



ALTERAÇÕES DA MADEIRA DE *Miconia ferruginata* DC. EM REGIÕES DO CERRADO *SENSU STRICTO* SUBMETIDO A QUEIMADAS BIENAIAS

ANA PAULA RODRIGUES DE FRANÇA; CLARISSA GOUVEIA FONTES; AUGUSTO CESAR FRANCO; JULIA SONSIN-OLIVEIRA

RESUMO

A vegetação do bioma Cerrado apresenta diversos mecanismos de defesa contra o fogo como aumento da capacidade de rebrota, menor diâmetro de vasos e maior espessura de casca. O trabalho teve o objetivo de verificar se a madeira de *Miconia ferruginata* DC. apresentou diferenças anatômicas quando coletadas em área de Cerrado *s.s.*, com registro de queima bienal tardia ao longo de aproximadamente trinta anos, comparada com área sem queimadas. Também foi verificado se a casca na área controle é mais espessa quando comparada à área sem queimadas. Foram coletadas três amostras de caule de indivíduos da área fogo e duas da área controle. Foram seguidos os métodos usuais para montagem de lâminas em anatomia da madeira. Foram mensuradas as características de vaso, fibras e raios. As análises estatísticas e regressão foram realizadas no R 4.2.2. As três amostras da área queimada apresentaram marcas de fogo, indicando lesão estrutural no câmbio vascular das árvores. As variáveis significativamente maiores na área fogo foram: diâmetro médio de vaso, densidade e área de vaso, frequência e largura de raio. É provável que essas modificações deixaram as árvores mais suscetíveis à cavitação dos vasos do xilema. Já as características significativamente menores foram o comprimento de vaso e de fibra, e o diâmetro da pontuação radiovascular. Além disso, ocorreu uma diminuição em 12,12% de vasos múltiplos de dois a seis, e de 21,17% de pontuações radiovasculares nas áreas de fogo comparadas com a área controle. Essa é uma estratégia observada para evitar o embolismo, em que o aumento do tecido parenquimático dos raios e a diminuição no comprimento dos elementos condutores e pontuações radiovasculares auxiliam na manutenção da funcionalidade do xilema, especialmente em condições de estresse hídrico, como as provocadas pelo fogo. As espessuras das cascas das árvores dos indivíduos da área queimada e da área controle apresentaram valores próximos, sugerindo baixa influência do fogo na plasticidade dessas características para a espécie estudada.

Palavras-chave: Cerrado *s.s.*; fogo; anatomia da madeira; sobrevivência; adaptação.

1 INTRODUÇÃO

A presença do fogo afeta significativamente todos os ecossistemas em que passa (Bär *et al.*, 2019) e vem se tornando, cada vez mais, uma ameaça a conservação da fauna, flora e toda a biodiversidade (Hoffmann & Solbrig, 2003; Medeiros & Fiedler, 2004).

O Cerrado se caracteriza pela disponibilidade hídrica reduzida e queimadas frequentes. Contudo as plantas lenhosas do Cerrado possuem diversas adaptações que aumentam suas chances de sobreviver nestas condições, tais como grande capacidade de rebrota após dano (Bond & Midgley, 2001; Miranda *et al.*, 2010), menor diâmetro dos vasos (Lindorf, 1994; Sonsin *et al.*, 2012) e maior investimento em espessura de casca (Miranda *et al.*, 2010). Essas adaptações são importantes, pois, quando danificadas pelo fogo as plantas começam uma produção anormal de células, tanto em tamanho quanto em quantidade (Mundo *et al.*, 2019),

prejudicando seu transporte de água e nutrientes (Bär *et al.*, 2018, 2019; Mundo *et al.*, 2019) e aumentando sua suscetibilidade à cavitação (Michaletz *et al.*, 2012; Bär *et al.*, 2019).

O objetivo desse trabalho foi verificar possíveis diferenças anatômicas na madeira da espécie *Miconia ferruginata* DC. em uma área de Cerrado *s.s.* em que houve ocorrência de fogo (queimadas controladas) em comparação com a anatomia de indivíduos de uma área similar de Cerrado *s.s.* sem ocorrência de fogo há pelo menos 50 anos (área controle). Além disso, verificar se houve um aumento na espessura da casca na área queimada em comparação à área protegida do fogo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo está localizada na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (15° 56'41''S e 47° 53'07''W GRW), a 26km do centro de Brasília, com 1.391 ha. A precipitação média anual é de 1.475mm, temperatura média anual de 21°C e umidade relativa média de 64%.

As coletas ocorreram em dois locais: três amostras (MF2, MF4 e MF5) na parcela 6 do Projeto Fogo (Miranda *et al.*, 2010), com queima bienal tardia, e duas amostras (MF5C e MF11C) em área controle, sem incêndios registrados há 50 anos. Após a identificação da espécie em campo, foi retirada uma amostra por indivíduo, cujas coordenadas foram registradas com o GPS *Garmin* GPSmap 60Sr. As amostras foram coletadas de forma não destrutiva com o Perfurador de Madeira e de Solo *Stihl* BT 45. Os orifícios foram preenchidos com rolha de champanhe e cera de abelha. A altura foi calculada pelo aplicativo Clinômetro Florestal 1.5, e os dados de espessura da casca e circunferência medidos com fita métrica. As coletas ocorreram a 30 cm do solo.

Para a microscopia foram feitos cortes de aproximadamente 15 micrômetros para as faces transversal e longitudinal radial e tangencial, utilizando um micrótomo de deslizamento com navalha de aço. As amostras mais duras passaram por um cozimento médio de 16 minutos em glicerina (25%) e água. Em seguida, foram obtidos os macerados de cada amostra a partir de seções do alburno, utilizando a metodologia de Franklin (1945) modificada por Kraus & Arduim (1997).

Para a montagem das lâminas permanentes, as secções de madeira foram lavadas com água destilada e hipoclorito de sódio 50%, enxaguadas e passadas no álcool 30 e 50%, coradas com Safranina alcoólica e azul de alcian (9:1), retornadas aos álcoois 70, 90 e 100%. Em seguida, armazenadas no Acetato de N – Butila para fixação, montadas com verniz vitral e, após secagem, legendadas com nome da espécie, família e tratamento.

Para a obtenção das imagens microscópicas, utilizou-se o microscópio Olympus® e a câmera digital CS 30x, capturando as imagens pelo software *Analysis get it*. Foram obtidas imagens dos planos transversais, longitudinais tangencial e radial e macerado, com 30 medições para cada variável de cada indivíduo.

As medições para as análises quantitativas foram baseadas na IAWA committee, (1989). As variáveis medidas no plano transversal foram: densidade de vasos – VDe/mm² (aumento de 4x) e diâmetro máximo e mínimo do elemento de vaso – VD µm (aumento de 10x) – a partir dos diâmetros foi possível calcular o diâmetro médio dos vasos – D e a área do vaso – VeA µm². No plano tangencial as variáveis medidas foram: frequência de raio – R/mm, largura de raio – RW/mm e altura de raio – RH/mm (10x), diâmetro das pontoações intervasculares – IVP (40x). No plano radial foi medido o diâmetro das pontoações radiovasculares – RVP (40x). Por fim, no macerado, foram medidas as variáveis: comprimento de fibra - FL (4x), comprimento de vaso – VL (10x), lume da fibra – FLu, largura da fibra – FW (40x) – a partir do lume e da largura foi possível calcular a espessura da parede da fibra – FWT.

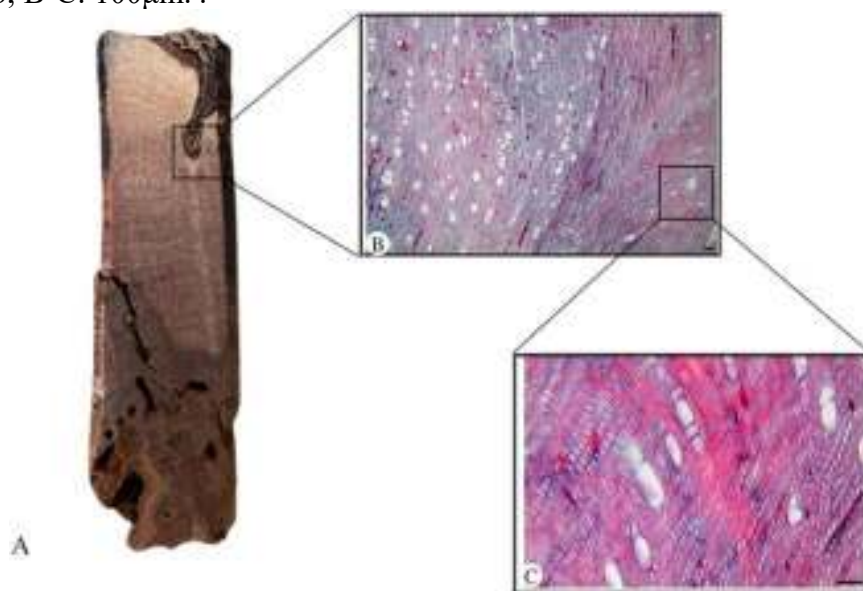
Foi utilizado o software *ImageJ* para medição das variáveis citadas. As análises estatísticas foram realizadas no R 4.2.2. Para os cálculos anatômicos foram obtidas as variáveis

de diâmetro médio do vaso (D), diâmetro hidráulico médio (Dmh), fração de vaso (VF) e razão entre tamanho e densidade de vasos (S) através do pacote dplyr. A normalidade das variáveis foi testada com o teste de Shapiro-Wilk, normalização dos dados necessária com a transformação $\log_{10}$ e rodado o teste t de Student para encontrar variáveis significativamente diferentes ($p < 0,05$). Com as variáveis encontradas foi gerado gráficos de caixa. Foram feitas regressões com as seguintes variáveis: D vs. RVP; D vs. FLu; D vs. R/mm; D vs. IVP; VDe vs. D; VDe vs. FWT.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as amostras na parcela fogo apresentaram cicatrizes de fogo (Fig.1A) visíveis a olho nu ou somente sob microscópio de luz. Em microscopia é notável a alteração dos vasos, mostrando uma disposição radial no plano transversal (Fig. 1B e C).

Figura 1. Plano transversal em imagem macroscópica da amostra MF2 (A) e microscópica, com cicatriz de fogo, com destaque da disposição radial no plano transversal (B e C). Barra: A: sem aumento; B-C: 100 μ m. .



Foi possível observar que oito das 12 variáveis anatômicas mensuradas foram estatisticamente diferentes ($p < 0,05$) quando comparados os dados entre as amostras nas parcelas fogo e controle. As amostras da área fogo apresentaram valores maiores nas características de vaso ligadas à eficiência e/ou segurança na condução de água (diâmetro médio de vaso, densidade do vaso e área média do vaso), quando comparadas com as amostras da área controle. Isso não é o esperado, já que para evitar o embolismo, o estreitamento dos vasos serviria para aumentar a segurança hidráulico (Lindorf, 1994; Sperry *et al.*, 2006; Sonsin *et al.*, 2012; Mundo *et al.*, 2019). Bigio *et al.* (2010) e Mundo *et al.* (2019), observaram uma diminuição da área dos vasos analisados após a ocorrência de fogo, diferente do relatado nesse trabalho (Fig. 2A). Ainda, de acordo com Michaletz *et al.* (2012), o impacto não estrutural mais importante causado pelo fogo é a redução na eficiência hidráulica do xilema, devido ao risco de embolia. Então, o esperado seria uma diminuição das características de vaso como área, densidade e diâmetro do vaso (Fig. 2A e B; 3D; Tab. 1), mas isso só ocorreu com o comprimento de vasos (Fig. 3A).

Além disso, observou-se um aumento médio de 30,31% nas quantidades de vasos solitários nas amostras da área de queima e uma diminuição na mesma área de 12,12% nos vasos múltiplos (2 a 6) (Tab. 2), sugerindo maior chance de ocorrer o embolismo e dificuldade

no reajuste no fluxo de nutrientes entre vasos. Isso porque vasos múltiplos são mais eficazes em casos de embolismo pelo fornecimento de rotas alternativas para a seiva do xilema através das pontoações areoladas entre os vasos, contornando o elemento de vaso embolizado (Baas *et al.*, 1983; Carlquist & Hoekman, 1985).

Figura 2. Gráficos de caixa relativos aos parâmetros área do vaso (A) densidade de vaso (B) na madeira de *Miconia ferruginata* em área protegida do fogo (controle) e em área exposta a queimadas controladas de periodicidade bienal (fogo).

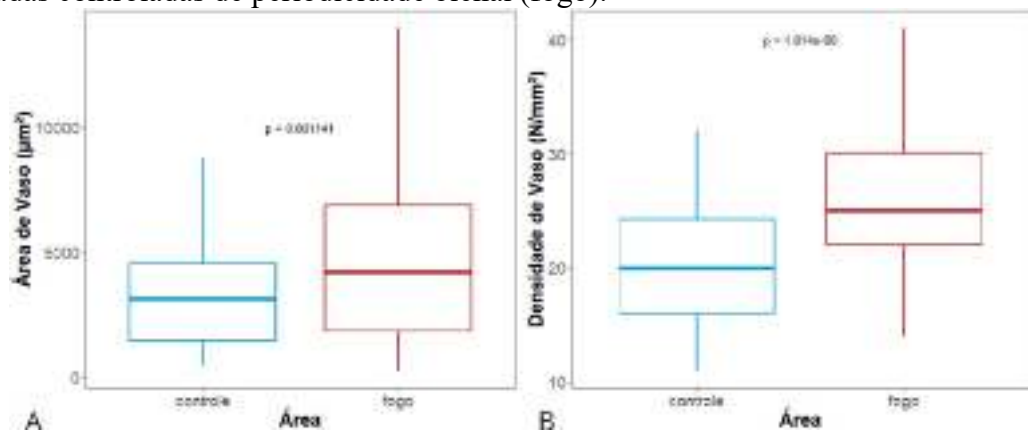


Tabela 1. Médias e Desvios padrões das variáveis que são estatisticamente diferentes para cada tratamento. DP = desvio padrão.

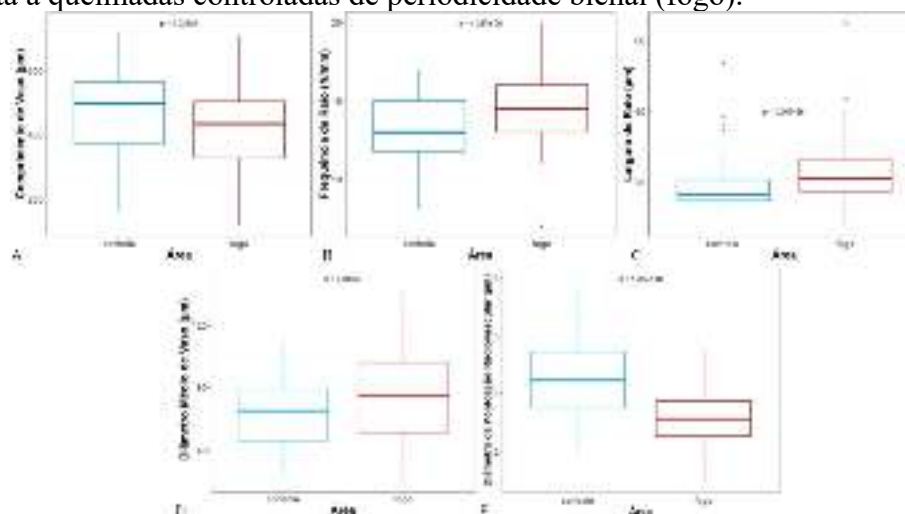
	Tratamento	Controle	Fogo
Comprimento médio de fibra (µm)	média	533	466
	DP	158	167
Comprimento médio de vaso (µm)	média	468	416
	DP	140	131
Densidade média de vaso por mm²	média	20,28	26,01
	DP	5,06	5,72
Diâmetro médio de vaso (µm)	média	64,28	75,15
	DP	20,29	27,94
Área média de vaso VeA (µm²)	média	3262	4704
	DP	2059	3261
Diâmetro médio da pontuação radiovascular (µm)	média	3,26	2,57
	DP	0,62	0,53
Largura média de raio	média	19,06	22,72
	DP	7,63	8,69
Frequência média de raio por mm	média	13,08	14,82
	DP	2,16	2,19

Tabela 1. Porcentagem de vasos solitários e múltiplos na madeira de *Miconia ferruginata* na área controle e na área fogo. MF = *Miconia ferruginata*. C = controle. VS = vasos. VM = vasos múltiplos de dois a seis.

Área controle				Área queimada			
Indivíduos	MF5C	MF11C	média	MF2	MF4	MF5	média
VS	24,55	32,59	28,57	43,73	43,1	24,85	37,23
VM 2-6	75,45	67,41	71,43	56,26	56,9	75,15	62,77

Foi observada nas amostras da área queimada a diminuição no comprimento de vaso (Fig. 3A), possivelmente, essa é uma estratégia de sobrevivência, como observado por Carlquist & Hoekman (1985) que afirmam que essa segurança adicional fornecida pela diminuição no comprimento, reside na capacidade das embolias locais permanecerem nas extremidades dos vasos. Além disso, espécies que precisam de maior proteção tendem a investir menos na formação de vasos maiores e mais eficientes (Sperry *et al.*, 2006).

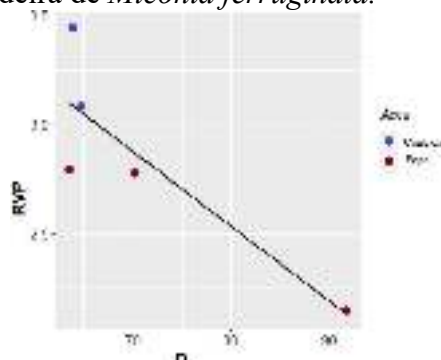
Figura 3. Gráfico de caixa relativo ao parâmetro comprimento de vaso (A), frequência de raio (B) e largura de raio (C), diâmetro médio dos vasos (D) e diâmetro das pontoações radiovasculares (E) na madeira de *Miconia ferruginata* em área protegida do fogo (controle) e área exposta a queimadas controladas de periodicidade bial (fogo).



Os indivíduos que passaram por queimadas tiveram um aumento significativo na frequência e largura dos raios (Fig. 3B e C), sendo esse padrão também encontrado por Mundo *et al.* (2019) para a espécie *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser. na Patagonia após passagem de fogo. De acordo com Shigo (1984), a abundância de raios aumentaria a quantidade de parênquima radial, formando barreiras ao redor de áreas lesionadas, auxiliando no processo de compartimentalização dessas áreas danificadas, limitando a extensão de danos internos. As células parenquimáticas são células vivas, com potencial meristemático, que permite a retomada da capacidade de divisão celular, mesmo após sua completa diferenciação; essa característica confere papel essencial na cicatrização e regeneração de lesões, formando tecidos protetores ao redor das lesões. (Da Gloria & Guerreiro, 1992). Além disso o aumento das células do parênquima pode estar associado a prevenção e reversão de embolias através de liberação de açúcares nos elementos condutores, mantendo o fluxo de nutrientes e água estável (Sauter *et al.*, 1973).

Apenas a relação feita por regressão de D vs. RVP (Fig. 4) apresentou valores significativos ($p < 0,059$), apresentando R^2 maiores dentre todas as predições feitas, 0,747, indicando uma relação linear negativa entre diâmetro médio dos vasos e o das pontoações radiovasculares, ou seja, à medida que aumenta o diâmetro médio de vaso, há um decréscimo proporcional em pontoações radiovasculares (Fig. 3E). Logo, em relação à área controle, há um aumento do diâmetro médio dos vasos e uma diminuição do diâmetro das pontoações radiovasculares dos vasos de *M. ferruginata* na área fogo (Fig. 3D e E). As pontoações radiovasculares contribuem com a eficiência e segurança no transporte de água, mantendo o equilíbrio metabólico e otimizando o fluxo dentro do sistema vascular da planta, isso porque as pontoações são pontos de conexões entre as células de contato no parênquima de raios e vasos condutores (Sauter *et al.*, 1973; Lens *et al.*, 2011).

Figura 4. Gráfico de regressão linear diâmetro de vasos (D) vs. diâmetro das pontoações radiovasculares (RVP) da madeira de *Miconia ferruginata*.



FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51-51, 1945.

HOFFMANN, W. A.; SOLBRIG, O. T. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. **Forest ecology and management**, v. 180, n. 1-3, p. 273-286, 2003.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE *et al.* IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bull.**, v. 10, p. 219-332, 1989.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR. 1. Ed. 198p. 1997.

LENS, F.; SPERRY, J. S.; CHRISTMAN, M. A.; CHOAT, B.; RABAEY, D.; JANSEN, S. Testing hypotheses that link wood anatomy to cavitation resistance and hydraulic conductivity in the genus *Acer*. **New phytologist**, v. 190, n. 3, p. 709-723, 2011.

LINDORF, H. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. **Iawa Journal**, v. 15, n. 4, p. 361-376, 1994.

MEDEIROS, M. B. de; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.

MICHALETZ, S. T.; JOHNSON, E. A.; TYREE, M. T. Moving beyond the cambium necrosis hypothesis of post-fire tree mortality: cavitation and deformation of xylem in forest fires. **New Phytologist**, v. 194, n. 1, p. 254-263, 2012.

MIRANDA, H. S. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do projeto Fogo. Brasília-DF, **IBAMA**, 2010.

MUNDO, I. A.; GONZÁLEZ, C. V.; STOFFEL, M.; BALLESTEROS-CÁNOVAS, J.A.; VILLALBA, R. Fire damage to cambium affects localized xylem anatomy and hydraulics: The case of *Nothofagus pumilio* in Patagonia. **American Journal of Botany**, v. 106, n. 12, p. 1536-1544, 2019.

SAUTER, J. J.; ITEN, Werner; ZIMMERMANN, Martin H. Studies on the release of sugar into the vessels of sugar maple (*Acer saccharum*). **Canadian Journal of Botany**, v. 51, n. 1, p. 1-8, 1973.

SHIGO, A. L. Compartmentalization: a conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. *Annual Review of Phytopathology*. v. 22, n. 1, p. 189-214, 1984.

SONSIN, J. O.; GASSON, P. E.; BARROS, C. F; MARCATI, C. R. A comparison of the wood anatomy of 11 species from two cerrado habitats (cerrado *s.s.* and adjacent gallery forest). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 170, n. 2, p. 257-276, 2012.

SPERRY, J. S.; HACKE, U. G.; PITTERMANN, J. Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. **American Journal of Botany**, v. 93, n. 10, p. 1490-1500, 2006.