

Efeito do pisoteio humano sobre a vegetação no cerrado.

ALINA DIJK¹

GABRIEL PIASSA²

JOÃO MARCELO ROBAZZI BIGNELLI VALENTE AGUIAR^{3,4}

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

³Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

⁴jmrobazzi@gmail.com

Resumo O pisoteio humano pode causar impacto sobre a vegetação, causando danos no crescimento populacional e desenvolvimento das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar se o pisoteio por pesquisadores em uma área de estudos de longa duração afeta os indivíduos de *Roupala montana*, em um fragmento de cerrado de Itirapina (SP). Por meio de GLM foi identificado que o melhor modelo para explicar a variação na altura e diâmetro e no número de indivíduos na população é o que conta apenas com o pisoteio como variável preditora. No entanto, o pisoteio explicou muito pouco da variação encontrada. Uma análise temporal (1996 a 2017) foi realizada para avaliar se o pisoteio ao longo dos anos pode ter impacto na população. O número de indivíduos nos últimos 10 anos diminuiu, no entanto não existe relação significativa com o pisoteio. Assim, não é possível estabelecer uma relação entre o pisoteio e a população de *R. montana* estudada.

Palavras-chaves cerrado denso, crescimento populacional, distúrbio antrópico, modelo linear generalizado.

Introdução

O cerrado brasileiro possui cerca de 2,1 milhões de km², constituindo o segundo maior domínio fitogeográfico do Brasil (Oliveira & Marquis 2002). A vegetação do cerrado, bem como outras comunidades vegetais, sofrem influências diretas da ação antrópica e/ou natural. O pisoteio de áreas por humanos e animais reduz gradativamente a cobertura vegetal além de alterar a dinâmica do solo encontrado nesses locais. Experimentos de pisoteio revelaram que a extensão do dano depende da frequência de visita, do tipo de atividade desenvolvida, vegetação e solo local (Kozłowski 1999).

O pisoteio do solo, seja pelo homem ou por animais, acarreta em alterações estruturais do solo que refletem diretamente no crescimento e desenvolvimento de plantas. A compactação causada pelo pisoteio impede que as plantas se beneficiem adequadamente dos nutrientes disponíveis no solo, sendo os primeiros sintomas dessa deficiência observados no sistema radicular, com consequências diretas para o crescimento da parte aérea e produtividade da planta (Reichert 2007).

Efeitos mais diretos em plantas também podem ser observados. Segundo Kissling (2009) áreas de lazer frequentemente visitadas apresentam uma redução da cobertura vegetal e menor altura de espécies vegetais, seja por baixa absorção de nutrientes ou por danos físicos causados às plantas. Por sua vez, Andrade & Rocha (2008) relataram que a abertura de trilhas frequentemente causa impactos negativos sobre as comunidades de espécies vegetais em florestas, o que permite inferir que o pisoteio está diretamente relacionado com o crescimento e desenvolvimento de plantas jovens.

Entender as consequências do impacto da manipulação dos indivíduos em uma população pelos pesquisadores é necessário para entender como os resultados

encontrados podem ser enviesados tanto em uma escala temporal imediata quanto em situações de estudos de longa duração (Fauvel et al. 2012). No segundo caso, especificamente, é importante levar em consideração que em estudos de populações de plantas, o impacto gerado na coleta de dados enquanto a planta é jovem pode ser refletido na mesma planta depois de adulta. Isso revela a importância de entender qual o impacto dos pesquisadores na área de estudo, neste caso estimado pelo pisoteio.

Analisando uma área de amostragem de longa duração dividida em parcelas caracterizadas pelo pisoteio de pesquisadores desde 1992, nosso objetivo principal é investigar a hipótese de que existe uma influência do pisoteio no desenvolvimento de plantas do cerrado. Esperamos que, áreas que sofrem maior perturbação devido ao pisoteio humano terão as variáveis diâmetro, altura e número de indivíduos jovens reduzidas se comparadas às áreas menos perturbadas.

Material e Métodos

Área de estudo - O Valério (22°13'03"S, 47°51'13"W) é um fragmento de cerrado denso situado no município de Itirapina-SP (22°00' - 22°15'S e 47°45' - 48°00'W). O clima da região é classificado como Cwa, segundo sistema de Köppen, caracterizado por chuvas concentradas nos meses de verão e inverno seco (Referência?). A precipitação média anual da região é de 1.459 mm, e temperatura média anual de 22,5 °C. Segundo Prado (2003) e Reatto et al. (1998), o solo do fragmento estudado pode ser classificado como Neossolo Quartzarênico, caracterizado pela textura arenosa, com um máximo de 15% de argila, alta porosidade e com baixa disponibilidade de nutrientes.

Coleta de dados - Realizamos amostragens em parcelas permanentes desde 1992 situadas na região do Valério (64 parcelas de 5 X 5 metros cada). A cada parcela foi medido nas quatro direções geográficas a abertura do dossel, com o auxílio de um densiometro e medimos a espessura da serapilheira com um paquímetro. Medimos o diâmetro, a altura e a altura do fuste de todos os indivíduos de *Anadenanthera falcata*, *Vochysia tucanorum*, *Dalbergia miscolobium*, *Miconia albicans*, *Bauhinia rufa*, *Roupala montana* e *Xylopia aromatica* presentes nas parcelas.

Estimativas de pisoteio - Até 2015, a estimativa do pisoteio foi feita considerando o caminhamento pelas parcelas, pressupondo uma sequência de caminhamento, relacionada com as parcelas amostradas a cada dia. Em 2017, foi realizada uma contagem de quantas vezes cada pessoa entrou em cada parcela. Para avaliar se as estimativas obtidas pelos métodos diferentes, realizamos uma análise de regressão linear.

Espécie de estudo - Para as análises de influência do pisoteio sobre crescimento e abundância das plantas, selecionamos *Roupala montana*. Aubl, a espécie de maior abundância na área. Segundo Miranda-Melo (2007) esta espécie pode ocorrer em todas as fisionomias do cerrado, sendo intolerante a sombra, reproduzindo-se vegetativamente por meio de raízes gemíferas e apresentando padrões supra-anuais de floração e episódios de frutificação massiva.

Relação entre pisoteio e o tamanho e a abundância dos indivíduos jovens - Foi calculado o Índice de Moran para testar se todas as variáveis (abertura de dossel, pisoteio, espessura da serapilheira, altura, diâmetro e número de indivíduos) eram

autocorrelacionadas. Após isso, assumimos que o modelo a ser testado era linear. Aplicamos um modelo linear generalizado (GLM) e por meio do critério de Akaike selecionamos o que apresentava o menor valor para este critério. Os modelos foram testados tanto para o intervalo de um ano sem pisoteio (2012 a 2013) como para o intervalo de dois anos sem pisoteio (2015 a 2017), buscando possíveis diferenças que o período sem pisoteio pudessem causar. Os modelos testados se encontram sumarizados na Tabela 1. Para avaliar o quanto da variação no crescimento e número de indivíduos jovens pode ser explicada pelo pisoteio, foram realizadas regressões lineares.

Análise temporal do efeito do pisoteio - Primeiramente, investigamos como variou o número de indivíduos, altura e diâmetro ao longo dos anos por regressão linear, considerando desde as plantas jovens até as adultas (1996 a 2017). Para investigar se o pisoteio tem influência temporal, novas regressões lineares foram realizadas entre este distúrbio e as variáveis que apresentaram variação, para cada parcela ao longo dos anos. A taxa de crescimento da população foi calculada pela fórmula $\lambda^t = N_t/N_0$, onde λ é a taxa de crescimento, N é o número de indivíduos e t é o tempo em anos decorridos entre amostragens. A média geométrica das taxas de crescimento entre os anos para cada parcela foi utilizada para a regressão linear.

Análise estatística - Utilizamos o software Spatial Analysis in Macroecology (SAM) (Rangel 2010) para calcular o Índice de Moran. Para todas as outras análises bem como para a construção dos gráficos, foi utilizado o R software. Foram considerados significativos valores de $p < 0,05$ em todas as análises.

Resultados

Comparação entre os métodos de estimativa de pisoteio - As estimativas de pisoteio feitas pelo método usado em anos anteriores à 2017 e a realizada neste ano não podem ser comparadas ($p = 0,054$). Assim, utilizamos ao longo das análises deste estudo os valores de pisoteio obtidos para o ano de 2017, assumindo que eles fornecem uma melhor estimativa do pisoteio.

Relação entre pisoteio e o tamanho e a abundância dos indivíduos jovens - Todas as variáveis utilizadas não apresentaram autocorrelação na análise por meio do Índice de Moran. Os modelos lineares generalizados (GLM) mostraram que para as variáveis respostas (altura, diâmetro e número de indivíduos) o modelo que contava apenas com pisoteio como variável preditora possuiu o menor valor de AIC, tanto para o ano de 2013 (período de um ano sem pisoteio) quanto para o ano de 2017 (período de dois anos sem pisoteio) (Tabela 1), indicando que o pisoteio sozinho explica melhor as diferenças encontradas nas variáveis respostas entre parcelas. No entanto, as regressões lineares entre as variáveis respostas e o pisoteio não foram significativas ($p > 0,05$), indicando que o pisoteio não explica a variação encontrada para os anos analisados.

Análise temporal do efeito do pisoteio - Apesar de haver uma flutuação na abundância de *R. montana* ao longo dos anos, existe uma clara tendência de diminuição na população da espécie na área analisada ($r^2 = 0,44$, $p < 0,01$) (Fig. 1). A altura e o diâmetro variaram com o pisoteio, porém os valores de r^2 foram muito baixo, indicando que o tempo de pisoteio explica muito pouco a variação encontrada. Os valores de altura e diâmetro ao longo dos anos se mantiveram praticamente

constantes ao longo dos anos. A redução no número de indivíduos ao longo dos anos não está relacionada ao pisoteio acumulado nas parcelas ($p = 0,86$).

Discussão

O pisoteio humano pode causar impacto na vegetação, interferindo no seu crescimento populacional e no desenvolvimento dos seus indivíduos (Liddle 1978). Muitos trabalhos já investigaram o papel do pisoteio em áreas recreacionais (Weaver & Dale 1978; Cole & Bayfield 1993, Kissling et al. 2009), mas poucos estudos levam em consideração o papel do pisoteio de pesquisadores em áreas de estudos de longa duração (e.g., Oliveira et al. 2015).

Neste trabalho, mostramos que o pisoteio dos pesquisadores é, dentre as variáveis preditoras utilizadas, a que melhor explica a variação no número populacional, altura e diâmetro dos indivíduos jovens de *Roupala montana*. No entanto, ao analisar as regressões lineares vemos que o pisoteio não é um bom preditor das diferenças observadas, ou seja, não necessariamente quando há mais pisoteio mais alteradas serão a altura, diâmetro e número de indivíduos jovens de *R. montana* na parcela de estudos de longa duração na área do Valério do cerrado de Itirapina, SP.

Kissling et al. (2009) mostram que os pisoteios de alta e baixa intensidade reduzem a densidade, altura e cobertura de plantas, e que o pisoteio intenso, possui efeito mais agravante. Nossos resultados mostram que parece haver um pequeno efeito do pisoteio sobre as plantas quando analisamos os dados de um ano. No entanto, quando fazemos uma análise temporal, este efeito não pode ser observado. Isso pode indicar que na área amostrada, existe um efeito em curto prazo, mesmo que pequeno, mas que ao longo dos anos não parece haver efeito cumulativo do pisoteio.

A área é utilizada para estudos anuais pelos pesquisadores, e os dados são coletados em apenas alguns dias por ano. Desta forma, pode ser que o período entre amostragens é suficiente para a recuperação dos indivíduos de *R. montana* nas parcelas analisadas. Mesmo que tenhamos encontrado uma queda na abundância de indivíduos de *R. montana* na população nos últimos anos, nossos resultados não permitem atribuir esse declínio ao pisoteio.

Apesar de se mostrar abundante na área analisada, *R. montana* talvez não seja o melhor modelo de estudo para entender o efeito do pisoteio humano. Essa espécie possui uma alta capacidade de rebrota e de se recuperar de distúrbios, inclusive àquele causado pelo fogo (Hoffmann & Solbrig 2003 apud Miranda-Melo 2007). Além disso, a espécie apresenta relevante propagação vegetativa (Hoffmann 2002) e estudos mostram que essa estratégia contribui para uma menor mortalidade das plantas jovens do que em espécies que não possuem propagação vegetativa (Hoffman 1999 apud Miranda-Melo 2007). Desta forma, seria importante testar a hipótese com outros modelos de plantas para buscar entender melhor o efeito do pisoteio dos pesquisadores em populações de plantas do cerrado, e comparar com os dados aqui apresentados para *R. montana*.

Em trabalhos realizados nas mesmas parcelas em anos anteriores, mas com estimativas de pisoteio, não havia sido encontrada relação entre o pisoteio e o desenvolvimento dos indivíduos jovens de *R. montana* ou de outras espécies (Aranha et al. 2006; Oliveira et al. 2015). No trabalho aqui apresentado, esperávamos que um método de contagem de pisoteio mais preciso poderia evidenciar que esse distúrbio pode sim ter influência sobre a população de plantas estudada. No entanto, aqui também não encontramos resultados que suprissem tais expectativas, uma vez que

assim como em anos anteriores, não foi encontrada relação significativa entre o pisoteio e as variáveis analisadas na população de *R. montana*.

Outros fatores podem ser influenciados pelo pisoteio e que podem ter relevância no desenvolvimento e crescimento populacional de plantas. Kissling et al. (2009) mostram que a maior parte do impacto do pisoteio pode ser explicada pela combinação de fatores alterados após o distúrbio, como a relação entre a vegetação e as características químicas e microbiológicas do solo. Além disso, a compactação do solo pelo pisoteio pode ter efeito benéfico no desenvolvimento das plantas, pois pode melhorar a disponibilidade de água em anos mais secos (Reichart 2007). No entanto, a compactação excessiva pode limitar a absorção de nutrientes e redistribuição de água no solo (Reichart 2007). Porém, nosso trabalho não apresenta resultados que permitam avaliar se essas características podem estar relacionadas com o desenvolvimento da população de *R. montana* estudada. Assim, esses fatores devem ser considerados em futuros estudos para entender o impacto do pisoteio de pesquisadores na comunidade de plantas analisada.

O monitoramento de longa duração de populações é essencial para os estudos ecológicos (Fauvel et al. 2012), inclusive para entender como as mudanças no meio abiótico ao longo dos anos podem afetar as espécies de plantas (Sistla et al. 2013). Nosso estudo mostra que, apesar do pisoteio ser a variável preditora que mais explica a variação encontrada na população de *R. montana* estudada, seu efeito não é significativo tanto a curto prazo, como ao longo dos anos, indicando que o impacto dos pesquisadores não interfere na estrutura populacional desta espécie no cerrado. Fauvel et al. 2012, encontraram resultados semelhantes ao analisar o efeito de longo prazo da captura e recaptura de cobras, mas o manuseio dos indivíduos causou uma resposta de stress hormonal imediata. Assim, outras formas de distúrbio menos evidentes (como

mudanças hormonais) podem ser causadas pelos pesquisadores ao longo da coleta de dados. Além disso, outras espécies de plantas podem responder de formas diferentes ao pisoteio. Desta forma, apesar de mostrarmos que o efeito do pisoteio sobre a população é mínimo, outros possíveis distúrbios devem ser levados em consideração em estudos futuros, assim como é necessária a avaliação do impacto dos distúrbios causados pelos pesquisadores sobre outras espécies de plantas.

Referências

Aranha BA, Aoki C, Brauw MR, Pereira SR (2006) Influência do pisoteio na taxa de aumento de rebrotas de *Roupala montana* em um fragmento de Cerrado. In: Santos FAM, Martins FRM, Tamashiro JY(Orgs). Relatórios de projetos desenvolvidos na pós-graduação em ecologia disciplina NE 211, IB, UNICAMP. Disponível em <http://www.ib.unicamp.br/profs/fsantos/relatorio2013>. Acesso 27/01/2017

Andrade WJ, Rocha RF (2008) Manejo de trilhas: um manual para gestores. Instituto Florestal, São Paulo.

Amrein D, Rusterholz, HP, Baur B (2005) Disturbance of suburban *Fagus* forests by recreational activities: effects on soil characteristics, above-ground vegetation and seed bank. *Appl. Veg. Sci.* 8:175–182.

Cole, DN, Bayfield NG (1992) Recreational trampling of vegetation: standard experimental procedures. *Biological Conservation* 63:209-215.

Fauvel T, Brischoux F, Briand MJ, Bonnet X (2012) Do researchers impact their study populations? Assessing the effect of field procedures in a long term population monitoring of sea kraits. *Amphibia-Reptilia* 33(3-4):365-372.

Hoffmann WA (2002) Direct and indirect effects of fire on radial growth of cerrado savanna trees. *Journal of Tropical Ecology* 18:137-142.

Kissling, M. et al 2009. Short-term and long-term effects of human trampling on above ground vegetation, soil density, soil organic matter and soil microbial processes in suburban beech forests. *Applied Soil Ecology* 42 (2009) 303–314.

Kozłowski, T.T., 1999. Soil compaction and growth of woody plants. *Scand. J. For. Res.* 14, 596–619.

Liddle, M J.1993. A selective review of the ecological effects of human trampling on natural ecosystems. *Biological Conservation* 1993, 63, 209-215.

Miranda-Melo A.A, Martins F.R, Santos F A M, Estrutura populacional de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. e de *Roupala montana* Aubl. em fragmentos de cerrado no Estado de São Paulo. *Revista Brasil. Bot.*, V.30, n.3, p.501-507, jul.-set. 2007

Oliveira A C S, Rocha C S, Santana E S, Nunes E A, Soares I C C. Análise fitossociológica de diferentes fisionomias de cerrado no município de Itirapina- SP. In: Santos F A M, Martins F R M, Koch I, Oliveira R S (Orgs). *Relatórios de projetos desenvolvidos na disciplina Ecologia vegetal de campo (BT 792)*, IB, UNICAMP.

Disponível em [http: www. Ib.unicamp.br/ profs/fsantos/relatório](http://www.Ib.unicamp.br/profs/fsantos/relatório) 2015. Acesso
27/01/2017

Oliveira O S, Marquis RJ. 2002. The cerrados of Brazil (Oliveira OS, Marquis RJ.
eds.). Columbia University Press, New York, p. 1 – 11.

Prado H. 2003. Solos do Brasil: Gênese, Morfologia, Classificação, Levantamento,
Manejo. 3a Ed. Piracicaba. 275 p.

Rangel T F, Diniz Filho J A F e Bini L M.2010. SAM: A comprehensive application
for Spatial Analysis in Macroecology. *Ecography*, 33: 1-5.

Reatto A, Correia J.R & Spera S T. 1998. Solos do Bioma Cerrado: Aspectos
Pedológicos. In: Cerrado: ambiente e flora (S. M. Sano & S.P. de Almeida eds.).
Embrapa-CPAC. Planaltina, p.47-88.

Reichert, JM; Suzuki, LEAS; Reinert, DJ. 2007. Compactação do solo em sistemas
agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos*
Ci. Solo, 5:49-134, 2007.

Ribeiro JF, Walter BMT. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*. Cerrado:
ambiente e flora (SM Sano, SP de Almeida). EMBRAPA-CPAC, Planaltina, DF, p.
89-168.

Sistla, S. A., Moore, J. C., Simpson, R. T., Gough, L., Shaver, G. R., & Schimel, J. P. (2013). Long-term warming restructures Arctic tundra without changing net soil carbon storage. *Nature*, 497: 615-618.

Weaver T e Dale D. 1978. Trampling Effects of Hikers, Motorcycles and Horses in Meadows and Forests. *Journal of Applied Ecology*, Vol. 15, No. 2, pp. 451-457

Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Dr. Fernando R. Martins e Prof. Dr. Flavio M. dos Santos, pela orientação no trabalho de campo e também pelas valiosas contribuições na construção deste trabalho. Agradecemos ainda Benedito Teixeira, tratorista da Estação Ecológica e Experimental de Itirapina (EEEI), às cozinheiras Isabel Franco de Souza e Cleide Ferreira, Me. Paulo Bittencourt pelo auxílio com a análise estatística e uso do software R e Paulo Rufino, responsável pela EEEI. Agradecemos aos alunos de graduação do curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biologia da UNICAMP, pela triagem do material herborizado. Agradecemos os Programas de Pós-Graduação em Biologia Vegetal e em Ecologia e ao Instituto de Biologia da UNICAMP pelo financiamento e apoio burocrático e logístico para a realização do Curso de Ecologia de Campo II de 2017, além do Instituto Florestal, administrador da EEEI, por permitir a realização do curso.

Tabela 1. Modelos lineares generalizados testados e valores de AIC encontrados. Os (*) indicam os menores valores de AIC. Nota-se que, em ambos os anos, os modelos com menores valores de AIC contam apenas com pisoteio como variável preditora, indicando que dentre as opções analisadas o pisoteio sozinho explica melhor a variação. N = número de indivíduos; A = altura (m); D = diâmetro (cm); es = espessura da serapilheira (mm); ad = abertura do dossel (%); p = pisoteio

Modelo	AIC	
	2013	2017
N ~ es + ad + p	514.5	490.9
N ~ p	510.6*	487.6*
A ~ es + ad + p	1274	-986.3
A ~ p	1273*	-989.9*
D ~ es + ad + p	1756	2072
D ~ p	1754*	2071*

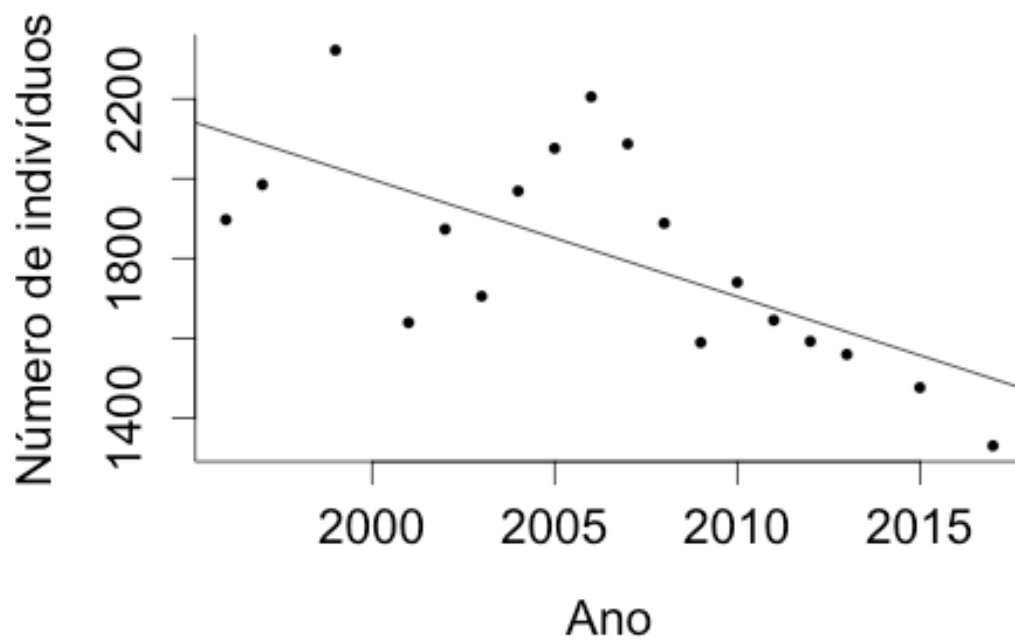


Figura 2 - Existe relação significativa na variação do número de indivíduos de *Roupala montana* ao longo dos anos, indicando que existe uma diminuição na abundância da espécie, apesar das flutuações aparentes no gráfico. $y = 60881 - 29.44x$; $r^2 = 0.46$; $p = 0.002$.