* 214: 1479-1484.
- Baccaro F, Feitosa R, Fernández F, Fernandes I, Izzo T, Souza J, Solar R. (2015). Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Manaus: Ed. INPA, 388 p.
- Bond, WJ, Woodward FI, Midgley GF. (2005). The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytol.* 165: 525-538.
- Blüthgen N, Menzel F, Blüthgen N. (2006). Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecol.* 6: 9.
- Byk J & Del-Claro K. (2010). Nectar- and pollen-gathering *Cephalotes* ants provide no protection against herbivory: a new manipulative experiment to test ant protective capabilities. *Acta Ethol* 13: 33-38.
- Camargo RA, Miotto STS. (2004). O gênero *Chamaecrista* Moench (Leguminosae Caesalpinioideae) no Rio Grande do Sul. *IHERINGIA, Sér. Bot.* 59, n. 2: 131-148.
- Chamberlain SA, Kilpatrick JR, Holland JN. (2010). Do extrafloral nectar resources, species abundances, and body sizes contribute to the structure of ant-plant mutualistic networks?. *Oecologia* 164: 741-750.
- Dáttilo W, Guimarães PR, Izzo TJ. (2013). Spatial structure of ant-plant mutualistic networks. *Oikos* 122: 1643-1648.
- Dáttilo W, Fagundes R, Gurka CAQ, Silva MSA, Vieira MCL, Izzo TJ, Díaz-Castelazo C, Del-Claro K, Rico-Gray V. (2014a). Individual-based ant-plant networks: diurnal-nocturnal structure and species-area relationship. *PLoS ONE* 9(6): e99838.
- Dáttilo W, Marquitti FMD, Guimarães PR, Izzo TJ. (2014b). The structure of ant-plant ecological networks: Is abundance enough?. *Ecology* 95: 475-485.
- Del-Claro K, Rico-Gray V, Torezan-Silingardi HM, Alves-Silva E, Fagundes R, Lange D, Dattilo W, Vilela AA, Aguirre A, Rodriguez-Morales D. (2016). Loss and gains in ant-plant interactions mediated by extrafloral nectar: fidelity, cheats, and lies. *Insect Societies* 63: 207-221.

- Farji-Brener AG, Corley JC, Bettinelli J. (2002). The effects of fire on ant communities in north-western Patagonia: the importance of habitat structure and regional context. *Diversity and Distributions* 8: 235-243.
- Ferrando CPR, Podgaiski LR, Costa MK, Mendonça MD Jr. (2016). Taxonomic and functional resilience of grasshoppers (Orthoptera, Caelifera) to fire in South Brazilian grasslands. *Neotropical Entomology* 45: 374-381.
- Fidelis A. (2008). Fire in subtropical grasslands in Southern Brazil: effects on plant strategies and vegetation dynamics. In: Chair of Vegetation Ecology, p. 151. Technische Universität München.
- Fidelis A, Delgado-Cartay MD, Blanco C, Müller SC, Pillar VD, Pfadenhauer J. (2010). Fire intensity and severity in Brazilian Campos grasslands. *Interciencia* 35: 739-745.
- Fidelis A, Blanco, CC, Müller SC, Pillar VD & Pfadenhauer J. (2012). Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. Wildi, O. (ed.) *Journal of Vegetation Science* 23: 552-562.
- Fidelis A & Blanco C. (2014). Does fire induce flowering in Brazilian subtropical grasslands? *Applied Vegetation Science* 17: 690-699.
- Fidelis A, Appezzato-da-Glória B, Pillar VD, Pfadenhauer J. (2014). Does disturbance affect bud bank size and belowground structures diversity in Brazilian subtropical grasslands? In *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 209: 110-116.
- Gibb H. (2005). The effect of a dominant ant, *Iridomyrmex purpureus*, on resource use by ant assemblages depends on microhabitat and resource type. *Aust Ecol* 30: 856-867.
- Gibb H & Parr CL. (2010). How does habitat complexity affect ant foraging success? A test using functional measures on three continents. *Oecologia* 164(4): 1061-1073.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.
- Koptur S. (1992). Extrafloral nectary-mediated interactions between insects and plants. In: E. Bernays (ed.), *Insect-Plant Interactions*. CRC Press, Boca Raton 81-129.
- Lamont BB & Downes KS. (2011). Fire-stimulated flowering among resprouters and geophytes in Australia and South Africa. *Plant Ecology* 212: 2111-2125.
- Lunt, IAND. (1994). Variation in flower production of nine grassland species with time since fire, and implications for grassland management and restoration. *Pacific Conservation Biology* 1: 359-366.
- MacArthur RH & Wilson EO. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton: Princeton University Press. 203 p.

- Maravalhas J & Vasconcelos HL. (2014). Revisiting the pyrodiversity–biodiversity hypothesis: long-term fire regimes and the structure of ant communities in a Neotropical savanna hotspot. *Journal of Applied Ecology* 51: 1661-1668.
- Melo Y, Machado SR, Alves M. (2010). Anatomy of extrafloral nectaries in Fabaceae from dry-seasonal forest in Brazil. *Botanical Journal of the Linnean Society* 163: 87-98.
- Müller SC, Overbeck GE, Pfadenhauer J, Pillar VD. (2007). Plant functional types of woody species related to fire disturbance in forest–grassland ecotones. *Plant Ecology* 189: 1-14.
- Nascimento EA & Del-Claro K. (2010). Ant visitation to extrafloral nectaries decreases herbivory and increases fruit set in *Chamaecrista debilis* (Fabaceae) in a neotropical savanna. *Flora* 205:754-756.
- Oliveira JM & Pillar VD. (2004). Vegetation dynamics on mosaics of Campos and Araucaria forest between 1974 and 1999 in Southern Brazil. *Community. Ecol.* 5: 197-202.
- Overbeck GE, Müller SC, Pillar VD, Pfadenhauer J. (2005). Fine-scale post-fire dynamics in South Brazilian subtropical grassland. *J. Veg. Sci.* 16: 655-664.
- Overbeck GE, Müller SC, Pillar VD, Pfadenhauer J. (2006). Floristic composition, environmental variation and species distribution patterns in burned grassland in southern Brazil. *Braz. J. Biol.* 66: 29-41.
- Overbeck GE, Müller SC, Fidelis AT, Pfadenhauer J, Pillar VD, Blanco, C, Boldrini II, Both R. & Forneck ED. (2007). Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9: 101-116.
- Overbeck G & Pfadenhauer J. (2007). Adaptive strategies in burned subtropical grassland in Southern Brazil. *Flora.* 202: 27-49.
- Pillar VD & Vélez E. (2010). Extinção dos Campos Sulinos em unidades de conservação: um fenômeno natural ou um problema ético? *Natureza e Conservação* 8(1): 1-5.
- Podgaiski LR, Joner F, Lavorel S, Moretti M, Ibanez S, et al. (2013). Spider trait assembly patterns and resilience under fire-induced vegetation change in South Brazilian Grasslands. *PLoS ONE* 8, e60207.
- Podgaiski LR, da Silva Goldas C, Ferrando CPR, Silveira FS, Joner F, Overbeck GE, de Souza Mendonça M, Pillar VD. (2014). Burning effects on detritivory and litter decay in Campos grasslands. *Aust. Ecol.* 39: 686-695.
- Podgaiski LR, Cavalleri A, Ferrando CPR, Pillar VD, Mendonça MdS. (2017). Prescribed patch burnings increase thrips species richness and body size in grassland communities. *Insect Conserv Divers.*

- R Development Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>.
- Ribas CR, Schoereder JH, Pic M, Soares SM. (2003). Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology* 28: 305-314.
- Rico-Gray V, Díaz-Castelazo C, Ramírez-Hernández A, Guimarães PR Jr, Holland JN. (2012). Abiotic factors shape temporal variation in the structure of a mutualistic ant–plant network. *Arthropod–Plant Interactions* 6: 189-295.
- Schultz TR. & TP. McGlynn. (2000). The interactions of ants with other organisms. Em: *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity* (D. Agosti; J.D. Majer; L.E. Alonso & T.R. Schultz, eds.). Smithsonian Institution Press, Washington 35-44.
- Whelan RJ. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Wroblewski DW & Kauffman JB. (2003). Initial effects of prescribed fire on morphology, abundance, and phenology of forbs in big sagebrush communities in southeastern Oregon. *Restoration Ecology* 11: 82-90.