



Amazônia Oriental

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

KAROLINE CHAVES DA SILVA

**Efeito acumulado de seca e fogo na rebrota e desenvolvimento de espécies
vegetais dos campos rupestres**

Belém-PA
2021

KAROLINE CHAVES DA SILVA

**Efeito acumulado de seca e fogo na rebrota e desenvolvimento de espécies
vegetais dos campos rupestres**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Ecologia do convênio Universidade Federal do Pará
e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Área de concentração: Ecologia

Linha de Pesquisa: Ecologia de Organismos e
Populações

Orientadora: Prof^a Dr^a. Grazielle Sales Teodoro-
Universidade Federal do Pará-UFPA

Co-orientador: Dr. Mauro Brum Monteiro Junior-
Universidade do Arizona (EUA)

Belém-PA
2021

- D111e da Silva, Karoline Chaves.
Efeito acumulado de seca e fogo na rebrota e desenvolvimento
de espécies vegetais dos campos rupestres / Karoline Chaves da
Silva. — 2021.
45 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof^a. Dra. Grazielle Sales Teodoro
Coorientador(a): Prof. Dr. Mauro Brum Monteiro Junior
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em
Ecologia, Belém, 2021.
1. Seca. 2. Fogo. 3. Rebrotamento. 4. Carboidratos não-estruturais. 5.
Efeito Memória. I. Título.

CDD 574.524

KAROLINE CHAVES DA SILVA

**Efeito acumulado de seca e fogo na rebrota e desenvolvimento de espécies
vegetais dos campos rupestres**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia do convênio Universidade Federal do Pará e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ecologia pela comissão julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Dr^a. Grazielle Sales Teodoro

Universidade Federal do Pará (UFPA) (Presidente)

Dr^a. Anna Abrahão

University of Hohenheim-Alemanha

Dr. Cleiton Breder Eller

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Dr. Markus Gastauer

Instituto Tecnológico Vale (ITV-UFPA)

Dra. Thaísa Sala Michelin

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Belém-PA
2021

Dedico aos meus pais Dulcirene Chaves e Valdovino Monteiro, que são as pessoas mais importantes da minha vida e me possibilitaram a realização de inúmeros sonhos, como este. A vocês todo o meu amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

É com extrema felicidade e transbordando gratidão que chego até aqui e encerro mais um ciclo. Perdi as contas de quantas vezes achei que não fosse conseguir, mas ao longo da caminhada a gente encontra forças (de onde não tem) pra alcançar um sonho. Agradeço aos meus pais que me proporcionaram uma excelente educação, me ensinaram a não desistir e apoiaram os meus mais loucos sonhos. Tudo sempre foi por vocês e será por vocês.

Aos meus amigos (as), que sem dúvidas, foram as pessoas que aliviaram o peso da existência nos momentos mais difíceis. Em especial, as minhas irmãs do coração Lays Barros e Layne Lima, que desde 2007 compartilham a vida comigo (e muitos lanches) e são pessoas indispensáveis na minha trajetória. Obrigada por sempre acreditarem em mim e me arrancarem inúmeros sorrisos.

Aos meus amigos da graduação: Carla Carolina, Irina Sofia e Rodrigo Arison, que desde 2014 me acolheram, compartilharam vivências e me mostraram o real sentido da amizade. Essa parceria ultrapassou os limites da UFPA e hoje os carrego na minha vida com muito amor e admiração.

Às minhas amigas do grupo “As melhores-Eles que lutem” que desfrutaram comigo desde os momentos mais difíceis aos mais alegres. Aos pouquinhos a gente tá dominando o mundo (porque esse é o nosso objetivo) não é mesmo Leandra, Luane e Rayssa? Amo a vida de vocês e sou extremamente grata por cada palavra, sorrisos trocados e sextas no point da gelada.

Aos meus companheiros do Laboratório de Ecologia de Produtores Primários, principalmente os que me auxiliaram em campo, não medindo esforços pra me ajudar em todas as coletas e práticas desenvolvidas no laboratório após coleta. Especialmente, os alunos de estágio rotatório, desejo que a carreira de vocês seja tão incrível como foi a minha.

Aos meus amados orientadores Grazi e Mauro, que foram extremamente compreensíveis, pacientes e me ensinaram muito sobre Ecofisiologia de plantas. A profissional que me torno hoje deve-se às inúmeras contribuições que vocês compartilharam comigo nessa jornada, não só na vida acadêmica, mas na pessoal também. Foi uma honra trabalhar com pessoas que tanto admiro, muito obrigada.

Aos membros da banca que aceitaram avaliar este trabalho: Dra. Anna Abrahão, Dr. Cleiton Eller, Dr. Markus Gastauer e Dra. Thaísa Michelin e suas ricas contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida.

À Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, pela oportunidade de fazer parte do curso de mestrado, e a todo corpo técnico pelo auxílio nos assuntos acadêmicos.

“Nobody said it was easy,
No one ever said it would be this hard
Oh, take me back to the start
I was just guessing at numbers and figures
Pulling the puzzles apart
Questions of science, science and progress”

(The scientist- Coldplay, 2002)

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1 Área de estudo e seleção das espécies	15
2.2 Desenho experimental	16
2.3 Caracterização do clima e conteúdo de água no solo	17
2.4 Biomassa	18
2.5 Análise de carboidratos não-estruturais (CNE)	18
2.6 Trocas gasosas	19
2.7 Análise de dados	19
3. RESULTADOS	20
4. DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÃO	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
7. MATERIAL SUPLEMENTAR	34

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Fig. 1. Espécies mais abundantes da vegetação de campo rupestre selecionadas para o estudo. A) <i>Campomanesia pubescens</i> ; B) <i>Eremanthus seidelii</i> ; C) <i>Lessingianthus warmingianus</i> ; D) <i>Mimosa clausenii</i> ; E) <i>Vellozia intermedia</i> ; F) <i>Vellozia nivea</i>	16
Fig. 2. Experimento de exclusão de água da chuva em vegetação de campo rupestre no Parque Nacional da Serra da Canastra. Parcelas com o telhado coberto representam as parcelas de exclusão de água da chuva e aquelas com o telhado aberto representam as parcelas controle.....	17
Fig. 3. Comparação (Teste t de Student) da variação na biomassa aérea e crescimento (produção de folhas novas) após o fogo em a) <i>Campomanesia pubescens</i> , b) <i>Eremanthus seidelii</i> , c) <i>Lessingianthus warmingianus</i> , d) <i>Mimosa clausenii</i> , e) <i>Vellozia intermedia</i> , f) <i>Vellozia nivea</i> em parcelas controle (cinza) e submetidas à seca experimental (laranja).....	20
Fig. 4. Variação dos carboidratos: a) carboidratos não-estruturais, b) açúcares solúveis e c) amido nas espécies <i>Campomanesia pubescens</i> (Cam.pub), <i>Eremanthus seidelii</i> (Ere.sei), <i>Lessingianthus warmingianus</i> (Les.war), <i>Mimosa clausenii</i> (Mim.cla), <i>Vellozia intermedia</i> (Vel.int) e <i>Vellozia nivea</i> (Vel.niv) em parcelas nas condições controle e seca durante o período de exclusão de água da chuva.....	22
Fig. 5. Variação das taxas de trocas gasosas: condutância estomática (gs), fotossíntese (A) e eficiência intrínseca no uso de água (WUEi) nas espécies a) <i>Campomanesia pubescens</i> (Cam.pub); b) <i>Eremanthus seidelii</i> (Ere.sei); c) <i>Lessingianthus warmingianus</i> (Les.war); d) <i>Mimosa clausenii</i> (Mim.cla); e) <i>Vellozia intermedia</i> (Vel.int); f) <i>Vellozia nivea</i> (Vel.niv) em parcelas controle e seca durante o período de exclusão de água da chuva e após o fogo.....	25
Tabela 1. Características das espécies estudadas dentro das parcelas.....	15
Tabela 2. Modelo linear misto para avaliar os efeitos de espécie (Species), condição (Condition) e interação entre espécie e condição (Species:Condition) para os carboidratos: amido (Starch), açúcares solúveis (Soluble sugars) e carboidratos não-estruturais (Non-structural carbohydrates) de espécies submetidas a condição de seca e fogo.....	21
Tabela 3. Comparação da frequência de rebrotamento dos indivíduos entre as condições (controle e seca) após a ocorrência de incêndio.....	22
Tabela 4. Modelo linear misto para avaliar os efeitos de tempo (Time), condição (Condition) e interação entre tempo e condição (Time:Condition) para as taxas de trocas gasosas: condutância estomática (gs), fotossíntese (A) e eficiência intrínseca no uso de água (WUEi) em parcelas controle e de seca experimental antes e após o fogo.....	23

Efeito acumulado de seca e fogo na rebrota e desenvolvimento de espécies vegetais dos campos rupestres

Esta dissertação foi elaborada e formatada conforme as normas do Jornal Botânico Científico *Flora*, as quais se encontram no Material Suplementar 1.

Efeito acumulado de seca e fogo na rebrota e desenvolvimento de espécies vegetais dos campos rupestres

Karoline Chaves da Silva^{1,2,4}, Mauro Brum³, Grazielle Sales Teodoro^{1,2}

1. Programa de Pós-graduação em Ecologia - Universidade federal do Pará/EMBRAPA
2. Laboratório de Ecologia de Produtores Primários, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará
3. Pesquisador de Pós-doutorado na Universidade do Arizona – EUA.
4. E-mail: kchavessilva@hotmail.com

RESUMO

As espécies vegetais de áreas montanhosas estão entre as mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas. Com a mudança nos padrões de distribuição de chuvas e nos regimes de incêndios naturais, o alto endemismo destes ecossistemas pode estar ameaçado. Neste estudo, avaliamos a diversidade de respostas ecofisiológicas de seis espécies de plantas de campos rupestres, sendo quatro arbustivas (*Campomanesia pubescens*, *Eremanthus seidelii*, *Mimosa clausenii* e *Lessingianthus warmingianus*) e duas rosetas (*Vellozia intermedia* e *Vellozia nivea*) que foram submetidas à uma seca experimental seguido de fogo. Testamos as seguintes hipóteses: 1- o efeito acumulado do estresse hídrico e fogo causa reduções na biomassa de indivíduos submetidos à seca experimental; 2- plantas sob estresse hídrico reduzem suas reservas de amido e aumentam a concentração de açúcares solúveis, apresentando uma rebrota mais lenta; 3- o efeito acumulado de seca e fogo produz um “efeito memória” nas plantas do campo rupestre, mantendo suas taxas de trocas gasosas semelhantes ao longo desses distúrbios. Para simular o evento de seca extrema, realizamos um experimento de exclusão de chuva, constituído por 12 parcelas (4x4 metros), sendo quatro controle e oito de exclusão, durante dezoito meses, em uma área de campo rupestre no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. Avaliamos o desempenho ecofisiológico das plantas submetidas a condições climáticas contrastantes mediante um conjunto de atributos morfofisiológicos, incluindo: biomassa aérea, carboidratos (carboidratos não-estruturais, açúcares solúveis e amido) e trocas gasosas (condutância estomática, taxa fotossintética e eficiência intrínseca do uso da água). As espécies apresentaram diferentes respostas em relação à seca e rebrota após ao fogo para todas as variáveis analisadas. Mostramos que o efeito acumulado do estresse hídrico seguido de fogo causou reduções na biomassa aérea apenas nos indivíduos de *Vellozia nivea* submetidos à seca. Também observamos que apenas *Eremanthus seidelii* diferiu significativamente na concentração de açúcares solúveis encontrado nas raízes dos indivíduos que estavam submetidos à seca. Além disso, mostramos que *Campomanesia pubescens*, *Lessingianthus warmingianus* e *Mimosa clausenii* apresentaram taxas de trocas gasosas (condutância estomática, eficiência intrínseca do uso da água e taxa fotossintética, respectivamente) com características de um efeito memória, demonstrando taxas semelhantes antes e após a ocorrência do fogo, para os indivíduos em condição de seca. Nossos resultados trazem importantes contribuições para entender o funcionamento de ecossistemas sazonais limitados por água e propensos ao fogo, destacando a diversidade de estratégias ecológicas que conferem resiliência ao efeito cumulativo desses distúrbios. Portanto, consideramos que as mudanças climáticas podem influenciar na distribuição e no volume de chuvas ao longo do ano, provocando a intensificação de secas extremas e incêndios naturais nas regiões tropicais.

Palavras-chave: seca, fogo, rebrotamento, carboidratos não-estruturais, efeito memória

Efeito acumulado de seca e fogo na rebrota e desenvolvimento de espécies vegetais dos campos rupestres

ABSTRACT

Plant species in mountainous areas are among the most vulnerable to the effects of climate change. Due to changes in rainfall distribution patterns and natural fire regimes, the high endemism of these ecosystems may be threatened. In this study, we evaluated the diversity of ecophysiological responses of six species of campos rupestres plants, four of them are shrubs (*Campomanesia pubescens*, *Eremanthus seidelii*, *Mimosa clausenii* and *Lessingianthus warmingianus*) and two rosettes (*Vellozia intermedia* and *Vellozia nivea*) that were submitted to experimental drought followed by fire. We tested the following hypotheses: 1- the accumulated effect of water stress and fire causes reductions in the biomass of individuals subjected to experimental drought; 2- plants under water stress reduce their starch reserves and increase the concentration of soluble sugars, showing a slower resprouting; 3- the accumulated effect of drought and fire produces a "memory effect" in the plants of campos rupestres, maintaining their gas exchange rates similar throughout these disturbances. To simulate the extreme drought event, we carried out a rain exclusion experiment, consisting of twelve plots (4x4 meters), four of them were control plots and eight of rain exclusion, during eighteen months, in an area of campos rupestres in the Serra da Canastra National Park, Minas Gerais, Brazil. We evaluated the ecophysiological performance of plants submitted to contrasting climatic conditions using a set of morphophysiological traits, including: aerial biomass, carbohydrates (non-structural carbohydrates, starch and soluble sugars) and gas exchange (stomatal conductance, photosynthetic rate and intrinsic water-use efficiency). The species showed different responses in relation to drought and resprouting after fire for all analyzed variables. We showed that the accumulated effect of water stress followed by fire caused reductions in aerial biomass only in individuals of *Vellozia nivea* submitted to drought. We also observed that only *Eremanthus seidelii* differed significantly in the concentration of soluble sugars found in the roots of individuals subjected to drought. In addition, we showed that *Campomanesia pubescens*, *Lessingianthus warmingianus* and *Mimosa clausenii* showed gas exchange rates (stomatal conductance, intrinsic water use efficiency and photosynthetic rate, respectively) with characteristics of a memory effect, demonstrating similar rates before and after the occurrence of fire, for individuals in drought condition. Our results bring important contributions to understand the functioning of seasonal ecosystems limited by water and fire-prone, highlighting the diversity of ecological strategies that provide resilience to the cumulative effect of these disturbances. Therefore, we consider climate change can influence the distribution and volume of rainfall throughout the year, causing the intensification of extreme droughts and natural fires in tropical regions.

Keywords: drought, fire, resprouting, non-structural carbohydrates, memory effect

1. INTRODUÇÃO

De acordo com os modelos climáticos, as áreas montanhosas estão entre os locais que terão suas condições microclimáticas mais afetadas devido ao aquecimento global, pois apresentam microclimas peculiares e são altamente vulneráveis às mudanças do clima (Bittencourt et al. 2016; IPCC, 2019). Com o aumento da temperatura global, haverá mudanças nos padrões de distribuição da precipitação ao longo do ano e nos regimes de incêndio, já que a maioria das áreas montanhosas são propensas ao fogo (Pausas & Keeley, 2014), o que pode resultar em uma intensificação nos eventos de secas extremas nas regiões tropicais (Rowland et al. 2020) e incêndios naturais (Pausas & Keeley, 2014). Sendo assim, consideramos que as mudanças na disponibilidade hídrica em áreas montanhosas poderão ter impactos na estrutura e no funcionamento das espécies que vivem nesses locais (Oliveira et al. 2014).

Secas extremas têm sido amplamente documentadas em regiões montanhosas nos últimos anos (McDowell et al. 2011, IPCC, 2019). Estudos mostram que secas sazonais e interanuais podem causar reduções no crescimento, aumento nas taxas de mortalidade de plantas e aumento na vulnerabilidade a queimadas em muitos ecossistemas (Brenes-Arguedas et al. 2009; Esquivel-Muelbert et al. 2017). Plantas que ocorrem em ambientes com limitação hídrica desenvolveram várias adaptações morfológicas e fisiológicas para melhorar a aquisição/uso de água e manter sua homeostase (Oliveira et al. 2014). Geralmente, as espécies resistentes a limitação hídrica apresentam baixas taxas intrínsecas de crescimento e respostas fisiológicas à variação na disponibilidade de água, como o fechamento estomático, redução do potencial hídrico e mecanismos de dessecação (Moreno-Gutierrez et al. 2012).

O controle estomático (g_s) e a eficiência intrínseca do uso da água ($iWUE$) são atributos fisiológicos que implicam mudanças nas taxas de crescimento e apresentam uma relação inversamente proporcional ($iWUE = A_{máx}/g_s$), onde $A_{máx}$ é a taxa fotossintética (Oliveira et al. 2014; Li et al. 2017). Essas características possibilitam que as plantas diminuam sua perda de água por meio da regulação estomática (g_s) e aumentem sua eficiência intrínseca de uso da água ($iWUE$) para permanecer hidratada (Oliveira et al. 2014). Outra estratégia desenvolvida pelas plantas, é o estoque de uma fração de carbono na forma de carboidratos não estruturais (Martínez-Vilalta et al. 2016; Lloret et al. 2018). Os carboidratos não estruturais (CNE), formados principalmente por amido e açúcares solúveis, são essenciais no funcionamento da planta, sendo substratos e fontes de energia para os processos metabólicos (Hartmann et al. 2018). O armazenamento de amido fornece carbono para auxiliar no crescimento da planta durante o dia e na respiração durante a noite (Smith e Stitt 2007). Junto com outros compostos de carbono de baixo peso molecular, os açúcares solúveis estão

envolvidos na manutenção do turgor (Hummel et al. 2010), transporte do floema (Savage et al. 2016), e possivelmente no reparo do xilema (Secchi e Zwieniecki 2011).

A regulação estomática da transpiração foliar durante a seca pode diminuir significativamente as taxas de assimilação de carbono e, em casos extremos (por exemplo, secas moderadas, mas prolongadas) levar a um balanço de carbono líquido negativo (McDowell et al. 2008), quando as árvores devem necessariamente depender de reservas de carboidratos não estruturais (Klein & Hoch, 2015) para manter os processos metabólicos. Por outro lado, a desidratação pode reduzir a mobilização de carbono e modificar a alocação (Hartmann et al. 2013), assim como afetar o funcionamento do floema (Sevanto, 2014) e comprometer as atividades enzimáticas envolvidas no metabolismo dos açúcares, por exemplo, hidrólise do amido (Srichuwong & Jane, 2007).

Além das limitações de aquisição de água e carbono causadas pelo clima sazonalmente seco, a ocorrência de incêndios é um forte fator que afeta a distribuição das espécies em montanhas tropicais (Oliveira et al. 2016). O rebrotamento é um traço de tolerância que confere persistência à planta, permitindo-lhe sobreviver à ocorrência de fogo (Clarke et al. 2013; Fernandes et al. 2021), através do armazenamento de carboidratos não-estruturais (Alves et al. 2014; Veldman et al. 2015). No entanto, pouco se sabe como o aumento na frequência e a gravidade desses incêndios (Schmidt & Eloy, 2020) poderão causar danos irreversíveis, como a perda da biomassa acima do solo, afetando a sobrevivência e sucesso reprodutivo das espécies de plantas (Fidelis et al. 2016). Nesse sentido, é essencial compreender os mecanismos fisiológicos subjacentes à sobrevivência e produtividade das plantas, para entender como elas responderão a cenários mais frequentes de seca e fogo induzidos pelas mudanças climáticas.

Estresses abióticos recorrentes podem reduzir a resiliência dos ecossistemas (Teshome et al. 2020). Por outro lado, as plantas podem se aclimatar e apresentar alguma forma de plasticidade fenotípica diante da intensificação desses estresses (Bresta et al. 2018; Shaar-Moshe et al. 2019). De acordo com Johnstone et al. (2016) algumas espécies de plantas desenvolvem uma memória ecológica, também conhecido como efeito memória. Na verdade, a "memória" do estresse da planta, ou seja, as modificações estruturais, genéticas e bioquímicas que ocorreram por causa da exposição ao estresse, tornam a planta mais resistente à exposição futura ao mesmo fator de estresse (Fleta-Soriano & Munné-Bosch, 2016; Johnstone et al. 2016). Segundo Bruce et al. (2007), mudanças epigenéticas e acúmulo de proteínas de sinalização ou fatores de transcrição podem ocorrer como mecanismos para manutenção do “efeito memória”. Logo, eventos sazonais como seca e fogo forçam as plantas a ajustar seu metabolismo, assim a memória ecológica permite uma resposta mais apropriada a determinadas mudanças no ambiente.

Também são conhecidas estratégias morfológicas e fenológicas para lidar com a limitação de água em ambientes sazonalmente secos e sujeitos a incêndios periódicos. Por exemplo, o enraizamento profundo permite às plantas evitarem a seca, e as plantas de raízes mais superficiais compensam com atributos foliares de maior tolerância aos eventos de estresse hídrico (Brum et al. 2017), com um ponto de perda de turgor foliar mais negativo. Além disso, muitas espécies apresentam uma grande proporção de órgãos subterrâneos (Monteiro 2013) de armazenamento de reservas de carboidratos não-estruturais que garantem a rebrota das partes aéreas após o fogo (Joaquim et al. 2014; Pausas et al. 2018), assim como sustentam a fisiologia das plantas durante uma seca prolongada (Tomasella et al. 2020). Outra adaptação conhecida é a tolerância à dessecação, onde algumas espécies conseguem manter seus tecidos dessecados temporariamente e retornam ao seu vigor fisiológico após a melhoria das condições (plantas de ressurreição) (Alcantara et al. 2015; Vieira et al. 2017). No geral, avaliando essas estratégias conjuntamente, elas indicam grandes adaptações de sobrevivência perante o efeito acumulado de seca e fogo (Oliveira et al. 2016).

Dentro do domínio Cerrado, uma fisionomia bastante peculiar é o campo rupestre. Essas áreas apresentam flora bastante rica em espécies e com alto grau de endemismo (Oliveira et al. 2016; Silveira et al. 2016) e podem ser vulneráveis às mudanças climáticas esperadas para a região tropical (Oliveira et al. 2016; IPCC, 2019). Os campos rupestres ocorrem sob climas sazonalmente secos e sobre afloramentos rochosos de quartzito no topo das montanhas, condições que geram períodos de déficit hídrico significativo para a vegetação (Oliveira et al. 2016). Climaticamente, são caracterizados por verões úmidos e invernos secos, alto déficit de pressão de vapor (VPD) e alta radiação total (Jacobi et al. 2007). Os solos geralmente são rasos, com baixa capacidade de retenção de água e severamente empobrecidos em nutrientes (Negreiros et al. 2014; Oliveira et al. 2016). A vegetação é dominada por espécies perenes de pequenas árvores, arbustos lenhosos, rosetas e gramíneas (Le Stradic et al. 2015; Oliveira et al. 2015).

Considerando o elevado número de espécies ameaçadas de extinção e o alto endemismo da flora do campo rupestre, é fundamental ampliar o conhecimento a nível ecofisiológico acerca das adaptações de sobrevivência frente ao aumento na frequência de eventos de seca e fogo. Portanto, as principais questões abordadas no desenvolvimento deste trabalho foram: Qual o efeito do fogo em plantas que estão sob diferentes condições de estresse hídrico? Como a quantidade de carboidratos armazenados nas raízes influencia a rebrota de plantas submetidas ao estresse hídrico e à ocorrência de fogo? Qual o efeito do estresse hídrico nas trocas gasosas de indivíduos que rebrotam após a passagem do fogo? Testamos as seguintes hipóteses: (H1) O efeito acumulado da seca experimental e fogo causa reduções na biomassa dos indivíduos; (H2) Plantas sob estresse hídrico reduzem as

reservas de amido e aumentam a concentração de açúcares solúveis para manter seu funcionamento fisiológico, além disso, apresentam menor rebrota após a passagem do fogo; (H3) Eventos sazonais de seca e fogo desenvolvem a um “efeito memória ecológico” nas plantas do campo rupestre.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e seleção das espécies

O estudo foi realizado entre os anos de 2012 e 2013 em uma comunidade de campo rupestre no Parque Nacional da Serra da Canastra, localizada no município de São Roque de Minas, Minas Gerais, Brasil (20°15'40" S e 46°25'25" W). A altitude do local varia de 800 a 1500 metros. A temperatura média máxima varia de 18°C a 31°C e a média mínima varia de 9,5°C a 17,5°C. Nos últimos vinte anos a temperatura média anual foi de 21,62°C e a precipitação média anual acumulada foi de 1239,3 mm (dados da CEMIG, estação meteorológica de São Roque de Minas). O clima é tipicamente sazonal: o inverno é extremamente seco, com pouca ou nenhuma chuva de maio a setembro; e os outros meses são caracterizados pelo período chuvoso (outubro a abril).

Os solos dos campos rupestres são derivados do intemperismo do arenito e quartzito e geralmente são rasos, de textura grossa e pobres em nutrientes, principalmente fósforo e potássio (Oliveira et al. 2015). As plantas no local estão expostas à alta radiação ultravioleta, grandes variações diárias de temperatura (média= 18°C, máx= 27,6°C e mín= 4,5°C) e alto déficit de pressão de vapor (Jacobi et al. 2007). As famílias de plantas dominantes são Velloziaceae, Fabaceae, Poaceae e Asteraceae e o número estimado de espécies para os campos rupestres é superior a 5000 (Silveira et al. 2016). Selecionamos as espécies através do critério de frequência e abundância, pertencentes a diferentes grupos funcionais (Tabela 1) (Fig. 1). Realizamos medidas de biomassa aérea, trocas gasosas, quantidade de carboidratos não-estruturais e frequência de rebrotamento após fogo, afim de avaliar a diversidade de estratégias de sobrevivência nesta comunidade.

Tabela 1. Características das espécies estudadas dentro das parcelas. Os sistemas radiculares foram classificados por Monteiro (2013) e Brum et al. (2017). Os códigos são referentes aos nomes que as espécies serão referidas ao longo do trabalho. (*) A altura média (cm) corresponde às plantas medidas durante o estudo.

Espécie	Família	Código	Forma de crescimento	Sistema radicular	Altura média*
<i>Campomanesia pubescens</i> (Mart. ex DC.) O.Berg	Myrtaceae	Cam.pub	Subarbustos pequenos	Raízes superficiais (sóbole)	52
<i>Eremanthus seidelii</i> MacLeish & Schumacher	Asteraceae	Ere.sei	Subarbustos altos	Raízes dimórficas	80

<i>Lessingianthus warmingianus</i> (Baker) H. Rob.	Asteraceae	Les.war	Subarbustos	Raízes tuberosas	43
<i>Mimosa clausenii</i> Benth.	Fabaceae	Mim.cla	Subarbustos	Raízes dimórficas	11
<i>Vellozia intermedia</i> Seub.	Velloziaceae	Vel.int	Rosetas	Raízes fasciculadas	46
<i>Vellozia nivea</i> L.B.Sm. & Ayensu	Velloziaceae	Vel.niv	Rosetas	Raízes fasciculadas	44

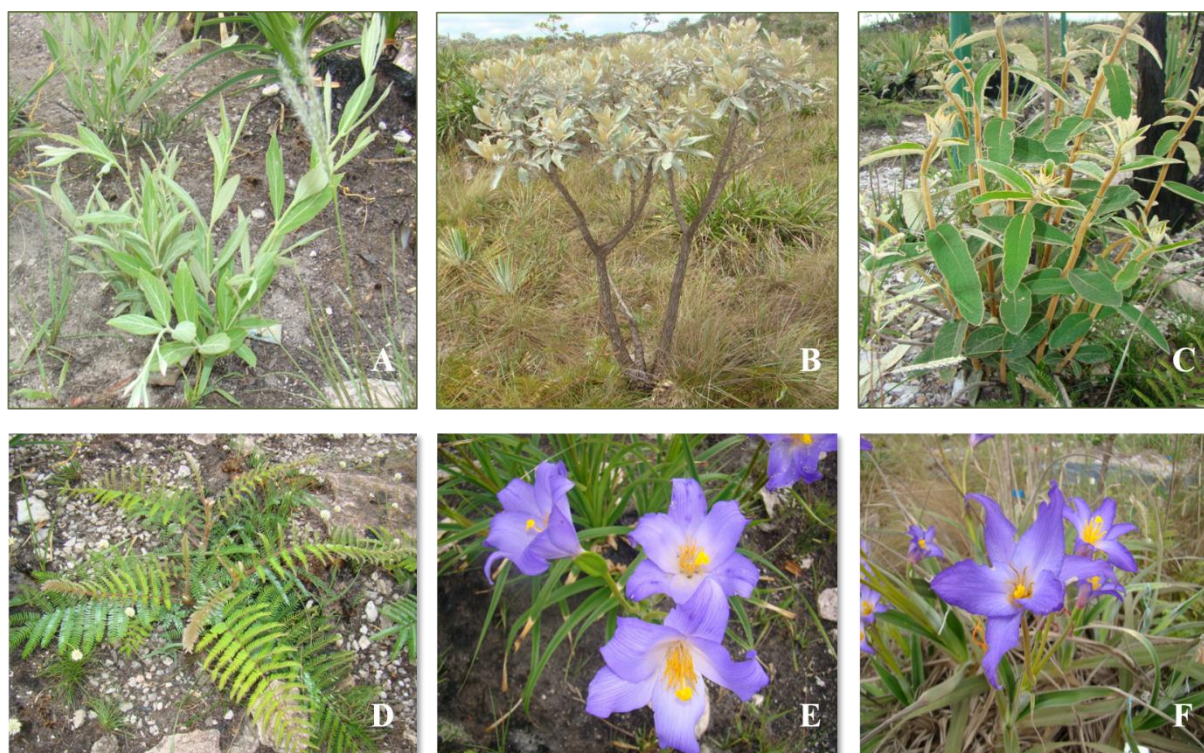


Fig. 1. Espécies mais abundantes da vegetação de campo rupestre selecionadas para o estudo. A) *Campomanesia pubescens*; B) *Eremanthus seidelii*; C) *Lessingianthus warmingianus*; D) *Mimosa clausenii*; E) *Vellozia intermedia*; F) *Vellozia nivea* (Fotografias: Grazielle Teodoro).

2.2 Desenho experimental

Para testar nossas hipóteses, implementamos estruturas de exclusão de água da chuva para intensificar o estresse hídrico à vegetação dos campos rupestres (Fig. 2). O desenho experimental consistiu na instalação de 12 parcelas, sendo que quatro foram usadas como parcelas controle e oito como exclusão de água da chuva, a distância entre as parcelas variou entre 1,5 m e 15 m. As estruturas utilizadas para exclusão da precipitação nas parcelas possibilitaram uma redução de cerca de 35% da umidade relativa de água no solo (Teodoro, 2014) (Fig. S1). As estruturas foram implementadas em abril de 2011 e mantidas por dezoito meses, até setembro de 2012 (mês que houve um incêndio na área de estudo). Não havia nenhum tipo de estrutura espacial que pudesse afetar à exposição ao fogo,

que foi de forma não controlada. As parcelas mediam 4x4 m, porém, afim de evitar o efeito de borda, utilizamos somente indivíduos dentro do perímetro 3x3m. Ao longo do experimento, monitoramos a quantidade de água e temperatura do solo. Durante a passagem do fogo (set12), nos certificamos de que todas as parcelas haviam sido queimadas. Posteriormente, analisamos a frequência de rebrota dos indivíduos após o fogo, conferindo seu comprimento total, número de ramos, folhas e/ou rosetas.

As estruturas que excluía água das parcelas foram construídas com ferro e cobertas com telhados de policarbonato que permitiam que a radiação atingisse a vegetação, seguindo o delineamento utilizado por West et al. (2012). As coberturas foram instaladas a 1,5 m do solo em cada parcela. Nas parcelas experimentais, as coberturas foram fechadas para diminuir o aporte hídrico proveniente da precipitação durante todo o período estudado, enquanto nas parcelas controle as coberturas foram mantidas abertas (Fig. 2). Ao redor de cada parcela, cavamos trincheiras e as mesmas foram vedadas com plástico para evitar o fluxo de água lateral do solo e a entrada de água pela lateral das parcelas.



Fig. 2. Experimento de exclusão de água da chuva em vegetação de campo rupestre no Parque Nacional da Serra da Canastra. Parcelas com o telhado coberto representam as parcelas de exclusão de água da chuva e aquelas com o telhado aberto representam as parcelas controle (Fotografia: Rafael Oliveira).

2.3 Caracterização do clima e conteúdo de água no solo

Para avaliar as variações climáticas da área ao longo do estudo, foi instalada em dezembro de 2011 uma estação meteorológica completa com temperatura e umidade do ar (Campbell Scientific - Vaisala), radiação fotossinteticamente ativa (Campbell Scientific LI190SB-L15 8721-45) e pluviômetro (Campbell Scientific TB4-L15). Antes da implantação dessa estação, foram monitoradas as condições ambientais da área de estudo e dentro das parcelas (tanto controle quanto experimentais) com a instalação de um conjunto de sensores de temperatura e umidade do ar (HOBO Pro Series - ONSET) e de teor de água no solo (Soil Smart Sensor - ONSET). Em relação ao conteúdo de água

no solo, a umidade foi monitorada por oito sensores de teor de água no solo (TDR - Campbell Scientific CS616-L150 13932-17), quatro em cada condição (parcelas controle e de exclusão de água da chuva) (ver Material Suplementar 1). Os sensores de água no solo foram instalados apenas na camada superficial (1-30 cm), devido à grande quantidade de rochas no solo.

2.4 Biomassa

Para testar a primeira hipótese (H1), monitoramos o crescimento do caule e a produção mensal de folhas para determinar a biomassa das plantas submetidas à seca (condição controle vs condição seca). Usamos o número total de folhas por mês para calcular o aumento da biomassa dos indivíduos que haviam rebrotado, após a passagem do fogo (nov/12 e dez/12). Para cada indivíduo, selecionamos três ramos, medimos seu comprimento, contamos o número inicial de folhas, registramos e medimos as novas folhas e seu comprimento. Para determinar a biomassa da planta e do caule, coletamos plantas no campo ($n = 40-100$ por espécie) e realizamos as mesmas medidas: altura total (cm), comprimento do caule (cm) e número de folhas por ramo. Após a realização das medidas o material foi seco em estufa a 70 °C por 72 horas e pesado em balança de precisão. Com os dados obtidos, estabelecemos uma equação utilizando uma regressão linear simples (comprimento do caule * número de folhas vs peso do ramo) para calcular a biomassa mensal sem utilizar medidas destrutivas.

2.5 Análise de carboidratos não-estruturais (CNE)

Para avaliar as diferenças nas reservas de CNE, quantificamos a porcentagem de carboidratos não estruturais por massa seca total das raízes (%). Realizamos apenas uma medida de CNE, que ocorreu no final da seca, no dia que ocorreu a queimada, considerado como um incêndio acidental (set12). Imediatamente após a passagem do fogo, foi realizada a coleta para quantificação de CNE nos indivíduos, no entanto, só foi possível determinar a quantidade de CNE total nas raízes, pois a parte aérea havia sido queimada. Para analisar o conteúdo do CNE, coletamos a raiz inteira de cinco indivíduos (1-30 cm) por tratamento para cada espécie, seguindo o método enzimático proposto por Sevanto et al. (2014), no qual quantifica-se açúcares livres de baixo peso molecular, também conhecido como açúcares solúveis (glicose, frutose e sacarose) e o amido. Os órgãos especializados em armazenamento de carboidratos foram inclusos na amostragem.

Após a coleta, as amostras foram levadas ao micro-ondas durante 1 min 30 seg para interromper a atividade enzimática. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 70° C por 24-48 h e moídas até a obtenção de um pó fino. Utilizamos aproximadamente 12 mg de material vegetal com 1,6 ml de água destilada para as análises. Usamos amiloglucosidase de *Aspergillus niger* (Sigma-Aldrich) para digerir o CNE total em glicose; e invertase, kits de glicose hexoquinase (GHK) e fosfoglicose isomerase (Sigma-Aldrich) para quantificar os açúcares de baixo peso molecular. A

concentração de glicose livre foi determinada fotometricamente em um espectrofotômetro de microplaca de 96 poços (BioTek, Epoch). O amido foi calculado como a diferença entre o CNE total e os açúcares de baixo peso molecular (ver detalhes em Sevanto et al. 2014). Todos os valores de CNE são expressos como porcentagem de matéria seca.

2.6 Trocas gasosas

Para testar nossa terceira hipótese (H3), de que as espécies produzem um “efeito memória ecológico” nas plantas do campo rupestre, realizamos medidas de condutância estomática (gs) e assimilação máxima de CO₂ (Amáx) mensalmente, durante o período de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013. Realizamos as medidas em dias claros e ensolarados no período que corresponde à assimilação máxima de CO₂, entre o intervalo das 8h30 às 11h00. Para medir as trocas gasosas, fizemos curvas de resposta à luz para determinar os níveis de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) que correspondiam à assimilação máxima de CO₂ (Amáx), ficando estabelecido o PAR = 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (fonte de luz LED). A concentração de CO₂ foi mantida em 380 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e a temperatura e umidade foliar foram equiparadas aos níveis ambientais. Medimos as trocas gasosas em duas folhas de cinco indivíduos por tratamento. Calculamos a eficiência intrínseca do uso da água a partir da fórmula: $i\text{WUE} = \text{Amáx}/\text{gs}$, onde Amáx é a fotossíntese e gs é a condutância estomática. Usamos um sistema aberto portátil Ciras 2 (PP Systems, Amesbury, 246 EUA).

2.7 Análise de dados

Para testar a H1, avaliamos o efeito acumulado da seca e fogo na biomassa aérea e no crescimento dos indivíduos de cada condição, utilizando um teste de médias (Teste t de Student). Quanto à H2, para verificar se plantas sob condição de seca experimental reduzem suas reservas de amido e aumentam sua concentração de açúcares solúveis, utilizamos modelos lineares mistos, além disso, para avaliar se os indivíduos sob condição de seca apresentavam menor rebrota após a passagem do fogo, comparamos a frequência de rebrotamento com um teste Qui-quadrado. No modelo misto de análise dos carboidratos não-estruturais, consideramos condição, espécie e a interação Espécie:Condição como fatores fixos e os indivíduos como fatores aleatórios, onde fizemos um modelo para cada espécie.

Para testar a hipótese de que há um efeito memória nas taxas de trocas gasosas ao longo da seca seguida de fogo, também utilizamos modelos lineares mistos. Para esse modelo, consideramos o tempo, a condição e a interação Tempo:Condição como fatores fixos, os indivíduos como efeito aleatório e para cada espécie fizemos um modelo separadamente. Usamos intervalos de confiança de 95% estimados a partir do modelo de médias dos mínimos quadrados para determinar as diferenças entre os pares. Para os modelos de efeitos mistos, usamos o pacote nlme (Pinheiro, 2011). As análises

estatísticas foram realizadas no programa R (R Core Team 2020, <http://www.Rproject.org>) e no software Statistica.

3. RESULTADOS

3.1 Efeito do estresse hídrico e fogo na biomassa aérea

As espécies apresentaram diferentes padrões de rebrota, nos quais, as duas espécies de *Vellozia* exibiram uma rebrota apical. *C. pubescens*, *M. clausenii* e *L. warmingianus* exibiram rebrota abaixo do solo e *E. seidellii* a partir da base do caule. As primeiras espécies a rebrotarem foram *V. intermedia* e *V. nivea* (um mês após o incêndio) e *E. seidellii* a última espécie a rebrotar (três meses após o incêndio).

O tratamento prévio de seca não influenciou no investimento em biomassa aérea após o fogo ($p > 0.05$) para a maioria das espécies. A exceção foi a espécie *Vellozia nivea* (Vel.niv) que apresentou menor biomassa nos indivíduos que estavam submetidos à seca ($p = 0.04$) (Fig. 3f), mostrando que o efeito acumulado do estresse hídrico e fogo causou reduções na produção de biomassa desses indivíduos, portanto, a primeira hipótese foi corroborada para essa espécie. Apesar de não ter tido uma diferença significativa entre as condições, a espécie *L. warmingianus* destacou-se por apresentar um aumento na biomassa dos indivíduos submetidos à seca (Fig. 3c), pois a diferença entre as médias foi cerca de quatro vezes maior, diferentemente das outras espécies estudadas.

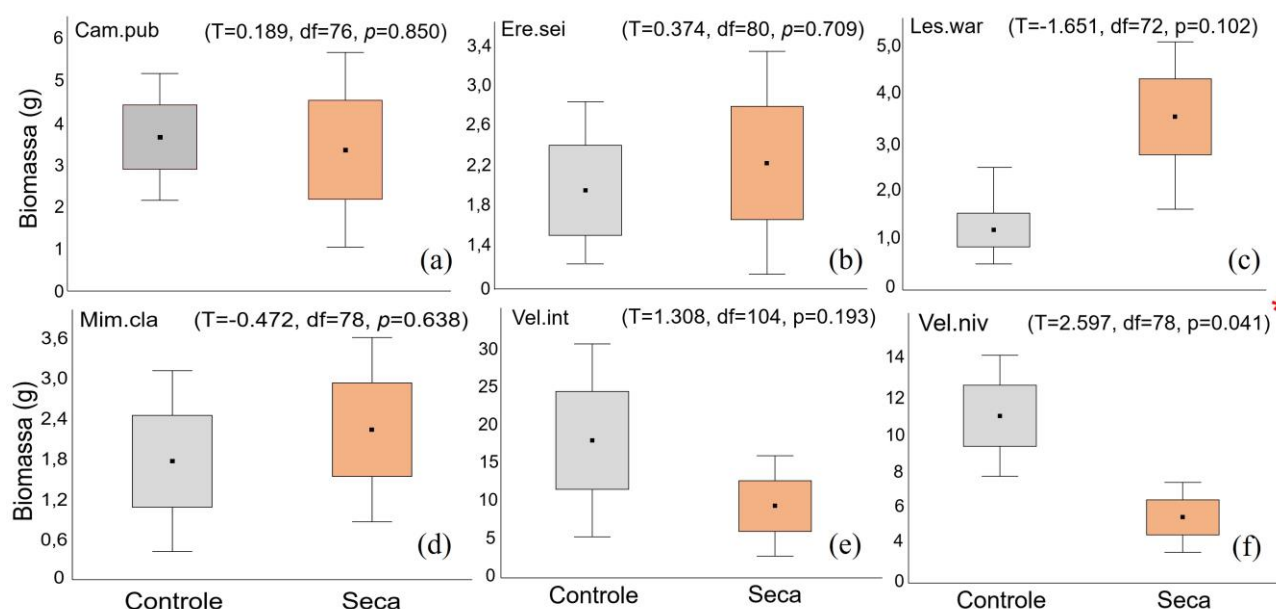


Fig. 3. Comparação (Teste t de Student) da variação na biomassa aérea após o fogo em a) *Campomanesia pubescens*, b) *Eremanthus seidellii*, c) *Lessingianthus warmingianus*, d) *Mimosa clausenii*, e) *Vellozia intermedia*, f) *Vellozia nivea* em parcelas controle (cinza) e submetidas à seca experimental (laranja). O ponto no boxplot representa a média dos valores. (*) Indica diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0.05$).

3.2 Influência da quantidade de carboidratos na rebrota

Para os carboidratos analisados (amido, açúcares solúveis e o total dos carboidratos não-estruturais) não observamos interação significativa entre Espécie:Condição (Tabela 2). Embora tenha apresentado diferença entre as espécies ($p < 0.001$) (Tabela 2), elas não foram tão acentuadas. Para o total de CNE, a espécie que apresentou maior porcentagem foi *Mimosa clausenii* (Mim.cla) (Fig. 4a). Na análise de açúcares solúveis, *Eremanthus seidelii* (Ere.sei) e *Vellozia nivea* (Vel.niv) apresentaram maiores valores (Fig. 4b). Porém, somente Ere.sei apresentou uma variação significativa entre as condições controle e seca para os açúcares solúveis, nos quais os indivíduos submetidos à seca apresentaram maior concentração de açúcares solúveis nas raízes (Figura 4b). Enquanto para amido, Mim.cla apresentou uma maior taxa de armazenamento (Fig. 4c). Portanto, algumas plantas reduziram suas reservas de amido e aumentaram a concentração de açúcares solúveis para manter seu funcionamento fisiológico.

Tabela 2. Modelo linear misto para avaliar os efeitos de espécie, condição e interação entre espécie e condição para os carboidratos: amido, açúcares solúveis e carboidratos não-estruturais de espécies submetidas a condição de seca e fogo. Em negrito estão as diferenças significativas a 0,05%.

Carboidratos		F	p
Amido (%)	Espécie	18.405	<0.001
	Condição	0.036	0.849
	Espécie:Condição	0.538	0.745
Açúcares solúveis (%)	Espécie	6.577	<0.001
	Condição	0.521	0.475
	Espécie:Condição	1.693	0.167
Carboidratos não-estruturais (%)	Espécie	10.556	<0.001
	Condição	0.319	0.577
	Espécie:Condição	0.682	0.611

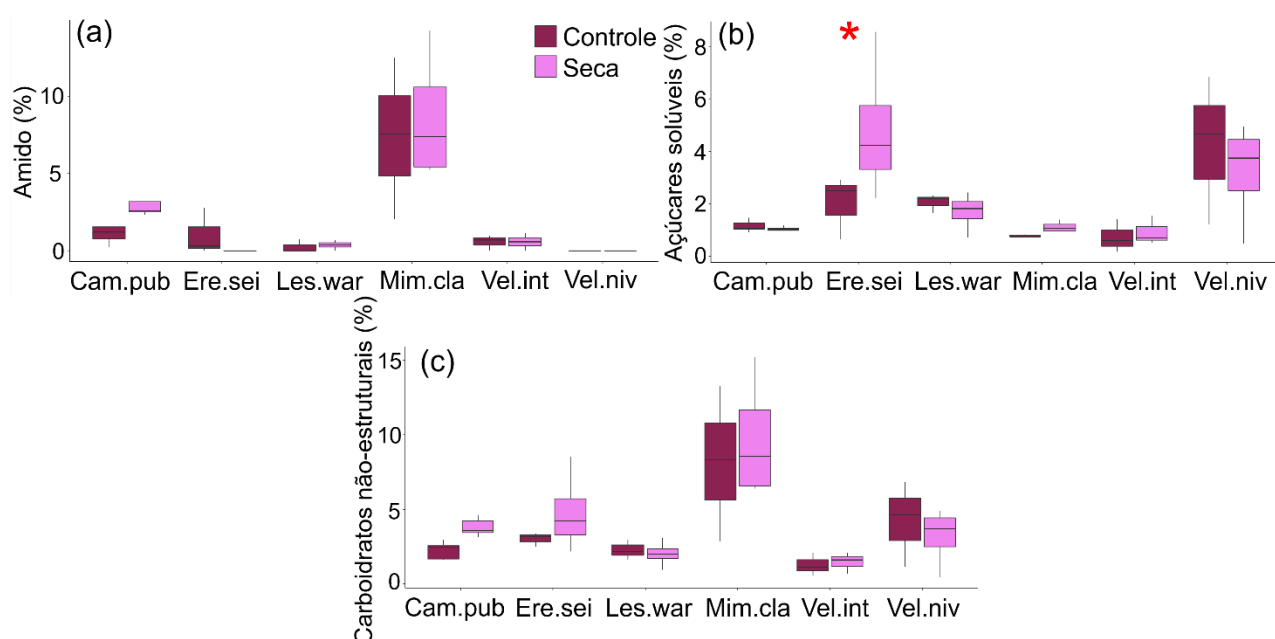


Fig. 4. Variação dos carboidratos: a) amido, b) açúcares solúveis e c) carboidratos não-estruturais nas espécies *Campomanesia pubescens* (Cam.pub), *Eremanthus seidelii* (Ere.sei), *Lessingianthus warmingianus* (Les.war), *Mimosa clausenii* (Mim.cla), *Vellozia intermedia* (Vel.int) e *Vellozia nivea* (Vel.niv) em parcelas nas condições controle e seca durante o período de exclusão de água da chuva. (*) representa a diferença entre as condições (intervalos de confiança de 95% estimados a partir do modelo para avaliar as diferenças entre os pares).

Ao comparar a frequência de rebrotamento, vimos que os indivíduos de algumas espécies submetidas à seca experimental apresentaram uma rebrota mais rápida após a passagem do fogo. Isso foi confirmado para as espécies *Vellozia nivea* (Vel.niv) após um mês ($p=0.03$) e dois meses após o fogo ($p=0.04$), e *Campomanesia pubescens* (Cam.pub) dois meses após o fogo ($p=0.05$) (Tabela 3). As demais espécies não apresentaram diferenças significativas na frequência de rebrota entre as condições (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação da frequência de rebrotamento dos indivíduos entre as condições (controle e seca) após a ocorrência de incêndio.

Espécies	1 mês após o fogo		2 meses após o fogo		3 meses após o fogo	
	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p
Cam.pub	Não rebrotou	-	3.72	0.05	2.67	0.10
Ere.sei	Não rebrotou	-	2.94	0.08	0.17	0.67
Mim.cla	Não rebrotou	-	0.04	0.83	0.04	0.83
Vel.niv	4.45	0.03	4.13	0.04	2.68	0.10

Tempo:Condição	1.83	0.12	1.70	0.17	1.33	0.27	1.36	0.25	1.71	0.15	0.77	0.57
Eficiência intrínseca no uso de água (iWUE)												
Tempo	3.98	<0.01	12.50	<0.01	4.58	<0.01	2.73	0.03	3.27	0.01	3.27	0.01
Condição	0.29	0.59	0.15	0.69	0.32	0.57	0.24	0.62	0.92	0.34	0.92	0.34
Tempo:Condição	1.20	0.32	1.29	0.29	5.16	<0.01	1.36	0.25	1.03	0.41	1.03	0.41

Para *Eremanthus seidelii* (Ere.sei) não houve diferença significativa entre as condições na gs, Amáx e iWUE, mas observamos diferença ao longo do tempo para as três variáveis (Tabela 4). Em relação à taxa fotossintética, observamos que os indivíduos que estavam submetidos previamente à seca apresentaram maior taxa após o fogo (Jan 13) (Fig. 5b). A espécie *Lessingianthus warmingianus* (Les.war) apresentou variação significativa ao longo do tempo para as três taxas analisadas (gs, Amáx e iWUE). A iWUE variou significativamente entre os meses fevereiro e abril de 2012, onde os indivíduos submetidos às parcelas de exclusão de água apresentaram uma baixa eficiência no uso da água, no entanto, em agosto de 2012, esses mesmos indivíduos apresentaram uma elevação nessa taxa e isso se manteve após a passagem do fogo (Nov12) (Fig. 5c), caracterizando um padrão observado antes e após a passagem do fogo, que aqui apontamos como um possível efeito memória.

A espécie *Mimosa clausenii* (Mim.cla) apresentou diferença significativa ao longo do tempo para gs, Amáx e iWUE, mas não houve diferença considerando a interação Tempo:Condição (Tabela 4). Ao analisar Amáx, percebemos que os indivíduos na condição seca apresentaram uma redução nessa taxa durante os meses de junho e agosto de 2012 e janeiro de 2013 (após o fogo), o que pode caracterizar um possível efeito memória (Figura 5d). *Vellozia intermedia* (Vel. int) também apresentou uma variação ao longo do tempo para as três taxas de trocas gasosas analisadas, mas não demonstrou para a interação Tempo:Condição (Tabela 3). Em Amáx, observamos uma redução da taxa nos indivíduos submetidos à seca durante os meses de junho e agosto de 2012; enquanto que para iWUE, observamos uma variação somente após a passagem do fogo (Jan13) (Figura 5e), onde os indivíduos em condições de baixa disponibilidade hídrica apresentavam uma elevação nessa taxa. Quanto à espécie *Vellozia nivea* (Vel.niv), também foi observada uma diferença significativa somente ao longo do tempo, para as taxas de gs, Amáx e iWUE (Tabela 4). Com destaque para iWUE, cujo os indivíduos na condição seca apresentaram uma baixa eficiência no uso da água em abril de 2012 e posteriormente (Jun12) apresentaram um aumento significativo (Figura 5f).

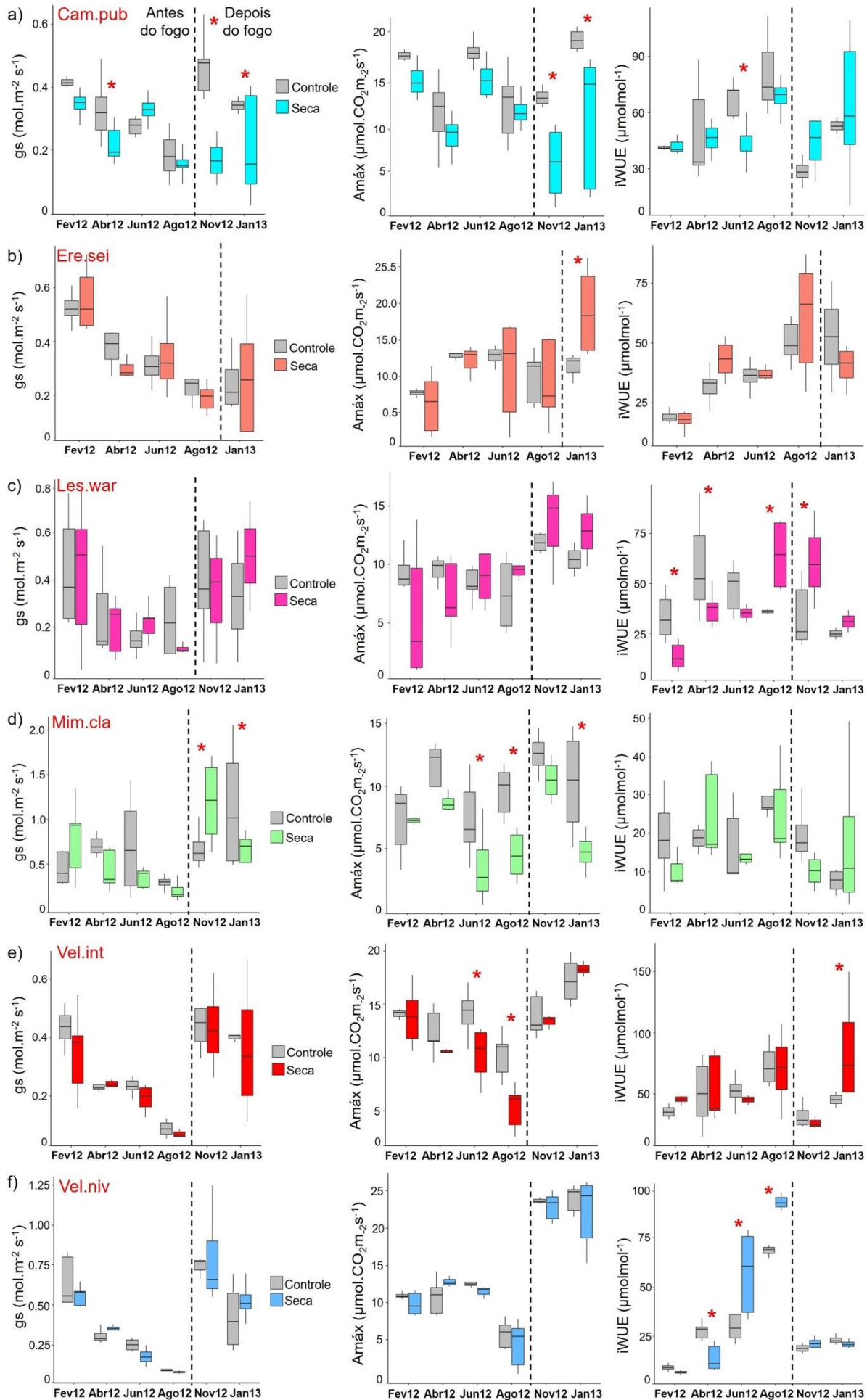


Fig. 5. Variação das taxas de trocas gasosas: condutância estomática (gs), fotossíntese (A_{max}) e eficiência intrínseca no uso de água (iWUE) nas espécies a) *Campomanesia pubescens*; b) *Eremanthus seidellii*; c) *Lessingianthus warmingianus*; d) *Mimosa clausenii*; e) *Vellozia intermedia*; f) *Vellozia nivea* em parcelas controle e seca durante o período de exclusão de água da chuva e após o fogo. A linha tracejada representa os meses antes e após o fogo. (*) representa a diferença entre as condições (intervalos de confiança de 95% estimados a partir do modelo para avaliar as diferenças entre os pares).

4. DISCUSSÃO

As seis espécies estudadas mostraram diferentes respostas em relação a seca e rebrota após ao fogo em relação a produção de biomassa aérea, carboidratos não-estruturais e trocas gasosas, enfatizando uma diversidade de estratégias apresentada pelas espécies de campo rupestre que as permitem sobreviver, mesmo diante de eventos mais intensos de seca e fogo. Concluímos que o efeito acumulado do estresse hídrico seguido de fogo causou reduções na biomassa aérea dos indivíduos de *Vellozia nivea* submetidos à seca, entretanto, as demais espécies não apresentaram uma variação significativa para esse atributo entre as condições controle e seca, corroborando a nossa hipótese (H1) somente para essa espécie. Em relação aos carboidratos não-estruturais nas raízes, vimos que plantas em condição de seca experimental reduziram suas reservas de amido e o solubilizaram em açúcares solúveis (H2), sendo que, somente *Eremanthus seidellii* diferiu entre as condições para os açúcares solúveis. Para análise das trocas gasosas, somente as espécies *Campomanesia pubescens*, *Lessingianthus warmingianus* e *Mimosa clausenii* diferiram entre as condições para as taxas analisadas (condutância estomática, eficiência no uso da água e fotossíntese, respectivamente) com características de um efeito memória (H3), pois ambas demonstraram taxas semelhantes antes e após a passagem do fogo para os indivíduos que se encontravam em condição de seca.

A variação na biomassa aérea de *Vellozia nivea* após a passagem do fogo pode estar relacionada com a estratégia da espécie em ser tolerante à dessecação (Alcantara et al. 2015). A tolerância à dessecação trata-se da habilidade de alguns organismos em equilibrar seu potencial hídrico com o ambiente, permitindo que seus tecidos tolerem potenciais extremamente baixos, que após a reidratação retornam às funções normais (Alpert & Simms 2002). No entanto, essa estratégia apresenta um custo inerente, no qual, geralmente as espécies são menos produtivas, mas conseguem sobreviver mantendo seus tecidos dessecados em condições adversas (Alcantara et al. 2015). Quando a área de estudo foi queimada, a maioria dos indivíduos de *V. nivea* submetidos à seca experimental estavam dessecados, resultando na menor biomassa observada para os indivíduos que estavam na condição de limitação hídrica. No entanto, mesmo apresentando menor biomassa, esses indivíduos apresentaram alta fotossíntese e condutância estomática após o fogo, otimizando suas taxas de trocas gasosas. Essa estratégia permite que plantas de ressurreição produzam e acumulem compostos osmoticamente ativos, que repõem a água perdida durante a seca e protegem os tecidos contra os

efeitos deletérios das altas quantidades de íons (Gaff & Oliver, 2013), mantendo a estabilidade das membranas no estado desidratado (Vieira et al. 2017).

O armazenamento de carbono em forma de CNE é uma função crítica da planta (Joaquim et al. 2018), pois sustenta o metabolismo à noite e uma variedade de funções da planta durante períodos estressantes quando a assimilação de carbono é insuficiente para atender à demanda (Dietze et al. 2014). No entanto, os CNE desempenham outras funções essenciais como: crescimento e respiração (Klein & Hoch 2015), transporte vascular, tolerância ao frio e regulação osmótica (Dietze et al. 2014; Martínez-Vilalta et al. 2016). No sentido mais amplo, o armazenamento de carbono pode ser definido como o carbono que se acumula na planta e pode ser mobilizado no futuro para apoiar a biossíntese para o crescimento ou outras funções da planta (Chapin et al. 1990). Por exemplo, plantas perenes dos campos rupestres alocam o carbono fixado para o armazenamento (por exemplo, amido) a longo prazo, que pode ser remobilizado para açúcares solúveis e usado durante a condição de seca ou para regeneração após a passagem do fogo (Sala et al. 2010; Joaquim et al. 2018). No geral, isso sugere que os compostos específicos que constituem o CNE são importantes e podem ter papéis funcionais individuais.

Todas as espécies mantiveram reservas de carboidratos (exceto *V. nivea* que não apresentou concentração de amido), mesmo durante longos períodos de escassez de água seguido de fogo. Logo, as concentrações de carboidratos não foram totalmente esgotadas e cada espécie apresentou estratégias diferentes de estoque de amido, açúcares solúveis e carboidratos não-estruturais. Essa variação pode ter uma forte relação com a diversidade de órgãos subterrâneos que cada espécie possui (por exemplo, rizomas, tubérculos, bulbos, raízes tuberosas, entre outros) (Brum et al. 2017), afim de armazenar grandes quantidades de carboidratos não-estruturais (por exemplo, amido) (Appezato-da-Glória et al. 2008). A partir disso, podemos destacar uma peculiaridade interessante do campo rupestre que é a alta proporção de biomassa abaixo do solo, onde a maioria das espécies herbáceas e subarbuscivas são perenes, e grande parte de sua biomassa é armazenada em uma grande diversidade de órgãos subterrâneos espessados (Oliveira et al. 2016; Pausas et al. 2018).

Monteiro (2013) e Brum et al. (2017) classificaram a morfologia das raízes das seis espécies estudadas aqui e identificaram sistemas subterrâneos contrastantes, no qual, *E. seidellii* e *M. clausenii* apresentaram raízes dimórficas, as espécies de *Vellozia* apresentaram raízes fasciculadas e superficiais, *L. warmingianus* apresentou raízes tuberosas, enquanto *C. pubescens* exibiu raízes superficiais do tipo sóbole. O tipo de órgão subterrâneo e o banco de gemas são características morfológicas associadas à rebrota em campos rupestres (Simon et al. 2009; Clarke et al. 2013). As gemas podem ser encontradas próximas ou abaixo do solo e reduzem os danos causados pelo fogo e,

posteriormente, permitem que a espécie cresça novamente a partir de gemas e órgãos subterrâneos que permaneceram viáveis após um incêndio (Fidelis et al. 2016; Pausas et al. 2018). Essas características têm sido frequentemente referidas como adaptações de proteção contra o fogo e são especialmente relevantes para plantas em solos rasos sobre rochas descobertas, onde as estruturas subterrâneas são limitadas, como os campos rupestres (Oliveira et al. 2016). Devido a incidência de incêndios naturais, o fogo pode ter desempenhado um papel nos processos ecológicos e evolutivos que moldaram a atual flora dos campos rupestres, bem como na distribuição de características funcionais específicas nesses habitats.

Em nosso estudo, as medidas de trocas gasosas (g_s , A_{max} e $iWUE$) para todas as espécies mostraram padrões bem diferentes. Houve diferenças ao longo do tempo, refletindo a disponibilidade hídrica do ambiente e diferenças na capacidade de tolerância à seca entre as espécies. As espécies a apresentarem um possível efeito memória foram *Campomanesia pubescens*, *Lessingianthus warmingianus* e *Mimosa clausenii*, pois registramos o estresse sentido por elas. Observamos uma redução na condutância estomática para *C. pubescens*, uma variação na eficiência intrínseca do uso da água para *L. warmingianus* e variação na taxa fotossintética para *M. clausenii*. (Fig. 5a, c, d), mesmo após a passagem do fogo com alta disponibilidade hídrica. Esses ajustes fisiológicos podem garantir a sobrevivência de plantas sujeitas a secas mais intensas (Rosado et al. 2016) e implicar em mudanças nas taxas de crescimento e nas alterações dos ciclos fenológicos das plantas, assim como na mortalidade dos indivíduos que pode ocorrer pelo déficit de carbono ou por falhas hidráulicas (Pulido et al. 2014).

Eventos como seca e fogo podem forçar as plantas a ajustarem seu metabolismo e a memória do estresse permite que elas tenham a resposta mais apropriada diante das mudanças no ambiente. Uma possível explicação para essa memória ecológica seria os danos hidráulicos causados durante a seca (Anderegg et al. 2015) e que não foram completamente reparados após a rebrota. Embora, a maior parte do sistema hidráulico aéreo tenha sido queimada pelo fogo, o sistema hidráulico subterrâneo pode ter sofrido danos durante a seca e que não foram completamente reparados. Johnstone et al. (2016) mostraram que a resiliência da floresta a perturbações recorrentes é moldada pela memória ecológica de estados anteriores do ecossistema, transmitida como legados de adaptações das espécies que suportam a recuperação. Esses legados após a seca já foram documentados na condutância estomática (Virlouvet & Fromm, 2015), anatomia e densidade da madeira (Corcuera et al. 2004), vulnerabilidade do xilema à seca (Hacke et al. 2001) e mortalidade de árvores induzida pela seca (Anderegg et al. 2013). Os legados de adaptações podem ser definidos como características e adaptações de espécies que contêm informações sobre estratégias bem-

sucedidas de distúrbios passados e as usam em eventos futuros (Jonhstone et al. 2016). Segundo Bruce et al. (2007), a manutenção do efeito memória pode estar associada ao acúmulo de proteínas de sinalização ou fatores de transcrição das plantas. Sendo assim, eventos sazonais como seca e fogo, e principalmente o efeito acumulado de ambos, forçam as plantas a ajustar seu metabolismo, afim de sobreviver diante das constantes mudanças no ambiente.

5. CONCLUSÃO

As seis espécies estudadas apresentaram diferentes estratégias diante do efeito acumulado de seca e fogo. Mostramos que a espécie tolerante à dessecação (*Vellozia nivea*) teve sua produtividade mais afetada, o que pode caracterizar um trade-off entre sua produtividade e a capacidade de tolerar a dessecação, indicando um alto custo associado à dessecação das folhas. Quanto à análise de carboidratos não-estruturais, nossos dados mostraram diferenças significativas entre as condições apenas para uma espécie, entretanto, não mostraram uma relação entre a alta quantidade de carboidratos nas raízes e um rápido rebrotamento. Isso pode ser explicado pela única medida que foi feita neste estudo, visto que, estudos mostram que há uma forte relação do armazenamento de carboidratos não-estruturais com o rebrotamento. Também consideramos que as espécies podem apresentar um efeito memória devido à recorrência dos estresses em que elas são submetidas, evidenciando uma gama de estratégias presentes nas espécies dos campos rupestres. Nossos resultados trazem importantes contribuições para o entendimento de funcionamento de ecossistemas sazonais limitados por água e propensos ao fogo, destacando a diversidade de estratégias ecológicas que conferem resiliência ao efeito acumulado desses distúrbios.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcantara, S., de Mello-Silva, R., Teodoro, G. S., Drequeceler, K., Ackerly, D. D., & Oliveira, R. S. (2015). Carbon assimilation and habitat segregation in resurrection plants: a comparison between desiccation-and non-desiccation-tolerant species of Neotropical Velloziaceae (Pandanales). *Functional ecology*, 29(12), 1499-1512.
- Alpert, P., & Simms, E. L. (2002). The relative advantages of plasticity and fixity in different environments: when is it good for a plant to adjust?. *Evolutionary ecology*, 16(3), 285-297.
- Alves, R., Silva, N. G., Oliveira, J. A., & Medeiros, D. (2014). Circumscribing campo rupestre–megadiverse Brazilian rocky montane savanas. *Brazilian Journal of Biology*, 74(2), 355-362.
- Anderegg, W. R., Kane, J. M., & Anderegg, L. D. (2013). Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nature climate change*, 3(1), 30-36.
- Anderegg, W. R., Schwalm, C., Biondi, F., Camarero, J. J., Koch, G., Litvak, M., ... & Pacala, S. (2015). Pervasive drought legacies in forest ecosystems and their implications for carbon cycle models. *Science*, 349(6247), 528-532.

- Appezato-da-Glória, B., Cury, G., Soares, M. K. M., Rocha, R., & Hayashi, A. H. (2008). Underground systems of Asteraceae species from the Brazilian Cerrado¹. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 135(1), 103-113.
- Bitencourt, C., Rapini, A., Damascena, L. S., & Junior, P. D. M. (2016). The worrying future of the endemic flora of a tropical mountain range under climate change. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 218, 1-10.
- Brenes-Arguedas, T., Coley, P. D., & Kursar, T. A. (2009). Pests vs. drought as determinants of plant distribution along a tropical rainfall gradient. *Ecology*, 90(7), 1751-1761.
- Bresta, P., Nikolopoulos, D., Stavroulaki, V., Vahamidis, P., Economou, G., & Karabourniotis, G. (2018). How does long-term drought acclimation modify structure-function relationships? A quantitative approach to leaf phenotypic plasticity of barley. *Functional Plant Biology*, 45(12), 1181-1194.
- Bruce, T. J., Matthes, M. C., Napier, J. A., & Pickett, J. A. (2007). Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant science*, 173(6), 603-608.
- Brum, M., Teodoro, G. S., Abrahão, A., & Oliveira, R. S. (2017). Coordination of rooting depth and leaf hydraulic traits defines drought-related strategies in the campos rupestres, a tropical montane biodiversity hotspot. *Plant and Soil*, 420(1), 467-480.
- Chapin III, F. S., Schulze, E. D., & Mooney, H. A. (1990). The ecology and economics of storage in plants. *Annual review of ecology and systematics*, 21(1), 423-447.
- Clarke, P. J., Lawes, M. J., Midgley, J. J., Lamont, B. B., Ojeda, F., Burrows, G. E., ... & Knox, K. J. E. (2013). Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New phytologist*, 197(1), 19-35.
- Corcuera, L., Camarero, J. J., & Gil-Pelegrín, E. (2004). Effects of a severe drought on growth and wood anatomical properties of *Quercus faginea*. *IAWA journal*, 25(2), 185-204.
- Dietze, M. C., Sala, A., Carbone, M. S., Czimczik, C. I., Mantooth, J. A., Richardson, A. D., & Vargas, R. (2014). Nonstructural carbon in woody plants. *Annual review of plant biology*, 65, 667-687.
- Esquivel-Muelbert, A., Baker, T. R., Dexter, K. G., Lewis, S. L., ter Steege, H., Lopez-Gonzalez, G., ... & Phillips, O. L. (2017). Seasonal drought limits tree species across the Neotropics. *Ecography*, 40(5), 618-629.
- Fernandes, A. F., Oki, Y., Fernandes, G. W., & Moreira, B. (2021). The effect of fire on seed germination of campo rupestre species in the South American Cerrado. *Plant Ecology*, 222(1), 45-55.
- Fidelis, A., Daibes, L. F., & Martins, A. R. (2016). To resist or to germinate? The effect of fire on legume seeds in Brazilian subtropical grasslands. *Acta Botanica Brasilica*, 30(1), 147-151.
- Fleta-Soriano, E., & Munné-Bosch, S. (2016). Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 143.
- Gaff, D. F., & Oliver, M. (2013). The evolution of desiccation tolerance in angiosperm plants: a rare yet common phenomenon. *Functional Plant Biology*, 40(4), 315-328.

- Hacke, U. G., Sperry, J. S., Pockman, W. T., Davis, S. D., & McCulloh, K. A. (2001). Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. *Oecologia*, 126(4), 457-461.
- Hartmann, H., Ziegler, W., Kolle, O., & Trumbore, S. (2013). Thirst beats hunger—declining hydration during drought prevents carbon starvation in Norway spruce saplings. *New Phytologist*, 200(2), 340-349.
- Hartmann, H., Adams, H. D., Hammond, W. M., Hoch, G., Landhäusser, S. M., Wiley, E., & Zaehle, S. (2018). Identifying differences in carbohydrate dynamics of seedlings and mature trees to improve carbon allocation in models for trees and forests. *Environmental and experimental botany*, 152, 7-18.
- Hummel, I., Pantin, F., Sulpice, R., Piques, M., Rolland, G., Dauzat, M., ... & Muller, B. (2010). *Arabidopsis* plants acclimate to water deficit at low cost through changes of carbon usage: an integrated perspective using growth, metabolite, enzyme, and gene expression analysis. *Plant physiology*, 154(1), 357-372.
- IPCC: (2019) Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – IPCC, available at: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/> (last access: 02 February 2021).
- Jacobi, C. M., Do Carmo, F. F., Vincent, R. C., & Stehmann, J. R. (2007). Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16(7), 2185-2200.
- Joaquim, E. D. O., Figueiredo-Ribeiro, R. D. C. L., Hayashi, A. H., & Carvalho, M. A. M. D. (2014). Inulin contents and tissue distribution in underground storage organs of Asteraceae species from the Brazilian rocky fields. *Botany*, 92(11), 827-836.
- Joaquim, E. D. O., Silva, T. M., Figueiredo-Ribeiro, R. D. C. L., de Moraes, M. G., & de Carvalho, M. A. M. (2018). Diversity of reserve carbohydrates in herbaceous species from Brazilian campo rupestre reveals similar functional traits to endure environmental stresses. *Flora*, 238, 201-209.
- Johnstone, J. F., Allen, C. D., Franklin, J. F., Frelich, L. E., Harvey, B. J., Higuera, P. E., ... & Turner, M. G. (2016). Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(7), 369-378.
- Klein, T., & Hoch, G. (2015). Tree carbon allocation dynamics determined using a carbon mass balance approach. *New Phytologist*, 205(1), 147-159.
- Le Stradic, S., Buisson, E., & Fernandes, G. W. (2015). Vegetation composition and structure of some Neotropical mountain grasslands in Brazil. *Journal of Mountain Science*, 12(4), 864-877.
- Li, Y., Li, H., Li, Y., & Zhang, S. (2017). Improving water-use efficiency by decreasing stomatal conductance and transpiration rate to maintain higher ear photosynthetic rate in drought-resistant wheat. *The Crop Journal*, 5(3), 231-239.
- Lloret, F., Sapes, G., Rosas, T., Galiano, L., Saura-Mas, S., Sala, A., & Martínez-Vilalta, J. (2018). Non-structural carbohydrate dynamics associated with drought-induced die-off in woody species of a shrubland community. *Annals of botany*, 121(7), 1383-1396.

- Martínez-Vilalta, J., Sala, A., Asensio, D., Galiano, L., Hoch, G., Palacio, S., ... & Lloret, F. (2016). Dynamics of non-structural carbohydrates in terrestrial plants: a global synthesis. *Ecological Monographs*, 86(4), 495-516.
- McDowell, N., Pockman, W. T., Allen, C. D., Breshears, D. D., Cobb, N., Kolb, T., ... & Yezzer, E. A. (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New phytologist*, 178(4), 719-739.
- McDowell, N. G., Beerling, D. J., Breshears, D. D., Fisher, R. A., Raffa, K. F., & Stitt, M. (2011). The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in ecology & evolution*, 26(10), 523-532.
- Monteiro, M.B (2013). Partição de recursos hídricos em comunidades vegetais de campo rupestre e campo de altitude no Sudeste brasileiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ecologia, Unicamp.
- Moreno-Gutiérrez, C., Dawson, T. E., Nicolás, E., & Querejeta, J. I. (2012). Isotopes reveal contrasting water use strategies among coexisting plant species in a Mediterranean ecosystem. *New Phytologist*, 196(2), 489-496.
- Negreiros, D., Le Stradic, S., Fernandes, G. W., & Rennó, H. C. (2014). CSR analysis of plant functional types in highly diverse tropical grasslands of harsh environments. *Plant ecology*, 215(4), 379-388.
- Oliveira, R. S., Christoffersen, B. O., Barros, F. D. V., Teodoro, G. S., Bittencourt, P., Brum-Jr, M. M., & Viani, R. A. (2014). Changing precipitation regimes and the water and carbon economies of trees. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 26(1), 65-82.
- Oliveira, R. S., Galvão, H. C., de Campos, M. C., Eller, C. B., Pearse, S. J., & Lambers, H. (2015). Mineral nutrition of campos rupestres plant species on contrasting nutrient-impovertished soil types. *New Phytologist*, 205(3), 1183-1194.
- Oliveira, R. S., Abrahão, A., Pereira, C., Teodoro, G. S., Brum, M., Alcantara, S., & Lambers, H. (2016). Ecophysiology of campos rupestres plants. In *Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil* (pp. 227-272). Springer, Cham.
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2014). Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems. *New Phytologist*, 204(1), 55-65.
- Pausas, J. G., Lamont, B. B., Paula, S., Appezzato-da-Glória, B., & Fidelis, A. (2018). Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. *New Phytologist*, 217(4), 1435-1448.
- Pinheiro, J. (2011). nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-98. <http://cran.r-project.org/package=nlme>.
- Pulido, F., Moreno, G., García, E., Obrador, J. J., Bonal, R., & Díaz, M. (2014). Resource manipulation reveals flexible allocation rules to growth and reproduction in a Mediterranean evergreen oak. *Journal of Plant Ecology*, 7(1), 77-85.
- Rosado, B. H., Joly, C. A., Burgess, S. S., Oliveira, R. S., & Aida, M. P. (2016). Changes in plant functional traits and water use in Atlantic rainforest: evidence of conservative water use in spatio-temporal scales. *Trees*, 30(1), 47-61.

- Rowland, L., da Costa, A. C., Oliveira, R. S., Bittencourt, P. R., Giles, A. L., Coughlin, I., ... & Meir, P. (2021). The response of carbon assimilation and storage to long-term drought in tropical trees is dependent on light availability. *Functional Ecology*, 35(1), 43-53.
- Sala, A., Piper, F., & Hoch, G. (2010). Physiological mechanisms of drought-induced tree mortality are far from being resolved. *New Phytologist*, 186(2), 274-281.
- Savage, J. A., Clearwater, M. J., Haines, D. F., Klein, T., Mencuccini, M., Sevanto, S., ... & Zhang, C. (2016). Allocation, stress tolerance and carbon transport in plants: how does phloem physiology affect plant ecology? *Plant, Cell & Environment*, 39(4), 709-725.
- Schmidt, I. B., & Eloy, L. (2020). Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. *Flora*, 268, 151613.
- Secchi, F., & Zwieniecki, M. A. (2011). Sensing embolism in xylem vessels: the role of sucrose as a trigger for refilling. *Plant, cell & environment*, 34(3), 514-524.
- Sevanto, S. (2014). Phloem transport and drought. *Journal of experimental botany*, 65(7), 1751-1759.
- Shaar-Moshe, L., Hayouka, R., Roessner, U., & Peleg, Z. (2019). Phenotypic and metabolic plasticity shapes life-history strategies under combinations of abiotic stresses. *Plant direct*, 3(1), e00113.
- Silveira, F. O., Negreiros, D., Barbosa, N. U., Buisson, E., Carmo, F., Carstensen, D., ... & Stradic, S. L. C. Morellato LP, Neves F, Oliveira R, Schaefer C, Viana P, Lambers H (2015) Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. *Plant and Soil*, 403, 129-152.
- Simon, M. F., Grether, R., de Queiroz, L. P., Skema, C., Pennington, R. T., & Hughes, C. E. (2009). Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(48), 20359-20364.
- Smith, A. M., & Stitt, M. (2007). Coordination of carbon supply and plant growth. *Plant, cell & environment*, 30(9), 1126-1149.
- Srichuwong, S., & Jane, J. I. (2007). Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food science and biotechnology*, 16(5), 663-674.
- Teodoro, G.S. (2014). Extreme drought effects on the phenology, growth and ecophysiology performance of campos rupestres species—Brazil. PhD Thesis, Universidade Estadual de Campinas.
- Teshome, D. T., Zharare, G. E., & Naidoo, S. (2020). The Threat of the Combined Effect of Biotic and Abiotic Stress Factors in Forestry Under a Changing Climate. *Frontiers in plant science*, 11, 1874.
- Tomasella, M., Petrusa, E., Petruzzellis, F., Nardini, A., & Casolo, V. (2020). The possible role of non-structural carbohydrates in the regulation of tree hydraulics. *International journal of molecular sciences*, 21(1), 144.
- Veldman, J. W., Buisson, E., Durigan, G., Fernandes, G. W., Le Stradic, S., Mahy, G., ... & Bond, W. J. (2015). Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(3), 154-162.

Vieira, E. A., Silva, K. R., Oriani, A., Moro, C. F., & Braga, M. R. (2017). Mechanisms of desiccation tolerance in the bromeliad *Pitcairnia burchellii* Mez: biochemical adjustments and structural changes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 121, 21-30.

Virlouvet, L., & Fromm, M. (2015). Physiological and transcriptional memory in guard cells during repetitive dehydration stress. *New Phytologist*, 205(2), 596-607.

West, A. G., Dawson, T. E., February, E. C., Midgley, G. F., Bond, W. J., & Aston, T. L. (2012). Diverse functional responses to drought in a Mediterranean-type shrubland in South Africa. *New Phytologist*, 195(2), 396-407.

7. MATERIAL SUPPLEMENTAR

7.1 Material suplementar 1

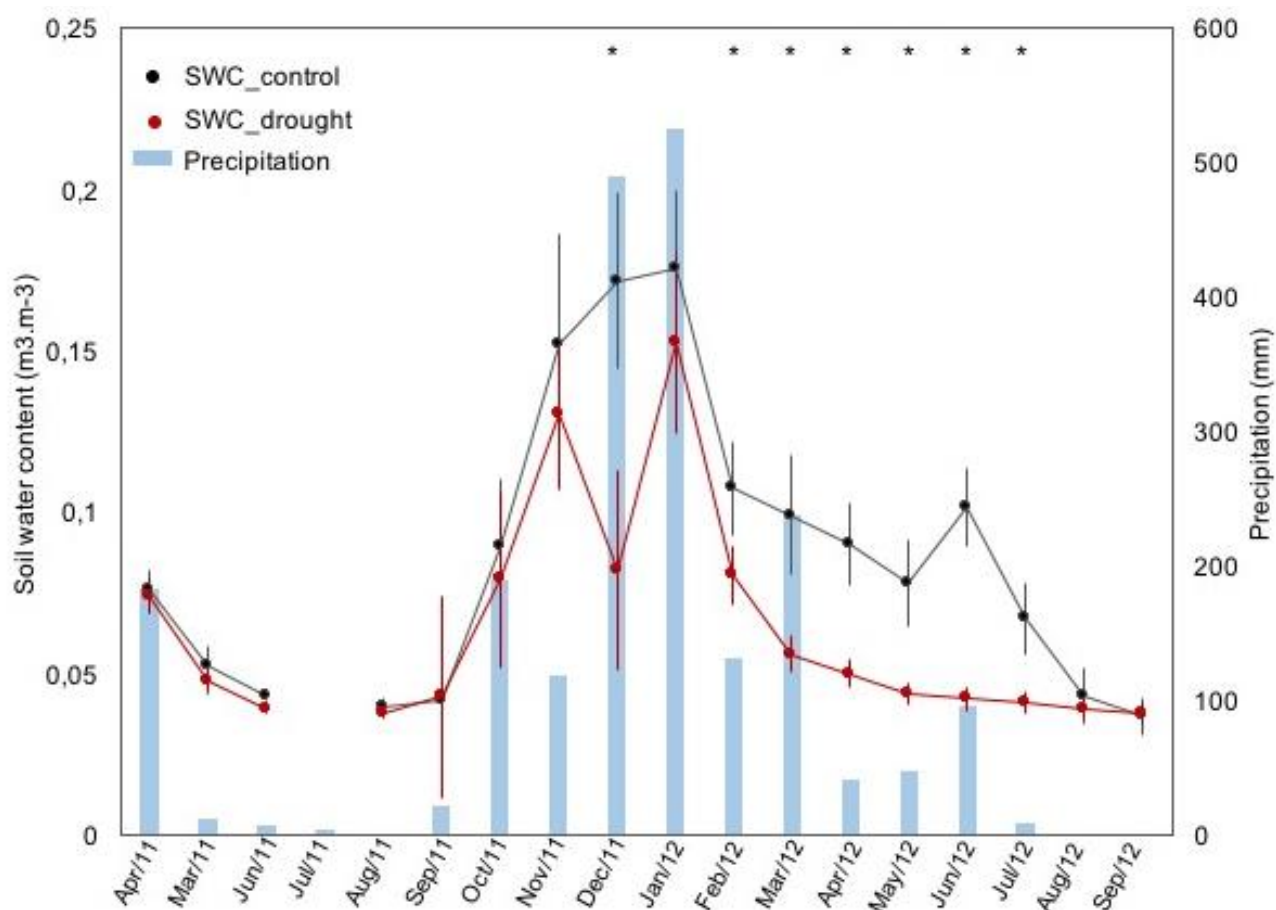


Fig. S1. Conteúdo de água no solo (Soil water content) nas parcelas controle (linha preta) e nas parcelas de exclusão de água da chuva (linha vermelha) e precipitação (barra azul) no período de estudo no Parque Nacional da Serra da Canastra no período de Abril de 2011 a Setembro de 2012 (Fonte: Teodoro, 2014).

O experimento de exclusão da água da chuva causou um decréscimo de 35.6% no conteúdo de água nas camadas superficiais do solo no período de Novembro de 2011 a Setembro de 2012 (antes da queimada da área de estudo). O conteúdo de água no solo (SWC) médio no tratamento de seca neste período foi de $0,06 \pm 0,03 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, enquanto nas parcelas controle o SWC médio foi de $0,10 \pm$

0,05 m³.m⁻³. Janeiro de 2012 teve uma precipitação total incomumente alta (530 mm) na área de estudo. Por causa dos ventos fortes, as parcelas de seca receberam uma quantidade significativa de chuvas, e o SWC aumentou, tornando-se semelhante às parcelas de controle em janeiro e fevereiro de 2012 (Fonte: Teodoro, 2014).

7.2 Material Suplementar 2 - Normas para publicação na revista *Flora*



FLORA

Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants



GUIDE FOR AUTHORS

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
 - All figures (include relevant captions)
 - All tables (including titles, description, footnotes)
 - Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
 - Indicate clearly if color should be used for any figures
- in print *Graphical Abstracts / Highlights files* (where applicable) *Supplemental files* (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of competing interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/ registrations, and grants or other funding. Authors should complete the declaration of competing interest statement using [this template](#) and upload to the submission system at the Attach/Upload Files step. **Note: Please do not convert the .docx template to another file type. Author signatures are not required.** If there are no interests to declare, please choose the first option in the template. This statement will be published within the article if accepted. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright- holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Content should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader; contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition; and use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, stereotypes, slang, reference to dominant culture and/or cultural assumptions. We advise to seek gender neutrality by using plural nouns ("clinicians, patients/clients") as default/wherever possible to avoid using "he, she," or "he/she." We recommend avoiding the use of descriptors that refer to personal attributes such as age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition unless they are relevant and valid. These guidelines are meant as a point of reference to help identify appropriate language but are by no means exhaustive or definitive.

Author contributions

For transparency, we encourage authors to submit an author statement file outlining their individual contributions to the paper using the relevant CRediT roles: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Funding acquisition; Investigation; Methodology; Project administration; Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing - original draft; Writing - review & editing. Authorship statements should be formatted with the names of authors first and CRediT role(s) following. [More details and an example](#)

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been

published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. [More information](#).

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Open access

Please visit our [Open Access page](#) for more information.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Submit your article

Please submit your article via <https://www.editorialmanager.com/flora/default.aspx>

Submission of Papers with Graduate or Undergraduate Students as Lead Authors

FLORA has initiated a new section in its journal dedicated to highlighting exceptional, original research publications that are part of graduate or undergraduate student theses and carry the name of the student as the lead author.

Papers in this category will be published under the heading "**Highlighted Student Research**", and will be marked accordingly in the table of content of the volume in which it is published.

This initiative is intended to honor the highest quality student research, and papers must be recommended for this honor by Handling Editors for FLORA, following the normal peer review process.

Students who wish their papers to be considered for the honor should explain in the cover letter the main reasons why the paper represents an outstanding contribution to the field, and indicate such wish by marking the appropriate box for the FLORA Highlighted Student Research paper during the online submission process.

Referees

Please submit the names and institutional e-mail addresses of several potential referees. For more details, visit our [Support site](#). Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

PREPARATION

Peer review

This journal operates a single anonymized review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. Editors are not involved in decisions about papers which they have written themselves or have been written by family members or colleagues or which relate to products or services in which the editor has an interest. Any such submission is subject to all of the journal's usual procedures, with peer review handled independently of the relevant editor and their research groups. [More information on types of peer review](#).

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Number pages and lines consecutively throughout the manuscript.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower- case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using British spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Nomenclature and taxonomic reference

If you have a small number of species (or vegetation units), please indicate full names and authorships upon first appearance in the text, and skip authors thereafter. In case of a large number of species names (or vegetation units), refer to a standard source for nomenclature such as a checklist or a flora. References (in FLORA format) may be added following the keywords, see example below. Do not use author citation for names in the text if they are given in the nomenclature source. **Nomenclature:** Stace (2010) for vascular plants; Hill et al. (2006) for mosses.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Artwork

Electronic

artwork

General

points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol,

or use fonts that look similar.

- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
- Submit each illustration as a separate file.
- Ensure that color images are accessible to all, including those with impaired color vision.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi. TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Illustration services

[Elsevier's Author Services](#) offers Illustration Services to authors preparing to submit a manuscript but concerned about the quality of the images accompanying their article. Elsevier's expert illustrators can produce scientific, technical and medical-style images, as well as a full range of charts, tables and graphs. Image 'polishing' is also available, where our illustrators take your image(s) and improve them to a professional standard. Please visit the website to find out more.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure, and add them at the very end of the manuscript file. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication and a copy of the title page of the relevant article must be submitted.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software](#).

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/flora>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999).... Or, as demonstrated (Jones, 1999; Allan, 2000)... Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. J.

Sci. Commun. 163, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon*. 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. *Mendeley Data*, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Data visualization

Include interactive data visualizations in your publication and let your readers interact and engage more closely with your research. Follow the instructions [here](#) to find out about available data visualization options and how to include them with your article.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

Data in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into a data article published in *Data in Brief*. A data article is a new kind of article that ensures that your data are actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and made publicly available to all upon publication (watch this [video](#) describing the benefits of publishing your data in *Data in Brief*). You are encouraged to submit your data article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed, published open access and linked to your research article on ScienceDirect. Please note an [open access fee](#) is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your *Data in Brief* data article.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the [MethodsX website](#). Please use [this template](#) to prepare your MethodsX article.

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your

submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

The journal *FLORA* requires authors to deposit the data associated with accepted papers in a public archive. For gene sequence data and phylogenetic trees, deposition in GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>) or TreeBASE (<http://www.treebase.org>), respectively, is required. There are many possible archives that may suit a particular data set, including the Dryad repository for ecological and evolutionary biology data (<http://datadryad.org>). All accession numbers for GenBank, TreeBASE, and Dryad must be included in accepted manuscripts before they go to Production.

AFTER ACCEPTANCE

Online proof correction

To ensure a fast publication process of the article, we kindly ask authors to provide us with their proof corrections within two days. Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

AUTHOR INQUIRIES

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch.

You can also [check the status of your submitted article](#) or find out [when your accepted article will be published](#).