

O conceito biogeográfico de ecótono

El concepto biogeográfico de ecótono

The Ecotone Biogeographic Concept

Elisana Milan

elisana.milan@gmail.com

Programa de Pós-graduação em Geografia – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Rosemeri Segecin Moro

rsmoro@uepg.br

Programa de Pós-graduação em Geografia – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Resumo: A conceituação de ecótono gera muitas dúvidas quanto ao seu significado, sendo utilizada algumas vezes como sinônimo de borda. Através de uma revisão conceitual, buscou-se diferenciar os termos ecótono, borda e fronteira. Ecótono é um conceito funcional ecológico e borda um conceito espacial geográfico. A escala é um aspecto determinante na definição dos termos. Assim, ecótono é um conceito funcional ecológico multiescalar; borda é um conceito espacial geográfico mesoescalar; fronteira é um conceito cartográfico não-escalar, sujeito a resolução de análise. No entanto, todos se relacionam ao contato entre diferentes sistemas ecológicos.

Palavras-chave: Fitogeografia. Borda. Fronteira. Conceitos em Geografia.

Resumen: La palabra ecótono plantea muchos interrogantes con respecto a su significado, a veces asumida el sinónimo de borde. A través de una revisión conceptual, se intentó distinguir el ecótono de términos como borde y límite o frontera. Ecótono es un concepto funcional ecológico y borde un concepto espacial geográfico. La escala es un aspecto esencial en la definición de estos términos. Así, ecótono es un concepto ecológico funcional multi-escalar; borde es un concepto geográfico y espacial meso-escalar; límite o frontera son conceptos cartográficos no escalares, sujetos a resolución de análisis. Sin embargo, todos ellos están relacionados con el contacto entre diferentes sistemas

Palabras clave: Fitogeografía. Borde. Frontera. Conceptos en Geografía.

Abstract: The word ecotone raises many questions regarding its meaning, sometimes assumed as edge synonym. Through a conceptual review, we sought to differentiate the terms ecotone, edge and boundary. Ecotone is an ecologic functional concept whereas edge is a geographic spatial concept. The scale is an essential aspect in this term definition. So ecotone is a functional multi-scale ecological concept; edge is a spatial geographic meso-scale concept; boundary is a cartographic non-scalar concept, subject to resolution of analysis. However, all of them are been related to the contact between different ecological systems.

Keywords: Phytogeography. Edge. Boundary. Geographic concepts.

INTRODUÇÃO

A fragmentação de ecossistemas é, basicamente, um processo de ruptura da continuidade espacial de habitats naturais (LORD; NORTON, 1990), com consequências em geral desfavoráveis, principalmente às espécies habitantes do local. Assim, podem ocorrer perda e modificação de habitats decorrentes da redução do tamanho do habitat original e seu isolamento devido ao uso da terra na matriz que circunda o fragmento. Quando a área contínua do fragmento é reduzida, as espécies tornam-se mais vulneráveis às pressões oriundas do exterior, num efeito de borda, e suscetíveis à invasão por espécies exóticas, além de provável ocorrência de alterações na dinâmica de interação entre as espécies (FORERO-MEDINA; VIEIRA, 2007).

Metzger (2003) afirma que o processo de fragmentação que leva à formação de uma paisagem em mosaico acarreta elementos básicos da paisagem observados em diferentes escalas e tipos de solo, possuindo dimensões, larguras, formas e diferentes níveis de conectividade. Ou seja, para diferentes níveis de escala, podem ser observados diferentes mosaicos ecológicos. Pode-se dizer que o padrão de manchas, gerado pelos diferentes processos atuando em várias escalas temporais e espaciais, representa a marca registrada de uma paisagem (URBAN; O'NEILL; SHUGART, 1987).

Os padrões em mosaico gerados pela alternância entre habitats campestres e florestais geram processos ecológicos bastante complexos na paisagem (MÜLLER et al., 2012). No entanto, a denominação ecótono pode gerar alguns questionamentos, visto que a palavra vem sendo usada em trabalhos de natureza diversa pode muitas vezes não corresponder ao seu significado original, sendo usado como sinônimo de borda, limite, fronteira, entre outros. Assim, este ensaio propõe-se a rever e discutir alguns dos conceitos atribuídos ao ecótono, visando entender de fato do que se trata e distingui-lo dos demais termos utilizados, principalmente borda e fronteira.

CONCEITO DE ECÓTONO

O termo 'ecótono' foi utilizado pela primeira vez em estudos da vegetação terrestre e cunhado por Clements (1905) para definir uma zona de tensão entre dois ecossistemas diferentes, o que é confirmado pela etimologia da palavra, sendo esta de origem grega, onde *tono* significa tensão, agregada do prefixo *eco*, indica área ou zona de tensão. Pela definição original, há necessidade de que pelo menos duas condições sejam atendidas, para que determinada área seja considerada um ecótono: transição entre dois ecossistemas diferentes e tensão entre ambos.

Neiff (2003) afirma que a transição entre dois ecossistemas implica a existência de uma área com valores intermediários para os parâmetros que caracterizam a estrutura desse conjunto de organismos (densidade, cobertura, volume). Esse estado intermediário pode surgir como resposta dos organismos às mudanças espaciais e/ou temporais de cada local ou habitat, ou ser simplesmente consequência de um fator de dispersão tal como o fluxo

de água, o vento ou outro agente que modifique o padrão espacial do conjunto (NEIFF, 2003). Na região de encontro de duas comunidades distintas há uma rápida substituição de espécies ao longo do gradiente, e é onde muitas atingem os limites de suas distribuições.

A tensão implica reconhecer que ambos os ecossistemas interferem um sobre o outro, através de competição direta, por exemplo, com diferentes taxas de reprodução e crescimento, tolerância e taxa de recuperação aos distúrbios, entre outros atributos que intervêm para configurar a preponderância de um ou outro ecossistema. O resultado pode ser uma transição, uma modificação estrutural e funcional dos ecossistemas na zona de contato (NEIFF, 2003). Neiff (2003) ainda afirma que, a partir da década de 1980, o termo ecótono foi utilizado em sentido geográfico mais amplo, usualmente para definir sistemas de transição entre duas comunidades ou paisagens (SHUGART, 1997; WARD; TOCKNER; SCHIEMER, 1999), isto é, limitando-se a somente uma das propriedades dos ecótonos. O termo inclusive foi utilizado por Gopal (1994) para fazer referência ou relação topográfica de posição, como uma simples transição entre dois sistemas diferentes. Isto demonstra que, se existem dificuldades em se estabelecer as delimitações dos próprios ecossistemas, mais ainda ao se tratar de ecótonos.

Em macroescala, Veloso, Rangel Filho e Lima (1991), ao definirem os sistemas de transição da vegetação brasileira, criaram as 'zonas de tensão ecológica'. Os autores afirmam que entre diferentes habitats existem comunidades indiferenciadas, onde as espécies se interpenetram, constituindo as transições florísticas. Consideram, portanto, ecótono como a mistura florística entre tipos de vegetação e diferenciam o enclave como áreas disjuntas que se contatam, mas não se interpenetram. Atentam também para a importância de considerar a escala de estudo. Assim, quando os tipos de vegetação que se interpenetram são semelhantes (Fig. 1), é necessário que seja realizado um levantamento florístico para definir o limite de distribuição dos mesmos. Por outro lado, quando há diferença nítida entre as formações (Fig. 2), a delimitação pode ser realizada por fotointerpretação.

Figura 1: Esquema de uma área de transição entre A - Floresta Ombrófila Densa e B - Floresta Estacional Semidecidual, formando um C - Mosaico com ecótonos.



Fonte: Veloso, Rangel Filho e Lima, 1991.

Figura 2: Esquema de uma área de transição entre A - Savana e B - Floresta Ombrófila Densa, formando um mosaico com encraves.



Fonte: Veloso, Rangel Filho e Lima, 1991.

O IBGE (2004), no mapeamento da vegetação brasileira, retoma o conceito de áreas de tensão ecológica quando as floras de diferentes regiões fitoecológicas interpenetram-se formando contatos caracterizados como encraves ou ecótonos. No caso dos encraves, o mosaico de vegetação é composto por formações que guardam sua identidade florística e fisionômica sem se misturar, permitindo a definição da formação ou subformação dominante. Já nos ecótonos, a identidade florística ocorre a nível de taxocenose, não havendo marcantes diferenças fitofisionômicas entre elas. Frequentemente ocorrem endemismos que melhor as identificam. As áreas de tensão ecológica, às vezes, são coincidentes com o contato de duas formações geológicas e com faixas de transição climática.

Daubenmire (1968), referindo-se ao ecótono no sentido de transição, apontou três tipos, segundo a maior ou menor gradação existente entre as comunidades vegetais:

- a) Quando há transição abrupta em resultado a uma descontinuidade;
- b) Quando há forte competição entre duas comunidades de plantas e origina-se uma abrupta transição entre os ecossistemas;
- c) Ecótonos estendidos, onde tanto os fatores do meio como as mudanças entre as comunidades são graduais. Lang e Blaschke (2009) lembram, no entanto, que transições 'bruscas' ou 'suaves' relacionam-se diretamente a escala.

Há algo mais do que uma questão semântica quando se denomina uma área de ecótono. Significa que é uma área de tensão muito instável sem padrões próprios de variabilidade e cuja estrutura (proporção de espécies, fisionomia, etc.) depende inteiramente das tensões que se impõem a dois ecossistemas adjacentes e da relação destes com os demais que o cercam. Essa cadeia de interdependência não é exclusiva de um ou outro tipo de ecótono, pois ocorrem em todos os ecossistemas terrestres.

Os ecótonos apresentam características físicas e químicas específicas que interferem nas propriedades biológicas, fluxo de energia e ciclos de materiais, definidos pelas suas escalas de tempo, espaço e magnitudes de interações. Odum (1971) citou os biótopos de borda para definir a zona de contato entre dois habitats onde se desenvolve uma biocenose própria. Possuem também elevada biodiversidade de organismos pertencentes aos ecossistemas em contato, bem como podem possuir espécies endêmicas do próprio ecótono,

sendo especialmente sensíveis às modificações ambientais (GRIMM, 1983; MALANSON, 1997; BARELLA, 2003). Por definição, os ecótonos são muito pouco previsíveis e os fluxos internos de informação entre seus elementos são menores que as taxas de mudança que a interação entre os ecossistemas adjacentes impõe (FREITAS, 2003; NEIFF, 2003).

Odum e Barrett (2008) consideram como ecótono uma área criada pela justaposição de diferentes habitats ou tipos de ecossistemas. O conceito pressupõe a existência de interação ativa entre dois ou mais ecossistemas, do que resulta que em ecótonos surgem propriedades inexistentes em ambos os ecossistemas adjacentes (NAIMAN; DÉCAMPS, 1990). Em biomas terrestres, a zonação pode, muitas vezes, ser identificada e mapeada pela vegetação nativa que está mais ou menos em equilíbrio com o clima regional (ODUM; BARRETT, 2008).

ESTRUTURA DE ECÓTONOS

Para Kolasa e Zalewski (1995) e Henry (2003), o estudo de ecótonos deve envolver seus componentes estruturais e funcionais, que podem alterar-se com o tempo, sendo, portanto, sistemas dinâmicos. O primeiro refere-se a um detalhamento da forma, posição e contexto dos ecótonos. Em tese, o ecótono representa uma faixa variável entre dois habitats adjacentes. Na realidade esta faixa apresenta, na maior parte das regiões, complexidade espacial razoavelmente grande, na qual dois aspectos importantes devem ser ressaltados: sua sinuosidade e sua resolução, aqui interpretada no sentido de escala (KOLASA; ZALEWSKI, 1995).

A sinuosidade refere-se ao grau de contorção e fragmentação dessa faixa peculiar de habitats que constitui o ecótono. Quanto maior for a sinuosidade, maior será o comprimento total do ecótono. A largura e a natureza (como a composição de espécies vegetais e animais associada) podem também alterar-se. Às vezes, o grau de contorção dos ecótonos é tão elevado que pode levar à apresentação de um novo mosaico (subordinado ao mosaico inicialmente sob análise) de habitats diferentes, com características próprias.

De acordo com Malanson (1997), dependendo do tipo de ecótono, suas funções básicas incluem:

- a) servir de habitats para muitas espécies, por isso sua importância para a manutenção da biodiversidade;
- b) são agentes modificadores de fatores abióticos (vento, luz, temperatura) e locais de elevada produção de matéria orgânica e de ciclagem de nutrientes;
- c) atuam como acumuladores/exportadores de nutrientes e matéria orgânica;
- d) agem como barreira ou área de isolamento com ecossistemas vizinhos.

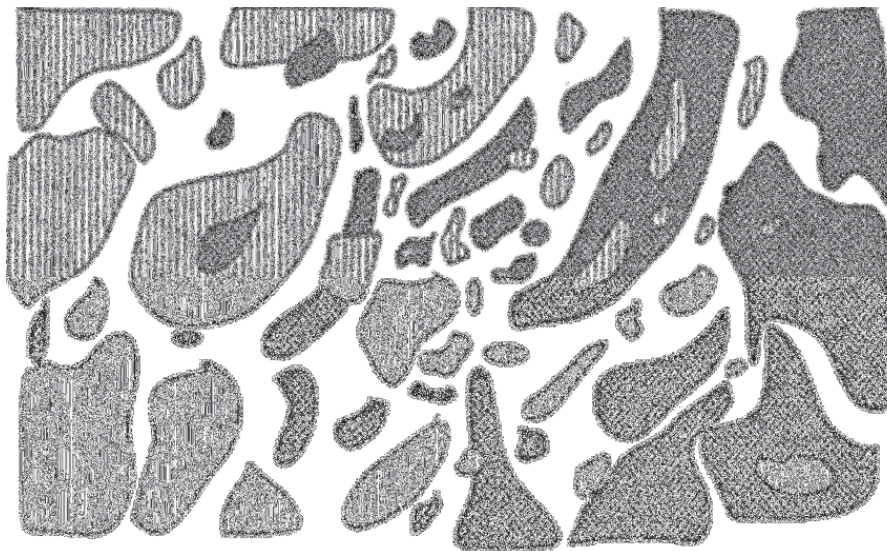
Os ecótonos podem ser examinados sob diferentes prismas, em macro, meso e microescala, e estão sujeitos a distúrbios de variada natureza, amplitude, frequência, duração e intensidade (HENRY, 2003).

ECÓTONOS E ESCALAS DE ANÁLISE

Segundo Holland (1988), uma das definições mais aceitas pela comunidade científica, resultado do simpósio MAB/SCOPE-UNESCO, considera o ecótono como uma zona de transição entre sistemas ecológicos adjacentes com uma série de características definidas exclusivamente por escalas espaciais e temporais e pela intensidade das interações entre sistemas ecológicos adjacentes. Holland (1988) considera ainda que regiões de descontinuidade dentro de um ecossistema uniforme podem assumir a função ecológica e as características de ecótonos. A aceitação literal desse ponto de vista amplia extraordinariamente a definição inicial de ecótonos como zonas de transição entre sistemas ecológicos adjacentes, colocando o conceito de ecótonos em escalas muito diversas, desde grandes unidades biogeográficas até micro-habitats.

O que Holland considera como diferentes escalas são tratadas por Gosz (1993) como níveis hierárquicos. Segundo Gosz (1993), nos estudos de ecótonos, vários níveis de hierarquia podem ser abordados: bioma (Fig. 3), paisagem (Fig. 4), comunidades (Fig. 5) e populações de indivíduos (Fig. 6). Os prováveis fatores controladores em nível populacional envolvem interações interespecíficas, vetores biológicos, controles fisiológicos, genética da população, microtopografia e microclimatologia.

Figura 3: Zona de transição hipotética, refletindo o padrão de mosaico na escala de biomas. Verificam-se as mudanças no padrão de manchas, que são relativamente grandes na área central de cada bioma para pequenas manchas no ecótono.



Fonte: Gosz, 1993.

Figura 4: Exemplo de manchas do mosaico de campo e floresta na escala de paisagem. São Luiz do Purunã (Balsa Nova, PR)



Fonte: foto Força Verde, 2010.

Figura 5: Limite fisionômico (e florístico) num ecótono entre comunidades. Vegetação ripária numa formação campestre higrófila em São Luiz do Purunã (Balsa Nova, PR).



Foto: R.S. Moro, 2012.

Figura 6: Mesmo ecótono da figura anterior, em microescala: população de esfagno em São Luiz do Purunã (Balsa Nova, PR).



Foto: R.S. Moro, 2012.

O conceito de resolução tem sido aplicado frequentemente, e erroneamente, a escala espacial do ecótono, referindo-se especialmente a nível de microescala. A diferença mais evidente entre os dois modos de examinar o ecótono é demonstrada por intermédio da sua área total. Segundo Kolasa e Zalewski (1995), a duplicação da área do ecótono numa escala maior (macro) implica uma quadruplicação na área total do ecótono numa escala inferior (micro) - isto é esperado para projeções geográficas, que são quadráticas. Com respeito a resolução, no entanto, esta significa apenas quantos *pixels* de uma imagem são discerníveis com um dado instrumento selecionado - a alteração da resolução não altera as dimensões do ecótono.

Em nível de ecótono, uma importante implicação da escala é sua relação com a diversidade de espécies. Seguramente, os índices de diversidade apresentam valores mais elevados quando o ecótono é estudado em microescala ecológica (Fig. 7), e a escala deve ser escolhida de acordo com a questão a ser respondida pela pesquisa (KOLASA; ZALEWSKI, 1995; WU; QI, 2000; LIMA; MORO, 2015).

Sendo de interesse central nas pesquisas em paisagens (RISSER, 1995), ecologia da paisagem e ecologia de comunidades (CLEMENTS, 1905; KUPFER; MALANSON, 1993), algumas características dos ecótonos os tornam importantes para investigar os processos de dinâmica da paisagem, como: a) são considerados potenciais indicadores de respostas a mudanças climáticas; b) reguladores de fluxos (espécies, matéria e energia) nos ambientes (MALANSON, 1997), constituindo 'filtros' ou 'barreiras' para materiais e espécies entre comunidades contíguas (WIENS; CRAWFORD; GOSZ, 1985; MAGURA et al., 2017).

ECÓTONOS, BORDAS E FRONTEIRAS

Apesar da maioria dos autores definirem de forma semelhante um ecótono, algumas conceituações são dúbias, abrindo margem para diferentes interpretações e possibilitando que áreas diferentes sejam tratadas igualmente como ecótonos.

Leopold (1933) incluiu na conceituação de ecótono o efeito de borda, ao caracterizar o ecótono por uma quantidade de indivíduos e espécies maior do que nos ecossistemas adjacentes. Da mesma forma, Coulson e Tchakerian (2011) afirmam que ecótono é um conceito mais inclusivo do que borda, uma vez que abrange todo o gradiente de transição entre dois ecossistemas. Exemplificam que um campo e uma floresta estão separados por uma linha (borda, *edge*) e a área sob efeito desta borda, para dentro do campo e para dentro da floresta, por exemplo, constitui o ecótono.

Nesse sentido, Tricart (1979) apresentou considerável contribuição ao se referir à distinção entre os conceitos de paisagem e ecossistema, apontando que, embora ambos fossem analisados a partir da visão sistêmica, o primeiro é passível de espacialização, portanto, cartografável, enquanto que o segundo, não possuindo dimensão definida, reflete principalmente a estrutura lógica existente entre os seus elementos. Assim, a associação metodológica entre as análises vertical (ecossistema) e a horizontal (paisagem) possibilitou o desenvolvimento no campo da ecologia de paisagem tanto da abordagem geográfica como, mais tarde, da abordagem ecológica (METZGER, 2001).

Para Odum e Barrett (2008), Hardt et al. (2013) e Coulson e Tchakerian (2011), as fronteiras antrópicas poderiam ser consideradas ecótonos, levando a uma larga definição do termo. Esta abordagem ecológica, baseada em análises de pequena escala se contrapõem à abordagem ao nível de paisagem, discutida por Forman e Moore (1992). A análise da paisagem permite uma visão mais ampla, em macroescala, integrando e convergindo diferentes conceitos de ambiente. Forman e Moore (1992) propuseram preceitos que incluiriam os limites antrópicos em teorias gerais de limites (fronteiras), classificando ainda a estrutura e função das fronteiras em vários grupos.

Para Cadenasso e Pickett (2000), uma vez que bordas são definidas como limites entre tipos distintos de ambientes (habitat/não habitat ou fragmento natural/matriz antrópica), sua identificação depende de como os fragmentos são definidos dentro da paisagem. A definição de fragmento pode ocorrer em uma ampla noção de escala, variando desde a escala local até continental.

Alguns autores, desavisados das profundas implicações apontadas por Tricart, consideram o conceito de ecótono sinônimo ao de borda, inclusive Coulson e Tchakerian (2011), enquanto outros refutam essa similaridade reafirmando que ecótono é um conceito funcional ecológico e borda um conceito espacial geográfico. É consenso, porém, que as espécies de borda podem ser bastante diferenciadas das espécies de interior de fragmento (FORMAN; GODRON, 1986), devido principalmente às mudanças nas condições ambientais (RIES et al., 2004).

Hardt et al. (2013) acompanham parte dos autores que consideram as bordas naturais dos ecossistemas como sinônimos de ecótonos, reservando o termo “bordas

antrópicas” para aqueles originados da intervenção humana. Em bordas naturais, as comunidades adjacentes possuem seu conjunto característico de espécies acrescido daquelas pertencentes à outra comunidade, existindo, portanto, uma sobreposição de espécies que buscam condições e recursos em uma situação de equilíbrio (GATES; GYSEL, 1978). Por outro lado, bordas antrópicas estabelecem influências negativas adjacentes, que afetam a densidade e a composição das comunidades animais e vegetais que podem levar a alterações na riqueza, diversidade, abundância, mortalidade, dinâmica sucessional, densidade populacional, entre outros tipos de desequilíbrios (MAGURA, LÖVEI; TÓTHMÉRÉSZ, 2017).

A borda em si, refere-se a uma área, um conceito geográfico, uma zona de contato entre dois ambientes, já o efeito de borda, refere-se às perturbações que esta área sofre por ser a faixa de transição entre o fragmento e a matriz. Como salienta Murcia (1995), entende-se por efeito de borda o resultado das interações entre dois ambientes adjacentes separados por uma transição abrupta, onde processos de mudanças bióticas e abióticas nas margens dos fragmentos levam as áreas marginais da floresta a uma condição diferente do habitat interior. Quanto maior o contraste entre fragmento e matriz, maior o efeito de borda.

Segundo Rodrigues (1998), existem duas premissas referentes ao efeito de borda. A primeira é que a largura da faixa de borda não é fixa podendo variar com os aspectos considerados, e a segunda é a monotonicidade de efeito - quanto mais distante da borda, menores os efeitos da borda em virtude da redução da radiação solar e outros fatores.

O efeito de borda em fragmentos florestais envolve diferentes aspectos e mecanismos biológicos, principalmente a iluminação, mas também a orientação da borda de fragmentos de floresta, a umidade, a densidade e composição de indivíduos (RODRIGUES, 1998; RIES et al., 2004). Para áreas abertas, campestres ou savanícolas, bem como bordas antrópicas devido à agricultura, há uma complexidade maior e dados contraditórios acerca das variáveis envolvidas (MAGURA et al., 2017; GONZÁLEZ et al., 2016; MACFADYEN; MULLER, 2013; LIMA-RIBEIRO, 2008). Portanto a amplitude de borda de um fragmento depende de inúmeros fatores, sendo difícil o consenso sobre uma medida padrão para cada ecossistema. Os trabalhos de efeito de borda avaliam uma variedade de indicadores, mas em geral, todos buscam a escolha de indicadores que expressem uma extensão.

Outro fator importante para a manutenção da biodiversidade em ambientes fragmentados é a forma dos fragmentos, que está diretamente ligado ao efeito de borda. Aqueles mais circulares possuem uma razão borda-área minimizada e, portanto, o centro da área está equidistante das bordas, reduzindo a interferência externa. Áreas de perímetro mais recortado possuem maior proporção de bordas e, portanto, mais interferência externa, o que reduz a área efetiva do fragmento utilizada por determinada espécie. Por estas razões, áreas maiores e menos recortadas seriam menos suscetíveis a perturbações externas (KAPOS, 1989).

Fronteiras (*frontiers, boundaries, border zone*) são zonas de transição ou contato entre manchas na paisagem que funcionam como filtros de resistência e retenção de matéria,

energia e informação. Seu conhecimento é importante na compreensão das interações ecológicas (tipo, sentido e magnitude) e dos processos que determinam o funcionamento da paisagem. Apesar das pesquisas destacarem o papel essencial das fronteiras no entendimento da paisagem, muitas vezes são desconsideradas ou seus resultados possuem o inconveniente de serem dependentes do tamanho amostral (HARDT et al., 2013). A análise de fronteiras é cartográfica – exige a criação de zonas de contato (geralmente *buffers* hipotéticos de um metro) nos limites de cada classe de uso. Nessa abordagem, os mosaicos são definidos como um conjunto de manchas com padrões típicos de fronteiras (ex. campo-floresta, campo-agricultura-via, ...) e, conseqüentemente, de interações ecológicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conceituação dos termos ecótono e borda levam à confrontação entre as diferentes definições adotadas ao longo de décadas. Desde Clements, o primeiro propositor do termo ecótono, o conceito vem somando adições, algumas parciais, outras contraditórias, acarretando uma multiplicidade de significados.

Com relação ao termo ecótono, há um consenso em referir-se ao mesmo como uma zona de transição entre ‘ecossistemas’ diferentes, escala dependente. O conceito de borda, que surgiu paralelamente ao de ecótono, gerava mais ambigüidade quando os estudos estavam voltados a microescalas. Posteriormente, com análises tomando a paisagem como objeto de estudo, o conceito de borda estabeleceu-se como a delimitação espacial da variação de parâmetros entre ‘ambientes’ diferentes a partir de uma linha limite. A fronteira, entendida como a linha que coincide com a borda, é um artefato que permite uma série de inferências quantitativas acerca das relações geométricas entre áreas adjacentes.

Bordas, ecótonos e fronteiras não são, portanto, sinônimos, e sim aspectos diversos da representação da realidade (Fig. 7). Ecótono é um conceito funcional ecológico e borda um conceito espacial geográfico. Um ecótono pode ser estudado unicamente por suas qualidades intrínsecas, enquanto bordas e fronteiras só tem sentido se estudadas em função de suas qualidades extrínsecas. Ou seja, pela variação entre elementos adjacentes, pelos fluxos existentes, ou não, de energia ou matéria, pelo efeito do afastamento espacial gradual a partir de um limite.

Figura 7: Exemplo de diferenciação entre borda, ecótono e fronteira. Cachoeira da Mariquinha (Ponta Grossa, PR).



Foto: E. Milan, 2013.

A escala, portanto, é um aspecto determinante na definição dos termos, sendo **ecótono** um conceito funcional ecológico multi-escalar, **borda** um conceito espacial geográfico de meso a micro-escala, e **fronteira** um conceito cartográfico independente da escala, mas sujeito a resolução de análise. Entretanto, todos se relacionam ao contato entre diferentes sistemas ecológicos.

AGRADECIMENTOS

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa concedida à mestrandia Elisana Milan dentro do Projeto *Biodiversidade dos campos e dos ecótonos campo-floresta no sul do Brasil: bases ecológicas para sua conservação e uso sustentável*, do Edital MCT/CNPq/MEC/CAPES/FNDCT – Ação Transversal/FAPs Nº 47/2010 – Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade - SISBIOTA BRASIL.

REFERÊNCIAS

- BARELLA, W. Ecótono água, terra e mar do sul de São Paulo. In: HENRY, R. (Org.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: RiMa, 2003. p. 161-176.
- CADENASSO, M.L.; PICKETT, T.A. Linking Forest Edge Structure to Edge Function: Mediation of Herbivore Damage. *Journal of Ecology*, v.88, p. 31-44, 2000.
- CLEMENTS, F.E. **Research methods in Ecology**. Nebraska: University Publishing Co., 1905. 512p.
- COULSON, R.N.; TCHAKERIAN, M.D. **Basic Landscape Ecology**. Kel Partners, 2011. 300p.

- DAUBENMIRE, R.F. **Plant communities: a textbook of Plant Synecology**. New York: Harper and Row, 1968. 300p.
- FORERO-MEDINA, G.; VIEIRA, M.V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. **Oecologia Brasiliensis**, v.11, n.4, p.493-502, 2007.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. John Wiley, New York, 1986. 619p.
- FORMAN, R.T.T.; MOORE, P.N. Theoretical foundations for understanding boundaries in landscape mosaics. In: HANSEN, A.J.; CASTRI, F. (Eds). **Landscape boundaries: consequences for biotic diversity and ecological flows**. New York: Springer-Verlag, 1992. 452p.
- FREITAS, C.E.C. Ecótonos e heterogeneidade espacial: o uso de artefatos e sua importância para a comunidade de peixes. In: HENRY, R. (Org.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: RiMa, 2003. p. 279-291.
- GATES, J.E.; GYSEL, L.W. Avian nest dispersion and fledging success in field forest ecotones. **Ecology**, v.59, n.5, p.871-883, 1978.
- GONZÁLEZ, E; SALVO, A.; DEFAGÓ, M.T.; VALLADARES, G. A Moveable Feast: Insects Moving at the Forest-Crop Interface Are Affected by Crop Phenology and the Amount of Forest in the Landscape. **PLoS ONE**, v.11, n.7, e0158836, July 2016.
- GOPAL, B. The role of ecotones (transition zones) in the conservation and management of tropical inland waters. **Mitt. Internat. Verein. Limnol.**, v. 24, p. 17-25, 1994.
- GOSZ, J.R. Ecotone hierarchies. **Ecological Applications**, v. 3, n. 3, p. 369-376, 1993.
- GRIMM, E.C. Chronology and dynamics of vegetation change in the prairie-woodland region of southern Minnesota. **New Phytologist**, v. 93, p. 311-350, 1983.
- HARDT, E.; PEREIRA-SILVA, E.F.L.; SANTOS, R.F. dos; TAMASHIRO, J.Y.; RAGAZZI, S.; LINS, D.B. da S. The influence of natural and anthropogenic landscapes on edge effects. **Landscape and Urban Planning**, v.120, p. 59-69, Dec. 2013.
- HENRY, R. Os ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos: conceitos, tipos, processos e importância. Estudo de aplicação em lagoas marginais ao rio Paranapanema na zona de sua desembocadura na represa de Jurumim. In: HENRY, R. (Org.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: RiMa, 2003. p. 1-28.
- HOLLAND, M.M. SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries: report of a SCOPE/MAB workshop on ecotones. **Biology International**, v. 17, p. 47-106, 1988.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de vegetação do Brasil**. Brasília, 2004. Disponível em: <www.ibge.gov.br/mapas> Acesso em: 20 jun. 2015.
- KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v.2, n.5, p.173-185, 1989.
- KOLASA, J.; ZALEWSKI, M. Notes on ecotone attributes and functions. **Hydrobiologia**, v. 303, p. 1-7, 1995.
- KUPFER, J.A.; MALANSON, G.E. Observed and modeled directional change in riparian forest composition at a cut-bank edge. **Landscape Ecology**, v. 8, p.185-199, 1993.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 424p.
- LIMA, C.N.; MORO, R.S. Escalas na Ecologia da Paisagem. **Terr@ Plural**, Ponta Grossa, v.9, n.1, p. 68-83, jan./jun. 2015.
- LIMA-RIBEIRO, M. de S. Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil. **Acta bot. bras.**, v. 22, n. 2, p. 535-545, 2008.
- LEOPOLD, A. **Game Management**. New York: Charles Scribner's Sons, 1933.

- LORD, J.M.; NORTON, D.A. Scale and the spatial concept of fragmentation. **Conservation Biology**, v.4, p.197-202, 1990.
- MACFADYEN, S.; MULLER, W. Edges in Agricultural Landscapes: Species Interactions and Movement of Natural Enemies. **PLoS ONE**, v.8, n.3, e59659, March. 2013.
- MAGURA, T.; LÖVEI, G.L.; TÓTHMÉRÉSZ, B. Edge responses are different in edges under natural versus anthropogenic influence: a meta-analysis using ground beetles. **Ecology and Evolution**, v.00, p. 1-9, 2017.
- MALANSON, G.P. Effects of feedbacks and seed rain on ecotone patterns. **Landscape Ecology**, v. 12, n. 1, p. 27-38, 1997.
- METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. ½, p. 1-9, dez. 2001. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br>>. Acesso em: 17 out. 2015.
- METZGER, J.P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JR.L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PÁDUA, C. (Ed) **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba: Ed. UFPR, 2003. p.423-538.
- MÜLLER, S.C.; OVERBECK, G.E.; BLANCO, C.C.; OLIVEIRA, J.M. DE; PILLAR, V.D. South Brazilian Forest-Grassland Ecotones: Dynamics Affected by Climate, Disturbance and Woody Species Traits. In: MYSTER R.W. (Ed.). **Ecotones between Forest and Grassland**. New York: Springer, 2012. Cap. 7. P.167-188. 324p.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. **Tree**, v. 10, n. 2, p.58-62, 1995.
- NAIMAN, R.J.; DÉCAMPS, H. **The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones**. Park Ridge: Parthenon Publishing Group, 1990.
- NEIFF, J.J. Planícies de inundação são ecótonos? In: HENRY, R. (Org.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: RiMa, 2003. p. 29-45.
- ODUM, E.P. **Fundamentals of Ecology**. Philadelphia: W.B. Saunders, 3.ed. 1971.
- ODUM, E.P.; BARRETT, G.W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 612p.
- RIES, L.; FLETCHER, R.J.; BATTIN, J; SIS, T.D. Ecological Responses to Habitat Edges: Mechanisms, Models, and Variability Explained. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.35, p. 491-522, 2004.
- RISSER, E.G. The status of the science examining ecotones. **BioScience**, v. 45, p. 318-325, 1995.
- RODRIGUES, E. Efeito de borda em fragmentos de floresta. **Cadernos de Biodiversidade**, v.1, n.2, p.1-5, 1998.
- SHUGART, H.H. Ecological models and the ecotone. In: NAIMAN, R.J.; DÉCAMPS, H. (Eds.). **The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones**. UNESCO/ Parthenon Publishing Group, 1997. p. 23-36.
- TRICART, J. Paysage et ecologie. **Rev. Geomorph. Dynam.**, Paris, v. 28, n. 1, p. 81-95, 1979.
- URBAN, D.L.; O'NEILL, R.V.; SHUGART, H.H. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists to understand spatial patterns. **BioScience**, v.37, n.2, p.119-127, 1987.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE: Rio de Janeiro, 1991. Disponível em: <biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/.../classificacaovegetal.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- WARD, J.V.; TOCKNER, K.; SCHIEMER, F. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 15, p. 125-139, 1999.
- WIENS, J.A.; CRAWFORD, C.S.; GOSZ, J.R. Boundary dynamics: a conceptual framework for studying landscape ecosystems. **Oikos**, v. 45, p. 421-427, 1985.
- WU, J.; QI, Y. Dealing with scale in landscape analysis: An overview. **Geographic Information Sciences**, v.6, n. 1, p.1-5, 2000.