



Análise fractal do padrão espacial de plantas em pastagem

[Fractal analysis of plant spatial patterns in natural grasslands under different managements]

C.E.N. Martins¹, F.L.F. Quadros², F.C. Garagorry³,
G.E. Rossi²

¹Instituto Federal Catarinense - Araquari, SC

²Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria, RS

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Pecuária Sul - Bagé, RS

RESUMO

Avaliou-se o uso da análise fractal como ferramenta na determinação de padrões na escala de pastejo em pastagens naturais submetidas a diferentes manejos. Os tratamentos testados em Santa Maria foram: pastejo com queima, pastejo sem queima, exclusão com queima, exclusão sem queima. Em Bagé, os tratamentos avaliados foram: pastagem natural e pastagem natural com introdução de azevém, trevo-branco e cornichão. A caracterização da composição florística da pastagem foi realizada pelo método Botanal. A diversidade da pastagem foi calculada pelos índices de Shannon (H') e equitabilidade. A informação da dimensão fractal foi calculada pela regressão entre $H'(\epsilon)$ e o logaritmo natural de ϵ , sendo a inclinação da linha a informação da dimensão fractal. Os índices de Shannon e equitabilidade demonstraram dependência em relação à área amostral, onde a maior diversidade florística e a homogeneidade da frequência de distribuição de plantas entre espécies foram observadas no intervalo amostral de 0,87 e 1,03m². A dimensão fractal pode ser uma ferramenta na determinação de padrões na comunidade vegetal na escala reduzida de pastejo. A limitação do emprego dessa técnica para escalas reduzidas é a necessidade de um número maior de repetições.

Palavras-chave: diversidade, equitabilidade, pastejo, queima, Shannon

ABSTRACT

The use of fractal analysis was evaluated as a tool in the determination of grazing patterns in natural grasslands submitted to different managements. The treatments tested in Santa Maria were grazing with burning, grazing without burning, exclusion with burning and exclusion without burning. In Bagé, the evaluated treatments were natural pasture and introduction of ryegrass, white clover and birdsfoot trefoil in a natural grassland. The characterization of the floristic composition of the pasture was performed by the BOTANAL method. The pasture diversity was calculated by Shannon (H') and Evenness (J) indexes. The fractal dimension information was calculated by regression between $H'(\epsilon)$ and ϵ natural algorithm, with the line's slope being the fractal dimension information. Shannon and Evenness indexes showed dependence on the sample area, where the highest floristic diversity and homogeneity of the distribution frequency of plants between species were observed in the sample range of 0.87 to 1.03m². The fractal dimension can be a tool in determining patterns in the plant community on the reduced grazing scale. The limitation of the use of this technique for reduced scales is the need for a greater number of repetitions.

Keywords: burn, diversity, evenness, grazing, shannon

INTRODUÇÃO

Os estudos de padrões de distribuição espacial e temporal de espécies permitem avaliar a dinâmica das comunidades vegetais em um dado local, em termos de indivíduo, população ou

paisagem (Pillar, 1998). Nesse sentido, a determinação da escala de observação é fundamental, pois a percepção de um fenômeno pode não ser a mesma em diferentes escalas. Conforme Anderson *et al.* (2007), quando padrões ecológicos são dependentes da escala, estudos conduzidos em diferentes escalas espaciais podem parecer contraditórios quando

eles são, na realidade, consistentes. Assim, deve haver uma escala em que o fenômeno de interesse se manifesta mais nitidamente, a qual pode ser determinada analiticamente (Podani *et al.*, 1993). O desenvolvimento da geometria fractal surgiu para resolver algumas das limitações da geometria euclidiana em descrever padrões espaciais e temporais observados na natureza (Kallimanis *et al.*, 2002; Halley *et al.*, 2004). Mandelbrot (1983) definiu fractais como objetos conceituais que apresentam estrutura semelhante em todas as escalas espaciais, são autossimilares e independem de escala.

O padrão espacial de plantas pode ser caracterizado pela análise fractal, pois a dimensão fractal dos componentes estruturais do ecossistema reflete um padrão emergente produzido como o resultado de interações espaço-temporais dos componentes do ecossistema (Li, 2000; Alados *et al.*, 2003). A análise fractal tem sido amplamente usada em Ecologia para o entendimento da complexidade espacial (Yu *et al.*, 2019), onde a informação da dimensão fractal mede a complexidade de um sistema, independentemente da escala de observação, em uma gama de escalas (Loehle e Li, 1996; Alados *et al.*, 1999).

Um dos fatores limitantes para a análise fractal está na coleta suficientemente detalhada de dados espaciais em escala reduzida (Loehle e Li, 1996). Kallimanis *et al.* (2002) apontam a necessidade de desenvolver um método de estimativa da dimensão fractal especificamente para o contexto ecológico, usando amostras pequenas ou seções de uma distribuição. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso da análise fractal como ferramenta na determinação de padrões em uma escala reduzida de pastejo sobre pastagens naturais submetidas a diferentes manejos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em áreas de pastagens naturais, localizadas nos municípios de Santa Maria e Bagé, ambos pertencentes ao estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A área experimental de 40 hectares, situada entre as coordenadas 29° 45' S e 53° 45' W, localizada em Santa Maria e pertencente à Universidade Federal de Santa Maria, apresenta solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico nas áreas de baixada e Argissolo Vermelho distrófico nas

áreas de topo e encosta. O clima da região de Santa Maria, segundo a classificação de Köppen, é o subtropical úmido (Cfa), com temperatura média de 19,2°C e precipitação anual em torno de 1769mm, com altitude de 95m. Essa área não apresenta indícios a campo nem registros de que tenha sofrido algum tipo de preparo de solo para fins agrícolas, podendo-se supor que seja uma pastagem natural há centenas de anos.

Os tratamentos testados em Santa Maria foram: pastejo com queima na encosta (PQE), pastejo com queima na baixada (PQB), pastejo sem queima na encosta (PNQE), pastejo sem queima na baixada (PNQB), exclusão com queima na encosta (EQE), exclusão com queima na baixada (EQB), exclusão sem queima na encosta (ENQE) e exclusão sem queima na baixada (ENQB). Uma área de aproximadamente 1ha, excluída do pastejo desde 1995, abrange os tratamentos de exclusão. Transecções medindo 15 metros de comprimento e 0,5m de largura foram localizadas de forma a apresentar vegetação, aparentemente homogênea, entre transecções na mesma posição de relevo. No centro dessas transecções, foram demarcadas novas transecções de dois metros de comprimento por 0,5m de lado, identificadas por pinos de ferro galvanizados na forma de “L”, em cada canto de uma diagonal e suplementarmente por estacas de madeira colocadas nas outras extremidades da outra diagonal da transecção. Essas novas transecções internas foram subdivididas em 16 quadros de 0,25 x 0,25m, compondo as unidades amostrais. O número de transecções por tratamento foi variável, sendo cinco transecções para o tratamento PNQE, três transecções para o tratamento PNQB e uma transecta para os demais tratamentos, considerando-se a representatividade relativa à área ocupada pelos tratamentos. A primeira queima da pastagem foi realizada em 1995 e, posteriormente, nos anos de 1997, 2001 e 2003. Estas sempre foram realizadas no final do inverno e início da primavera, entre os meses de agosto e setembro. A redução da carga animal utilizada, que variava de 0,5 unidade animal (UA).ha⁻¹ no período de inverno, a duas UAs no período de verão para cerca de 0,7 UA apenas na estação quente, conferiu a essa área um aspecto de campo “macegoso”, com predomínio de espécies cespitosas, como *Erianthus angustifolius*, *Aristida laevis* e *Andropogon lateralis*.

A outra área experimental de 54ha pertence à Embrapa Pecuária Sul, situada no município de Bagé, na microrregião da Campanha Meridional, apresentando solo da classe Luvissoilo Hipocrômico Órtico típico. O clima dessa região é subtropical úmido, com temperatura média anual de 18°C, precipitação em torno de 1472mm e altitude de 212m. Essa área vem sendo manejada, desde agosto de 2005, em sistema de pastejo contínuo com lotação variável, utilizando-se novilhas da raça Brangus, a fim de manter uma oferta de forragem de 12kg de matéria seca (MS) de forragem para 100kg de peso vivo, com ajuste de carga a cada 28 dias. O levantamento da composição florística dessa área pelo método Botanal (Tohill, adaptado Quadros et al., 2007), realizado em 2005, demonstrou que as espécies *Paspalum plicatum*, *Erianthus* spp., *Paspalum dilatatum* e *Eragrostis plana* apresentaram frequência entre 20 e 60% e disponibilidades entre 300 e 800kg de matéria seca.ha⁻¹ no estrato superior da pastagem.

Em Bagé, os tratamentos avaliados foram: pastagem natural (PN) e pastagem natural com introdução de azevém, trevo-branco e cornichão (PNM). Entre 21 e 23/02/2005, a área foi roçada e ficou em descanso até 8/08/2005. Os piquetes que receberam o tratamento “pastagem natural melhorada” (PNM) foram pastejados com uma carga alta (3300kg de peso vivo.ha⁻¹), de 14 a 18/04/2005, a fim de se reduzir a competição da comunidade vegetal existente com as espécies a serem introduzidas. Em 28/04/2005, foram sobressemeados, a lanço, 25kg.ha⁻¹ de azevém cv. comum (*Lolium multiflorum* Lam.), 6kg.ha⁻¹ de cornichão (*Lotus corniculatus* L.) e 3kg.ha⁻¹ de trevo-branco (*Trifolium repens* L.). Para fertilização, foram utilizados 242kg.ha⁻¹ de NPK da fórmula 10-30-10. Em fevereiro de 2006, toda a área experimental foi roçada novamente e, nos piquetes de PNM, foi aplicada 1,1 t.ha⁻¹ de calcário “filler”.

A caracterização da composição florística da pastagem foi realizada pelo método Botanal, em ambas as áreas experimentais. Os inventários da vegetação em Santa Maria ocorreram nos dias 10/11/2006, 06/11/2007 e 13/04/2008, para os tratamentos em áreas pastejadas, e nos dias 07/11/2007 e 20/04/2008, para os tratamentos de exclusão. No município de Bagé, foram realizados dois inventários, sendo o primeiro

entre os dias 24 e 30/08/2006 e o segundo entre os dias 14 e 18/12/2006.

A diversidade da pastagem foi obtida pelo índice de Shannon (H') (Shannon, 1948), calculado pela fórmula $H'(\epsilon) = -\sum p_i \ln(1/p_i)$, em que p_i é a probabilidade de ocorrência de i th de $N(\epsilon)$ eventos e é expresso por $x_i / N(\epsilon)$, sendo x_i a massa de forragem da espécie (i) em cada transecta de tamanho (ϵ), e $N(\epsilon)$ a soma da massa de forragem de todas as espécies na transecta de tamanho (ϵ). Utilizou-se o índice de equitabilidade (J) (Pielou, 1966) para representar o equilíbrio da distribuição das espécies, o qual foi obtido por $H'(\epsilon)/\log N$, sendo N o número total de espécies. A informação da dimensão fractal foi utilizada para quantificar o padrão de distribuição das plantas na pastagem independentemente da escala, ou seja, para medir a taxa de mudança do índice de Shannon em função do tamanho da amostra. Um alto valor para informação da dimensão fractal indica uma distribuição espacial de plantas altamente homogênea, enquanto um baixo valor indica distribuição aleatória (Li, 2000). A informação da dimensão fractal foi calculada pela regressão entre $H'(\epsilon)$ e o algoritmo natural de ϵ , sendo a inclinação da linha a informação da dimensão fractal. O índice de Shannon foi calculado em uma série de escalas de tamanho ϵ , que variou de 0,0625 a 1m², correspondendo ao somatório de 16 quadros adjacentes de 0,25 x 0,25m. Os dados referentes aos tratamentos foram submetidos à análise de comparação de médias pelo teste de aleatorização, cuja medida de semelhança foi a distância euclidiana por meio do programa MULTIV (Pillar, 2004) e da análise de regressão com auxílio do programa estatístico R (R Development Core Team, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A diversidade de espécies da pastagem natural, expressa pelo índice de Shannon, apresentou comportamento quadrático em relação ao tamanho do quadro amostral ($P=0,01$; $r^2=0,78$) nas duas áreas avaliadas (Fig. 1). Esse comportamento é resultado da relação área-espécies, tendo em vista que a diversidade é função da riqueza, que corresponde ao número de espécies presentes em determinada área e da equitabilidade, que indica a homogeneidade na distribuição de indivíduos entre essas espécies

(Magurran, 2004). Conforme Crawley e Hurrell (2001), quatro efeitos são responsáveis pelo acúmulo de espécies com o aumento da área amostral: efeito amostral (menos espécies abundantes são registradas quando um número maior de indivíduos é incluído); efeito de agregação espacial (espécies espacialmente agregadas são encontradas quando perdidas na amostragem anterior); efeito de segregação espacial (espécies que são ecologicamente separadas dentro do mesmo *habitat* ocorrerão em conjunto somente em áreas maiores); e efeito do *habitat* (novos conjuntos de espécies são adicionadas quando diferentes comunidades de plantas são incluídas). Segundo Turner e Tjørve (2005), diversos trabalhos sugerem que o efeito amostral, denominado por eles como área mínima requerida, em relação área-espécies deveria produzir uma curva sigmoide quando vista num contexto de multiespécies.

Na pastagem natural localizada em Santa Maria, a maior diversidade de espécies foi observada na área de 0,87m² (Fig. 1A) e, em Bagé, na área de 1,03m² (Fig. 1B). Esses resultados aproximam-se da recomendação de Shmida e Wilson (1985) de que “diversidade de *habitat*” é mais perceptível em escalas de 1-10³m², bem como dos resultados de Allcock e Hil (2003), os quais demonstraram que os efeitos dos herbívoros na diversidade foram muito mais nítidos na escala amostral de 1m². Shmida e Wilson (1985) supõem que quatro mecanismos gerais regulam a diversidade de espécies de plantas enquanto elas operam sobre escalas espaciais amplas e sobrepostas; cada uma delas tem sua influência mais significativa em escalas espaciais diferentes. Segundo esses autores, as “relações de nicho” são mais importantes em escalas menores que 1m² e se referem às condições de micro-*habitat* e interações entre plantas (competição, facilitação, etc.). Já a “diversidade de *habitat*” é mais perceptível em escalas de 1-10³m². O “efeito de massa”, que avalia a presença de espécies em *habitat* inadequado por causa da dispersão dessas a partir de um *habitat* adequado, é melhor observado em escalas de 10³-10⁶m². Por fim, a “equivalência ecológica”, que caracteriza acumulação de espécies espacialmente separadas, mas com nichos equivalentes, é mais perceptível em escalas maiores que 10⁶m². Nesse sentido, utilizou-se a área de 1m² para caracterizar e comparar a diversidade de espécies das pastagens naturais, bem como a

homogeneidade de distribuição dessa diversidade nos diferentes manejos adotados nessas pastagens.

A escolha por trabalhar com a área de 1m² reduziu o número de repetições, por isso optou-se por utilizar os dados dos tratamentos encosta e baixada conjuntamente. O teste de aleatorização não demonstrou interação (P=0,1) entre os tratamentos e os períodos de avaliação, tanto em Santa Maria como em Bagé. Em Santa Maria, as áreas pastejadas apresentaram índices de diversidade similares de 1,69 e 1,67, para os tratamentos submetidos à queima e sem queima, respectivamente (Tab. 1). Conforme Fuhlendorf e Engle (2004), os animais possuem preferência por sítios de pastejo em áreas de rebrote pós-queima. Assim, a diversidade florística poderá aumentar ou diminuir dependendo da carga animal utilizada (Noy-meir, 1995; Alados *et al.*, 2003). O efeito positivo do pastejo sobre a diversidade de plantas depende, além da composição botânica da comunidade vegetal, das circunstâncias específicas dos *habitats* característicos (Mazancourt *et al.*, 1999), por exemplo, as condições edáficas (Alados *et al.*, 2005).

O índice de diversidade não demonstrou diferença entre os tratamentos sem pastejo e com queima (1,89) na pastagem natural de Santa Maria em relação aos sem queima (1,6) (Tab. 1). Segundo Overbeck *et al.* (2005), o distúrbio causado pela queimada tende a aumentar a riqueza ao nível de parcela devido à abertura da comunidade, porém o seu efeito diminui ao longo do tempo. A menor diversidade florística em áreas com ausência de distúrbios deve-se à dominância de poucas espécies com maior capacidade de cobertura de solo e com alta habilidade de exclusão na competição entre espécies (Overbeck *et al.*, 2007). Os resultados indicam que o efeito da queimada sobre a diversidade da comunidade vegetal é mais evidente quando aplicada de forma isolada. Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Noy-Meir (1995) quanto aos efeitos do fogo sobre as variáveis estruturais (cobertura e altura de plantas). Entretanto, esse mesmo autor observou que a riqueza de espécies aumentou após a queima da pastagem apenas em áreas pastejadas com um forte componente perene. Nesse sentido, quando combinado ao pastejo, o efeito do fogo também dependerá, além da frequência de

queimadas, da composição botânica da pastagem, da intensidade de pastejo e das condições edafoclimáticas da região. Os resultados encontrados ratificam os vários trabalhos publicados (Noy-meir, 1995;

Fuhlendorf e Engle, 2004; Macdonald *et al.*, 2007), os quais apontam a queimada como uma ferramenta estratégica para o manejo das pastagens naturais desde que aplicada de forma moderada.

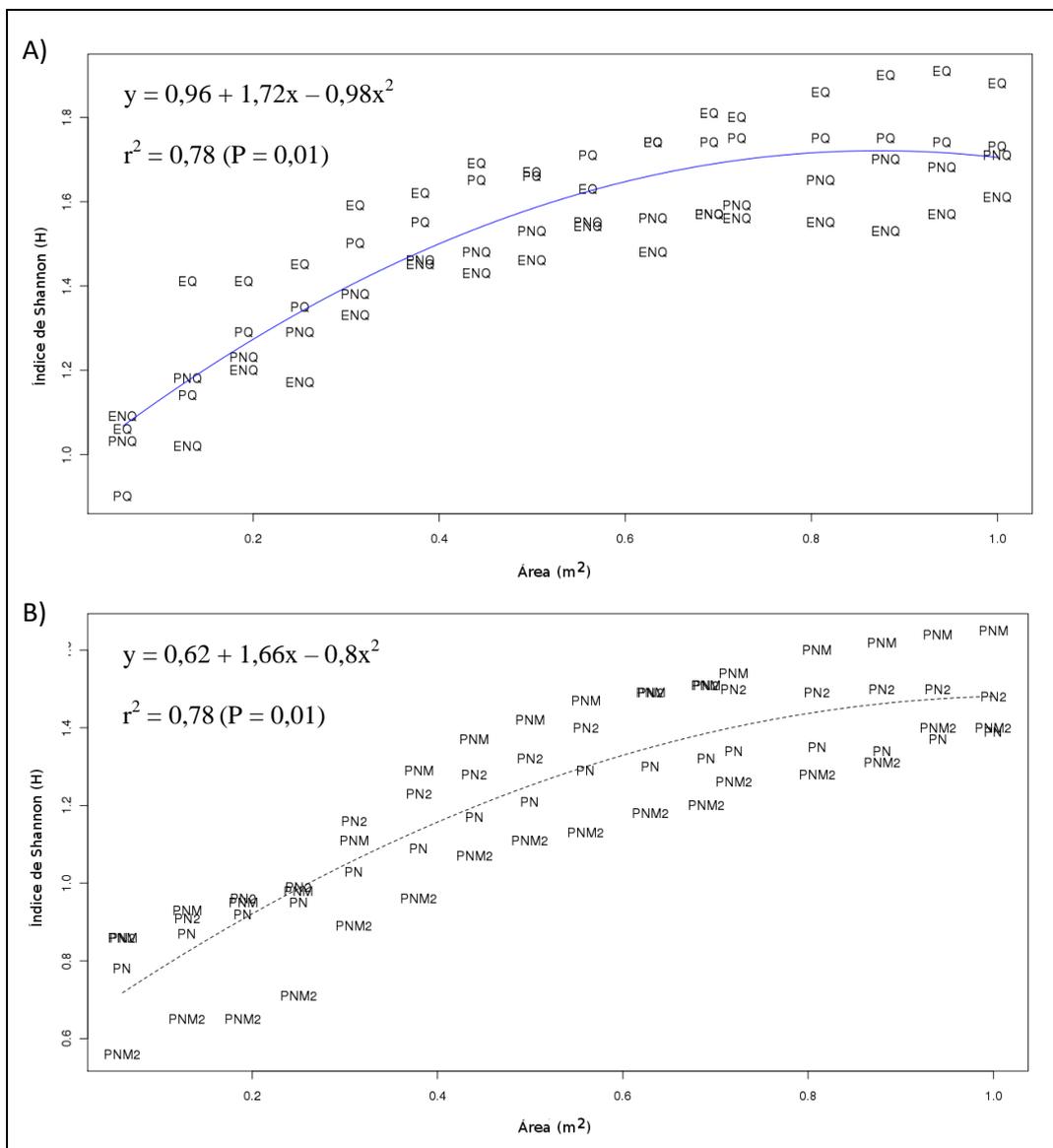


Figura 1. Representação da equação de regressão entre o índice de Shannon e a área amostral. Os tratamentos indicados em (A), município de Santa Maria, são os seguintes: (PQ) pastejado e queimado; (PNQ) pastejado e não queimado; (EQ) excluído e queimado; (ENQ) excluído e não queimado. Em (B), município de Bagé, estão representados os tratamentos nos dois períodos amostrais, sendo o segundo indicado pelo número 2 após as legendas: (PN) pastagem natural e (PNM) pastagem natural melhorada.

Tabela 1. Índices de Shannon (H') e equitabilidade (J) de pastagens naturais submetidas a diferentes manejos, localizadas em Santa Maria e Bagé, RS

Santa Maria								
Tratamentos**	H'				J			
	Nov/06	Nov/07	Abr/08	Médias	Nov/06	Nov/07	Abr/08	Médias*
PQ	1,49	1,77	1,81	1,69 a	0,64	0,8	0,68	0,7 a
PNQ	1,57	1,69	1,67	1,67 a	0,65	0,77	0,69	0,7 a
EQ	-	2,1	1,69	1,89 a	-	0,79	0,66	0,72 a
ENQ	-	1,53	1,67	1,6 a	-	0,62	0,89	0,75 a

Bagé							
Tratamentos	H'			J			
	Agosto	Dezembro	Médias	Agosto	Dezembro	Médias	
PN	1,39	1,48	1,43 a	0,6	0,62	0,61 a	
PNM	1,65	1,38	1,51 a	0,68	0,69	0,68 a	

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ($P > 0,05$).

** PQ: pastejado e queimado; PNQ: pastejado e não queimado; EQ: excluído e queimado; ENQ: excluído e não queimado; PN: pastagem natural; e PNM: pastagem natural melhorada.

A introdução de espécies cultivadas de inverno na pastagem natural localizada no município de Bagé permitiu um aumento da diversidade da comunidade vegetal no período hibernal quando comparada ao índice da pastagem natural (Tab. 1). Entretanto, com o final do ciclo do azevém e do cornichão, o índice de diversidade da pastagem natural melhorada passou a ser menor (1,38) que o da pastagem natural (1,48). A diversidade da pastagem natural foi similar entre os períodos de inverno e verão, com pequeno acréscimo na estação de verão (Tab. 1). Esses resultados devem-se ao fato de as espécies que compõem a comunidade vegetal dessas pastagens naturais serem predominantemente estivais.

No município de Santa Maria, a homogeneidade da distribuição das espécies não apresentou diferença entre as médias dos tratamentos (Tab. 1). Alados *et al.* (2003), ao estudarem o efeito de diferentes intensidades de pastejo sobre a dinâmica da vegetação do semiárido do Mediterrâneo, observaram que a frequência de distribuição foi mais homogênea nas áreas de pastagens preservadas (sem pastejo), resultado semelhante ao deste trabalho, em que o tratamento ENQ apresentou o maior índice de equitabilidade para o ano de 2008 (Tab. 1). Nesse sentido, o pastejo conduz à heterogeneidade de distribuição das plantas, favorecendo a dominância de espécies tolerantes ao pastejo. Entretanto, a distribuição das plantas tende a ser igualmente representada em áreas levemente pastejadas em comparação com áreas

manejadas com uma baixa oferta de forragem (Alados *et al.*, 2004).

A homogeneidade da frequência de distribuição de plantas entre espécies foi similar entre as médias dos tratamentos avaliados no município de Bagé (Tab. 1). Pode-se observar que o melhoramento das pastagens naturais tende a aumentar o índice de equitabilidade no período de inverno em função da homogeneidade de implantação e desenvolvimento das espécies cultivadas (Tab. 1). A tendência de maior homogeneidade no tratamento com introdução de espécies também no mês de dezembro deve-se à maior contribuição do trevo-branco nesse período.

Apesar de não haver diferença ($P > 0,05$) entre os tratamentos quanto à informação da dimensão fractal, observa-se, na Fig. 2, uma tendência de essa variável ser maior na área pastejada e queimada ($D=0,35$) em relação à área pastejada sem queima ($D=0,25$) no experimento de Santa Maria. Alados *et al.* (2003), ao estudarem o efeito da pressão de pastejo sobre o padrão espacial de plantas em duas comunidades vegetais localizadas na região do semiárido Mediterrâneo, observaram que o pastejo afetou a dimensão fractal, visto que o aumento da pressão de pastejo acarretou uma distribuição de plantas mais aleatória. Entretanto, estudos que avaliaram o efeito do pastejo em quatro ecossistemas da região do Mediterrâneo (Alados *et al.*, 2004) e em cinco comunidades de plantas do semiárido espanhol (Alados *et al.*, 2005) observaram

comunidades de plantas em que o pastejo reduziu a dimensão fractal.

Nos tratamentos exclusão ao pastejo com e sem queima, a informação da dimensão fractal foi igual a 0,28 (Fig. 2). Esse resultado pode estar

associado ao comportamento de resiliência das espécies que compõem a pastagem natural, ou seja, a capacidade de a pastagem se recuperar de um distúrbio após algum tempo sem a presença dele, como observado nos trabalhos de Noy-Meir (1995) e Fuhlendorf e Engle (2004).

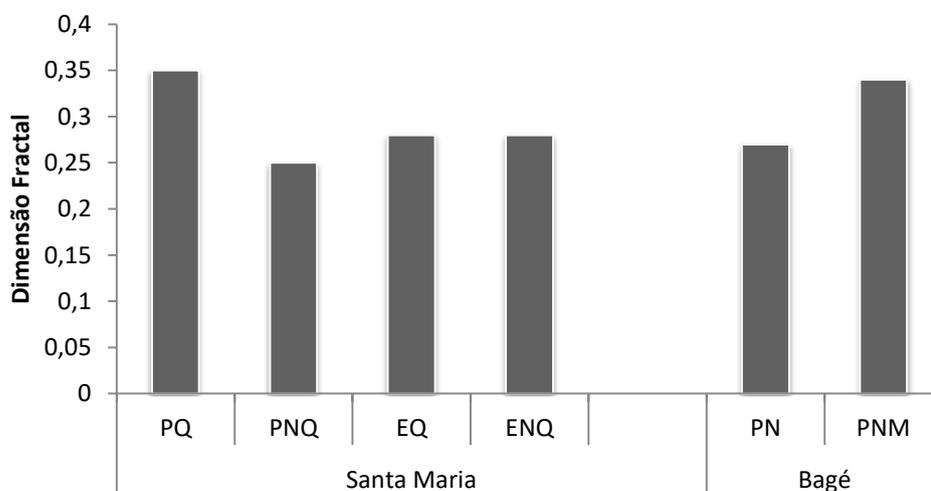


Figura 2. Mudanças na informação da dimensão fractal em função de diferentes distúrbios de duas comunidades vegetais localizadas nos municípios de Santa Maria e Bagé. Os tratamentos indicados são: PQ) pastejado e queimado; PNQ) pastejado e não queimado; EQ) excluído e queimado; ENQ) excluído e não queimado; PN) pastagem natural; e PNM) pastagem natural melhorada.

Ghermandi *et al.* (2004) reconheceram três processos na sucessão vegetal pós-queima: surgimento de espécies colonizadoras a partir do banco de sementes, regeneração da comunidade original e dominância de espécies invasoras, os quais ocorrem em dois períodos distintos. O primeiro período corresponde ao estágio de pequena competição por recursos (espaço, luz, água, etc.), denominado por esses autores como “a corrida por ocupação de área”. Quando a competição por recursos torna-se progressivamente mais importante, inicia-se o segundo estágio, chamado de “o esforço para manter o espaço”.

Em Bagé, a pastagem natural melhorada apresentou maior informação da dimensão fractal ($D=0,34$) em comparação à pastagem natural ($D=0,27$) (Fig. 2). Esse resultado está de acordo com a afirmação de Alados *et al.* (2005) de que a informação da dimensão fractal aumenta quando se sai de uma comunidade altamente diversa para uma com menor diversidade.

Halley *et al.* (2004) apontam quatro razões para a rápida aceitação das ideias da geometria fractal em Ecologia. Em primeiro lugar, foi percebido que muitos objetos naturais de interesse para ecólogos têm relevantes características em uma ampla variedade de escalas. Além disso, fractais geralmente surgem naturalmente nos modelos ecológicos. Em terceiro lugar, as regras de forças, que estão intimamente ligadas com fractais, já haviam sido uma ferramenta descritiva importante na Ecologia. Finalmente, a noção ecológica de que a variação é mais informativa do que a média encontra uma explicação natural na geometria fractal.

CONCLUSÕES

Os índices de Shannon e equitabilidade demonstraram dependência em relação à área amostral, uma vez que a maior diversidade florística e a homogeneidade da frequência de distribuição de plantas entre espécies foram observadas no intervalo amostral de 0,87 e 1,03m². A dimensão fractal pode ser uma ferramenta na determinação de padrões na

comunidade vegetal na escala reduzida de pastejo. A limitação do uso dessa técnica para escalas reduzidas é a necessidade de um número maior de repetições. Nesse sentido, sugere-se como tema para futuros trabalhos a determinação de uma metodologia rápida de caracterização da composição florística da pastagem associada ao componente espacial.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI) pelo suporte financeiro através do convênio CNPq/MCTI 441396/2017-8.

REFERÊNCIAS

- ALADOS, C.L.; ELAICH, A.; PAPANASTASIS, V.P. *et al.* Change in plant spatial patterns and diversity along the successional gradient of Mediterranean grazing ecosystems. *Ecol. Model.*, v.180, p.523-535, 2004.
- ALADOS, C.L.; ESCOS, J.; EMLÉN, J.M. *et al.* Characterization of branch complexity by fractal analysis. *Int. J. Plant. Sci.*, v.160, Suppl.6, p.147-155, 1999.
- ALADOS, C.L.; PUEYO, Y.; GINER, M.L. *et al.* Quantitative characterization of the regressive ecological succession by fractal analysis of plant spatial patterns. *Ecol. Model.*, v.163, p.1-17, 2003.
- ALADOS, C.L.; PUEYO, Y.; NAVAS, D. *et al.* Fractal analysis of plant spatial patterns: a monitoring tool for vegetation transition shifts. *Biodivers. Conserv.*, v.14, p.1453-1468, 2005.
- ALLCOCK, K.G.; HIK, D.S. What determines disturbance-productivity-diversity relationships? The effect of scale, species and environment on richness patterns in an Australian woodland. *Oikos*, v.102, p.173-185, 2003.
- ANDERSON, T.M.; METZGER, K.L.; McNAUGHTON, S.J. Multi-scale analysis of plant species richness in Serengeti grasslands. *J. Biogeogr.*, v.34, p.313-323, 2007.
- CRAWLEY, M.J.; HARRAL, J.E. Scale dependence in plant biodiversity. *Science*, v.291, p.864-868, 2001.
- FUHLENDORF, S.D.; ENGLE, D.M. Application of the fire-grazing interaction to restore a shifting mosaic in tallgrass prairie. *J. Appl. Ecol.*, v.41, p.604-614, 2004.
- GHERMANDI, L.; GUTHMANN, N.; BRAN, D. Early post-fire succession in northwestern Patagonia grasslands. *J. Veg. Sci.*, v.15, p.67-76, 2004.
- HALLEY, J.M.; HARTLEY, S.; KALLIMANIS, A.S. *et al.* Uses and abuses of fractal methodology in ecology. *Ecol. Lett.*, v.7, p.254-271, 2004.
- KALLIMANIS, A.S.; SGARDELIS, S.P.; HALLEY, J.M. Accuracy of fractal dimension estimates for small samples of ecological distributions. *Landscape Ecol.*, v.17, p.281-297, 2002.
- LI, B.L. Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics. *Ecol. Model.*, v.132, p.33-50, 2000.
- LOEHLE, C.; LI, B.L. Statistical properties of ecological and geologic fractals. *Ecol. Model.*, v.85, p.271-284, 1996.
- MACDONALD, N.W.; SCULL, B.T.; ABELLA, S.R. Mid-Spring burning reduces spotted knapweed and increases native grasses during a Michigan experimental grassland establishment. *Restor. Ecol.*, v.15, p.118-128, 2007.
- MAGURRAN, A.E. *Measuring biological diversity*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2004. 256p.
- MANDELBROT, B.B. *The fractal geometry of nature*. San Francisco, CA: W.H. Freeman, 1983. 468p.
- MAZANCOURT, C.; LOREAU, M.; ABBADIE, L. Grazing optimization and nutrient cycling: potential impact of large herbivores in savanna system. *Ecol. Appl.*, v.9, p.784-494, 1999.
- NOY-MEIR, I. Interactive effects of fire and grazing on structure and diversity of Mediterranean grasslands. *J. Veg. Sci.*, v.6, p.701-710, 1995.

- OVERBECK, G.E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A. *et al.* Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. *Perspect. Plant Ecol.*, v.9, p.101-116, 2007.
- OVERBECK, G.E.; MÜLLER, S.C.; PILLAR, V.D. *et al.* Fine scale post-fire dynamics in southern Brazilian subtropical grassland. *J. Veg. Sci.*, v.16, p.655-664, 2005.
- PIELOU, E.C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *J. Theor. Biol.*, v.10, p.370-383, 1966.
- PILLAR, V.D. Análise e predição de fenômenos ecológicos em pastagens naturais. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO EM FORRAGEIRAS DO CONE-SUL – ZONA CAMPOS, 17, 1998, Lages, *Anais...* Lages: Epagri/UDESC, 1998. p.39-45.
- PILLAR, V.D. *Multivariate exploratory analysis, randomization testing and bootstrap resampling*. Porto Alegre: Departamento de Ecologia, UFRGS, 2004. Disponível em: <<http://ecoqua.Ecologia.ufrgs.br/>>. Acessado em: 23 ago. 2018.
- PODANI, J.; CZARÁN, T.; BARTHA, S. Pattern, area and diversity: the importance of spatial scale in species assemblages. *Abstracta Bot.*, v.17, p.37-51, 1993.
- QUADROS, F.L.F.; TRINDADE, J.P.P.; MARTINS C.E.N. *et al.* Implementação do componente espacial na planilha eletrônica BOTANAL. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PASTIZALES NATURALES, 4., 2007 / CONGRESO DEL MERCOSUL SOBRE MANEJO DE PASTIZALES NATURALES, 1., 2007, Vila Mercedes. *Anais...* Vila Mercedes: Universidad Nacional de San Luis, 2007. v.1, p.1-1.
- R DEVELOPMENT core team: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Available in: <<http://www.R-project.org>>. Accessed in: 12 set. 2018.
- SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.*, v.27, p.379-423, 1948.
- SHMIDA, A.; WILSON, M.V. Biological determinants of species diversity. *J. Biogeogr.*, v.12, p.1-20, 1985.
- TURNER, W.R.; TJØRVE, E. Scale-dependence in species-area relationships. *Ecography*, v.28, p.721-730, 2005.
- YU, H.; LIU, X.; KONG, B. *et al.* Landscape ecology development supported by geospatial technologies: a review. *Ecol. Inform.*, v.51, p.185-192, 2019.