

ESCALA EM ECOLOGIA DA PAISAGEM

João Paulo Almeida Fernandes

2.2.1 INTRODUÇÃO: O QUE SE DEVE ENTENDER POR ESCALA

O conceito de escala é muito comum e de importância crucial em múltiplas ciências, tecnologias e domínios de atividade (CASH *et al.*, 2006). Contudo, apesar de ser usado quotidianamente, torna-se difícil uma definição com um mínimo de abrangência. Por exemplo, o Dicionário da Língua Portuguesa Contemporânea da Academia das Ciências de Lisboa (2001, s/p), não apresenta uma definição de escala, mas sim 16 das quais a única relevante no nosso contexto é a seguinte: “*Proporção entre a medida de um desenho, carta, planta [...] e as dimensões reais do objecto desenhado*”.

Em ecologia da paisagem, também não existe uma definição ou entendimento unificado, sendo, contudo, a mais comum aquela em que “*escala se refere às dimensões espaciais e temporais de um objeto ou processo*” (TURNER *et al.*, 2001, p. 27). Schneider (2001) procurou elencar as principais definições de escala relevantes em ecologia e ecologia da paisagem:

- escalas de medida: distinguem variáveis numa escala nominal ou quantificável e neste segundo caso entre escalas ordinais, de intervalos e de rácios;
- escala cartográfica: é o rácio entre a dimensão numa carta, planta ou modelo e dimensão no terreno ou do objeto representado;
- escala refere-se à dimensão relativa do grão de uma variável indexado no tempo e no espaço (e.g. resolução, dimensão do pixel).

De acordo com Wu e Qi (2000, p. 1), escala, em ecologia da paisagem, “refere-se primariamente ao grão (ou resolução) e extensão no espaço e/ou no tempo” e “pode ser absoluta (medida em unidades espaciais ou temporais) ou relativa (expressa como rácio)”. De acordo com os mesmos autores,

[...] a escala pode decorrer do instrumento de medida, do observador ou da dimensão da sua janela de visualização, pode ser uma característica espacial ou temporal de um padrão ou processo ecológico ou um instrumento fundamental no quadro do qual diversos fenómenos ecológicos podem ser estudados com eficácia e compreendidos individual e coletivamente. (WU; QI, 2000, p. 1)

A utilização desse conceito tem vindo a assumir uma importância crescente nas ciências biológicas e ecológicas, em ecologia da paisagem e na forma como se utilizam os processos e procedimentos de medida ou detecção no quadro geral dessas ciências importando ter bem consolidados os principais termos que estão associados ao conceito (Tabela 1).

A importância deste conceito decorre do facto de que a escala a que consideramos uma realidade afeta diretamente o que observamos (WIENS, 1999). Por exemplo, de acordo com Schneider (2001), problemas relevantes em ecologia manifestam-se à escala de décadas e de ecossistemas de grandes dimensões, noutros casos, muitas variáveis só podem ser medidas em curtos períodos de tempo e em áreas reduzidas. Por outro lado, padrões identificados a escalas pouco detalhadas não são necessariamente válidos ou significativos a escalas detalhadas, assim como a situação inversa.

Por todos esses motivos é da maior importância a compreensão das questões de escala em ecologia da paisagem, como o demonstram a diversidade de trabalhos de investigação não só sobre a sua relevância e forma de manifestação (*e.g.*, HIGGINS *et al.*, 2012; CHAVE, 2013), como sobre as implicações de transformações escalares (*e.g.*, WIENS, 1989; WU; LI, 2006; CUSHMAN *et al.*, 2010; TURNER; GARDNER, 2015).

Tabela 1 – Definições de termos chave relacionados com o conceito de escala

<i>Termo</i>	<i>Definição</i>
Escala	Dimensões espaciais, temporais, quantitativas ou analíticas usadas para medir ou estudar um fenómeno. Dimensão espacial de um objeto ou processo, caracterizada simultaneamente pelo grão (resolução e extensão).
Extensão	Tamanho das dimensões de escala espacial, temporal, quantitativa ou analítica.
Resolução	Precisão utilizada na medição, que corresponde ao menor nível de resolução (por ex. unidade de medida) ou exatidão possível de utilizar num determinado conjunto de dados ou num dado contexto de análise.

<i>Termo</i>	<i>Definição</i>
Hierarquia	Sistema ligado conceptual ou causalmente para o agrupamento de objetos ou processos ao longo de uma escala analítica. Sistema de interligações ou de organização em que os níveis superiores condicionam e controlam de modo variável os níveis inferiores em função dos condicionamentos temporais do comportamento ou funcionamento do objeto ou processo.
Hierarquia inclusiva	Grupos de objetos ou processos ordenados em níveis hierárquicos inferiores estão contidos em (ou constituem) subdivisões de grupos classificados em níveis hierárquicos mais elevados.
Hierarquia exclusiva	Grupos de objetos ou processos ordenados em níveis hierárquicos inferiores não estão contidos em (ou constituem) subdivisões de grupos classificados em níveis hierárquicos mais elevados.
Hierarquia constituinte	Grupos de objetos ou processos estão combinados em novas unidades que se combinam em novas unidades com as suas funções e propriedades emergentes próprias.
Níveis	As unidades de análise localizadas na mesma posição de uma escala. Muitas escalas conceptuais contêm níveis ordenados hierarquicamente, mas nem todos os níveis estão ligados uns aos outros constituindo um sistema hierárquico.
Escala absoluta	A distância, tempo ou quantidade medida num instrumento de medida objetivamente calibrado.
Escala relativa	Uma transformação de uma escala absoluta para uma outra que descreve as relações funcionais de um objeto ou processo com um outro (por exemplo, a distância relativa entre duas localidades baseada no tempo requerido por um organismo para se movimentar entre elas).

Fonte: adaptado de Gibson *et al.* (2000, p. 218) e Turner *et al.* (2001)

2.2.2 ESCALA, DIMENSÕES, PADRÕES E PROCESSOS: CONTEXTOS

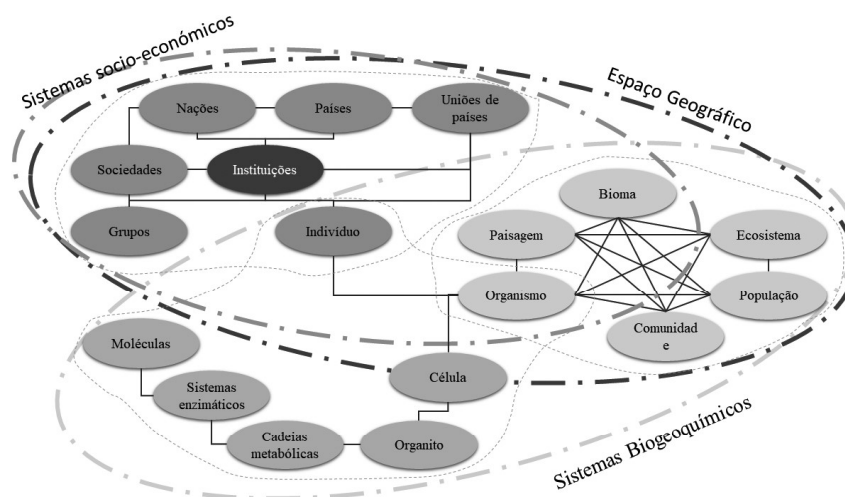
Condensando a importância dos fatores escalares em ecologia da paisagem, importa sempre regressar ao texto seminal de Levin (1992, p. 943):

Argumenta-se que o problema do padrão e da escala é um problema central em ecologia, unificando a biologia das populações e a ciência dos ecossistemas, casando a ecologia básica com a aplicada. Desafios aplicados como a predição das causas e consequências ecológicas de alterações climáticas globais requerem a interligação de fenómenos que ocorrem em

escalas espaciais, temporais e de organização ecológica muito diferentes. Além disso, não existe uma única escala natural a que se possam referir e estudar os fenómenos ecológicos; os sistemas apresentam normalmente uma variabilidade característica numa ampla gama de escalas espaciais, temporais e organizacionais. Isto tem um significado evolucionário fundamental, já que todos os organismos são um “observador” do ambiente, e a história das adaptações evolutivas como a dispersão e a dormência, alteram as escalas percecionadas das espécies e a variabilidade observada. Da mesma forma tem uma significância fundamental para o nosso estudo dos sistemas ecológicos, já que os padrões que são únicos a cada gama de escalas terão causas e consequências biológicas únicas.

Este texto antecipa a atual visão da natureza da escala em que importa não ter apenas em consideração os clássicos aspectos da extensão e da resolução (grão), ou do grau e natureza da precisão e expressão dos níveis escalares. É igualmente relevante considerar que cada observador tem perspetivas escalares distintas, da mesma forma que cada objeto se enquadra em diferentes níveis e escalas, conforme os padrões e processos que estejam em consideração. Essas diferentes perspetivas decorrem do facto de cada objeto em ecologia da paisagem ter de ser perspetivado de acordo com as diferentes dimensões e sistemas que nele se congregam (Figura 1).

Figura 1 – Sistemas, agentes e inter-relações determinantes de qualquer objeto, processo ou fenómeno ocorrente num sistema paisagístico



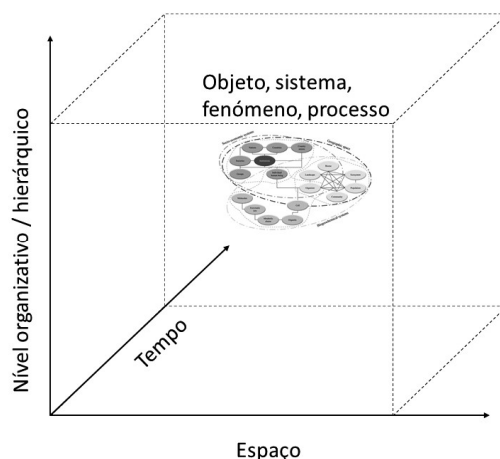
Fonte: Fernandes e Guiomar (2016)

A consciência desta realidade insere-se no designado “novo paradigma da ecologia” (PICKETT *et al.*, 1992, p. 71) que enfatiza a dinâmica e interação progressiva e regressiva dos processos ecológicos, abandonando a concepção clássica de escalas de maturidade evolutiva e de sucessão linear para estados com grau crescente de estabilidade:

[...] pode ser denominado, por conveniência o “paradigma do desequilíbrio (ou do não equilíbrio)”. [...] O paradigma do desequilíbrio sugere algumas ideias importantes acerca dos sistemas naturais. Em primeiro lugar, aceita que os sistemas naturais são abertos, ou seja, têm de ser colocados no contexto da sua envolvente, da qual podem fluir organismos e materiais. [...] Chegadas inesperadas de carácter único ou periódico são especialmente importantes, devido à sua influência potencial na estrutura e funcionalidade dos sistemas. A regulação pode ser determinada de modo completamente exterior ao sistema. O paradigma do desequilíbrio enfatiza o processo em vez do ponto final [...]. Por exemplo, de acordo com o ponto de vista do conceito de sucessão de Clements, o clímax era considerado como essencialmente uma causa final aristotélica. [...] Agora, contudo, a preocupação é o modo como os sistemas se comportam realmente, ou seja, como a sua estrutura e trajetória são determinados. [...] Os aspetos do paradigma contemporâneo podem ser resumidos metaforicamente. A metáfora científica é “dinâmica de manchas” ou “manchas cambiantes”.

Compreende-se assim a relação estreita existente entre os conceitos de escala, padrão e processos em ecologia da paisagem, já que o reconhecimento e caracterização dos últimos dependem da natureza da primeira. Por outro lado, O'Neill *et al.* (1986), bem como Allen e Hoekstra (1992), enfatizaram que os processos ecológicos devem ser considerados numa perspectiva hierárquica, uma vez que a sua natureza e funcionalidade se materializam em diferentes dimensões, níveis de organização e formas de expressão escalar. Na prática, materializam uma nova dimensão na consideração do que se entende por escala (Figura 2).

Figura 2 – Dimensões de escala



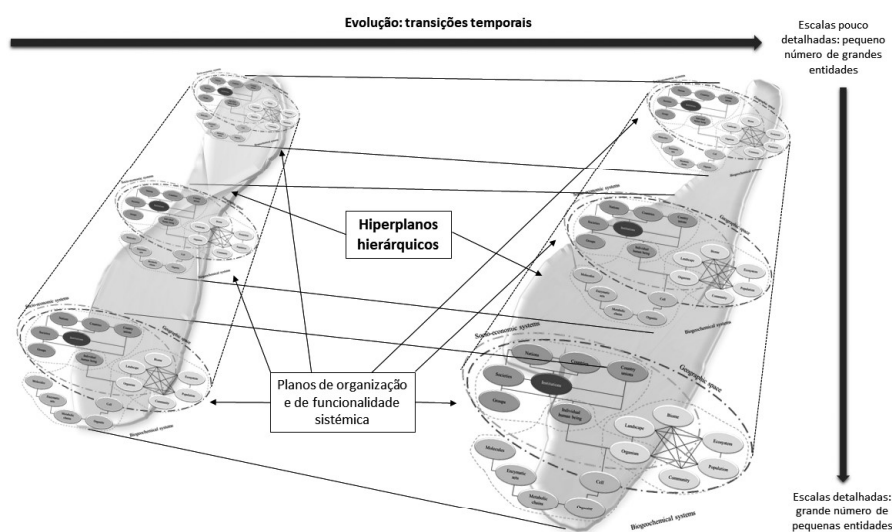
Fonte: adaptado de Dungan *et al.* (2002)

Essa perspectiva hierárquica de consideração da realidade é essencial para a compreensão dos padrões e processos em ecologia da paisagem ao evidenciar que estes se organizam de acordo com um sistema de interligações ou de organização em que os níveis superiores condicionam e controlam de modo variável os níveis inferiores em função dos condicionamentos temporais do comportamento ou funcionamento do objeto ou processo (TURNER *et al.*, 2001). Os mesmos autores vão ainda mais longe constatando a necessidade de ajustar o modo de consideração da realidade não apenas à tradicional perspectiva inclusiva em que só existem níveis sucessivos, mas que considera igualmente a existência de níveis hierárquicos que se interpenetram: por exemplo, o sistema digestivo dos ruminantes pode ser considerado um ecossistema (um nível hierárquico elevado) enquanto o ruminante propriamente dito é, por sua vez, um constituinte básico de outro ecossistema (um nível hierárquico baixo). Essa perspectiva é acentuada quando consideramos as diferentes dimensões e planos de consideração da realidade e dos seus atores assim como a sua evolução temporal (Figura 3).

Contudo a abordagem hierárquica coloca problemas práticos de grande complexidade relacionados com o problema das transições de escala, já que se manifestando os padrões e processos não apenas em níveis funcionais independentes, mas também em hiperplanos atravessando e interligando esses diferentes níveis, torna-se fundamental desenvolver abordagem adequadas de conciliação de escalas dimensionais ou temporais distintas num

mesmo contexto de consideração e análise (e.g., CASTRI; HADLEY, 1988; EWERT *et al.*, 2011; TURNER; GARDNER, 2015).

Figura 3 – Escalas funcionais e sua variação ao longo do tempo integrando os distintos atores ecológicos tal como propostos por Allen e Hoekstra (1992), económicos e individuais, assim como as suas interações, sejam elas diretas ou entre níveis hierárquicos, correspondendo cada realidade a distintos hiperplanos de hierarquia mais inclusiva ou exclusiva, conforme cada contexto e perspectiva de análise



Fonte: Modificado de Fernandes e Guiomar (2016)

2.2.3 COMPREENDER A ESCALA EM ECOLOGIA DA PAISAGEM

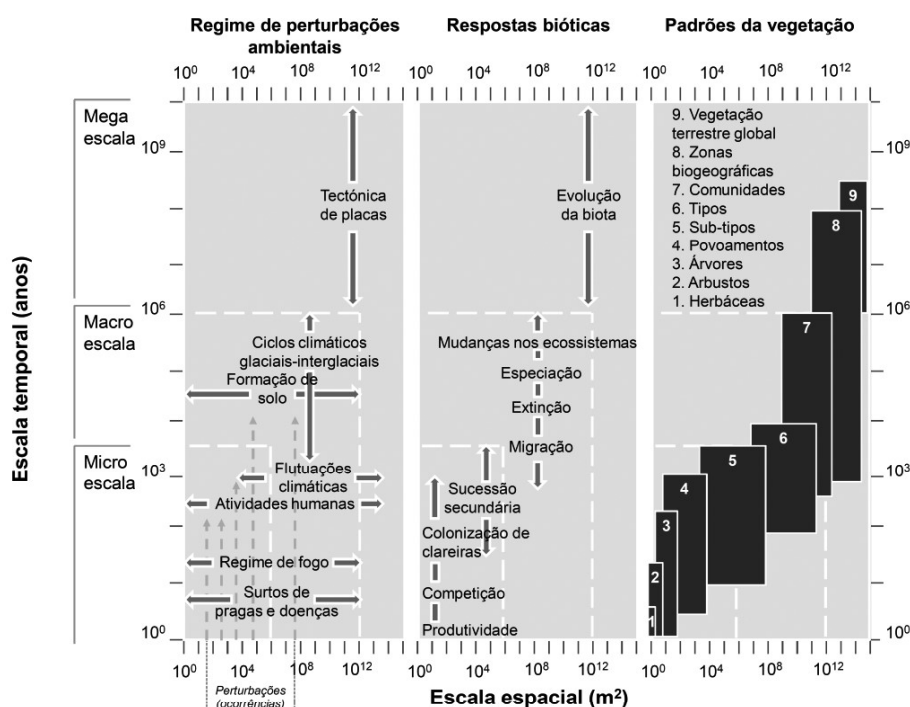
Quando se fala de escala, está-se essencialmente a falar de uma hierarquia de conceitos (WU; LI, 2006): dimensões, tipologias e componentes. O primeiro nível hierárquico (Figura 3) distingue diferentes dimensões escalares: espacial, temporal e organizacional (hierarquias). Cada uma destas dimensões assume relevância particular na determinação das características e funcionalidades da paisagem e dos seus constituintes.

De facto, quando consideramos qualquer objeto, processo ou fenómeno num dado contexto de análise, temos sempre de o contextualizar de acordo com as três dimensões escalares que determinam a sua posição conceptual.

Por um lado, a dimensão espaciotemporal constitui um conceito perfeitamente assumido em termos de localização dimensional de qualquer objeto

ou processo. De acordo com Wu e Li (2006), para uma grande variedade de fenômenos (físicos, ecológicos, socioeconômicos), acontecimentos ou entidades de grandes dimensões tendem a apresentar taxas de variação lentas e frequências de ocorrência reduzidas, assim como efeitos mais marcantes, enquanto pequenos objetos ou entidades são mais rápidos e frequentes. Esta regra não é obviamente universal, mas a relação espaciotemporal da maior parte dos fenômenos ecológicos e dos principais processos naturais está bem estabelecida (e.g., TURNER *et al.*, 2001; CASH *et al.*, 2006; FORMAN, 2014), não só em termos das formas de manifestação dos padrões de ocorrências das diferentes tipologias hierárquicas da vegetação, como dos processos biológicos sejam eles em termos de interações inter ou intraespecíficas até a dimensão dos processos evolutivos, como ainda das perturbações e grandes processos de transformação das condições ambientais desde um fogo ou um deslizamento de terreno até à tectónica de placas (Figura 4).

Figura 4 – Exemplos de relações espaciotemporais de diferentes entidades, processos e perturbações



Fonte: adaptado de Turner *et al.* (2001)

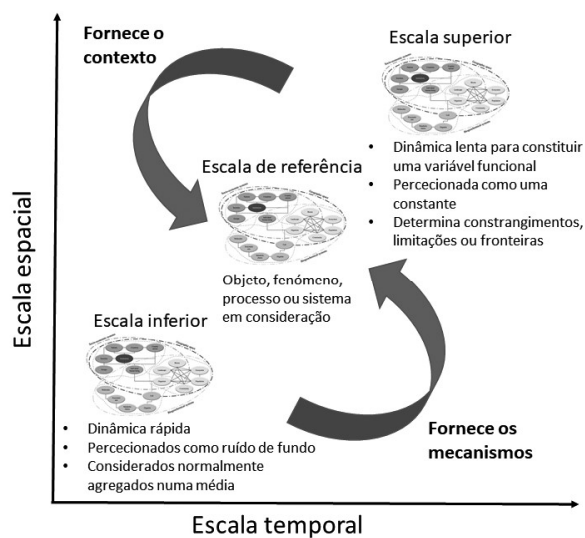
Mesmo de um ponto de vista exclusivo, a consideração de diferentes dimensões temporais retrata realidades distintas e evidencia a relevância de distintos fatores, como por exemplo processos geológicos no muito longo prazo e interações tróficas no curto prazo. Já no que se refere à dimensão espacial pode-se comparar os fatores relevantes para a diferenciação de biomas à escala da Terra (disponibilidade em água e temperatura de acordo com Holdrige (1947) com os que determinam a composição das comunidades vegetais ao nível local (*e.g.*, nutrientes, radiação, água, características físicas do solo).

Outra perspectiva relevante que importa abordar quando nos referimos à dimensão espaciotemporal, é a da consideração de um determinado ecossistema como essencialmente uniforme. A realidade que constatamos ao detalharmos a dimensão de observação e aumentarmos a escala temporal, é a de que a aparente uniformidade, corresponde antes a um mosaico dinâmico em permanente mutação e evolução, dentro do quadro geral das características sucessionais daquele ecossistema concreto (conceito de ciclo-mosaico; REMMERT, 1991) sendo portanto a heterogeneidade a regra, como o novo paradigma aliás evidencia.

Já a dimensão relativa aos níveis organizacionais é da maior importância na compreensão de qualquer realidade, já que ao considerar níveis de organização hierarquicamente sucessivos, verificamos como já referido, que o nível inferior confere funcionalidade ao nível superior, enquanto este confere coerência ao nível inferior (O'NEILL *et al.*, 1986) (Figura 5). Esta relação é sempre válida, seja em contextos hierárquicos inclusivos como exclusivos.

Os hiperplanos funcionais representados na Figura 3 obedecem a essa regra geral já que, como Allen e Hoekstra (1992) mostraram, a realidade, nos seus diferentes componentes, não se materializa necessariamente em planos escalares idênticos para cada um desses componentes, mas antes corresponde a combinações específicas de distintos níveis escalares de cada um desses componentes. Daí falar-se em hiperplanos para representar um nível hierárquico específico de uma dada função, processo ou entidade em Ecologia da Paisagem.

Figura 5 – Escalas e relações hierárquicas funcionais

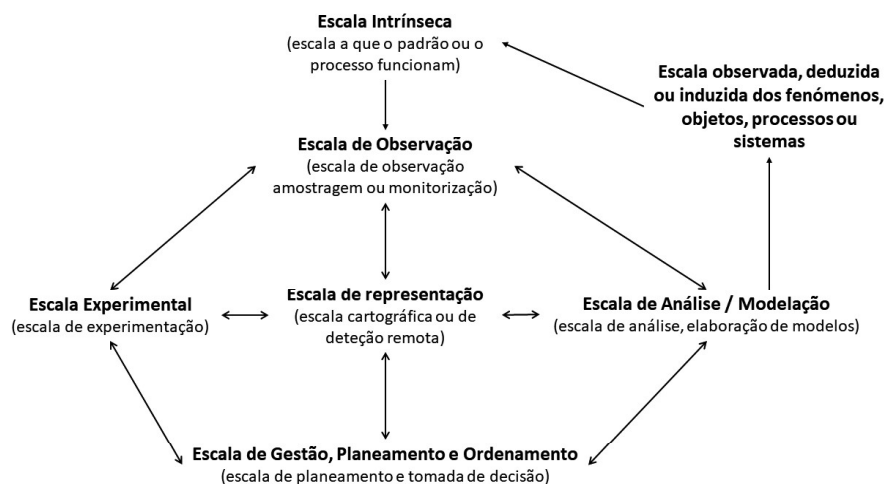


Fonte: o autor

2.2.4 A PERCEÇÃO DA ESCALA

Ao considerar as tipologias de escala (Figura 6), verificamos que a perspetiva como é considerada uma dada entidade implica a diferenciação de diferentes tipos de escalas sejam elas meramente conceptuais, instrumentais ou funcionais, mas que na prática exprimem sempre uma perspetiva perceptual. Esta perspetiva está relacionada com o universo formal ou conceptual de cada análise, a natureza do objeto, o carácter e capacidade do observador, assim como a sua grelha de percepção (semântica linguística da tipologia de escala, do instrumento de caracterização, de representação e de comunicação).

Figura 6 – Tipos de escala



Fonte: Adaptado de Wu e Li (2006)

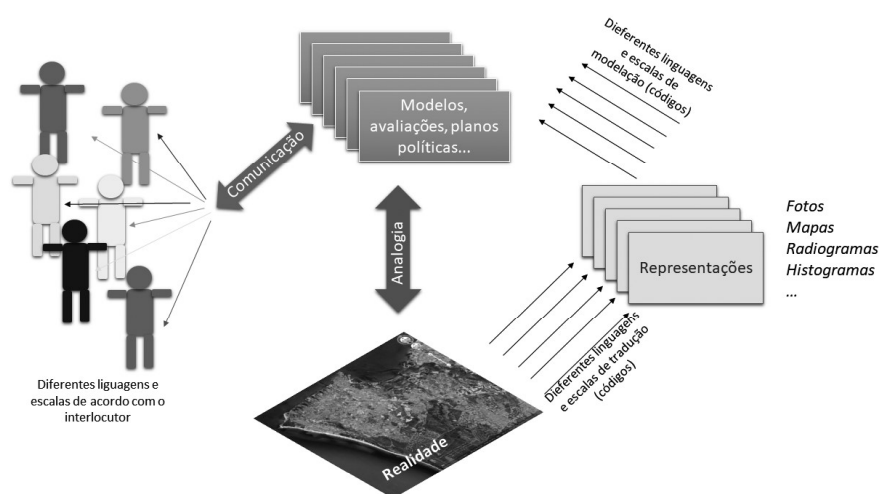
É exatamente nesse quadro que temos de distinguir as diferentes tipologias de escala perceptual. Essas escalas assumem uma grande relevância já que se podem manifestar segundo diferentes pontos de vista: os do observador que tem uma dimensão espacial e temporal própria e a do objeto, ou ator que se percebe o seu ambiente segundo fatores escalares distintos onde a importância relativa dos objetos varia de acordo com múltiplos fatores espaciais, temporais ou de nível organizativo (*e.g.*, Scherzinger (1976) no que se refere a escalas funcionais e Hostetler e Holling (2000) no que se refere a escalas de consideração segundo planos hierárquicos distintos) (Caixa 1).

Caixa 1

- Grelha semântica: cada tipologia de escala, cada forma de linguagem, cada modo de representação e comunicação possuem uma semântica própria necessariamente limitada na sua capacidade de expressão da realidade, pelo que, qualquer forma de representação corresponde sempre a uma simplificação de natureza intrínseca e constitutiva da forma de expressão selecionada.
- Paradigmas: influência dos paradigmas dominantes sobre os mecanismos e escalas de observação – do mesmo modo, mas de uma forma menos constitutiva e mais contextual ou mesmo preconceituosa (LONGINO, 1990), a prevalência de uma dada perspectiva paradigmática tende a determinar a consideração mais ou menos exclusiva ou a não consideração de certas dimensões espaciotemporais ou mesmo de tipologias de organização, por ser mesmo incapaz de reconhecer a sua existência ou não lhes conferir relevância.
- Janela de sensibilidade (por exemplo sensibilidade visual, auditiva, do aparelho de deteção, tempo de observação, carácter da observação (por exemplo sinóptica, centrada no objeto, centrada na dinâmica, centrada no contexto), resolução do observador (microscópica, macroscópica dentro da sua escala temporal e dimensional próprias etc.). Exemplo da importância desta tipologia concreta são os estudos climatológicos que, de acordo com a janela de sensibilidade selecionada para cada estudo, dão origem a diferentes tipos de informação com distinto carácter escalar: observações sinópticas durante períodos de trinta anos – caracterização do clima da área de amostragem; registo contínuo de variáveis específicas gerando séries de tempo e, após o adequado tratamento matemático, gerando dados estatísticos sobre períodos de recorrência, frequências, tendência de variação, oscilações de curto e longo prazo etc.; registo direcionado em condições meteorológicas extremas específicas e em localizações particulares – caracterização microclimatológica local. Outro exemplo relevante é a seleção das bandas de deteção nos instrumentos de deteção remota que podem revelar ou não, diferentes características específicas do objeto registado.

- Sistemas de referência escalar: tipologia de escalas de medição/classificação (nominais, ordinais, cardinais ou de rácios). Cada um destes sistemas de classificação corresponde não só a diferentes conteúdos informativos como a distintas capacidades de processamento matemático dos dados representados.
- Sistemas de referência não escalar: linguagens e códigos de expressão ou representação, critérios de modelação, escalas de representação e consideração (Figura 7). Cada observador/receptor/processador da informação transmite-a e processa-a de distintas formas gerando leituras por vezes profundamente distintas de uma mesma realidade.

Figura 7 – Diversidade de representações, modelações e modos de comunicação da realidade em função de sistemas de referência escalares ou não escalares (linguagens e paradigmas)



Fonte: o autor

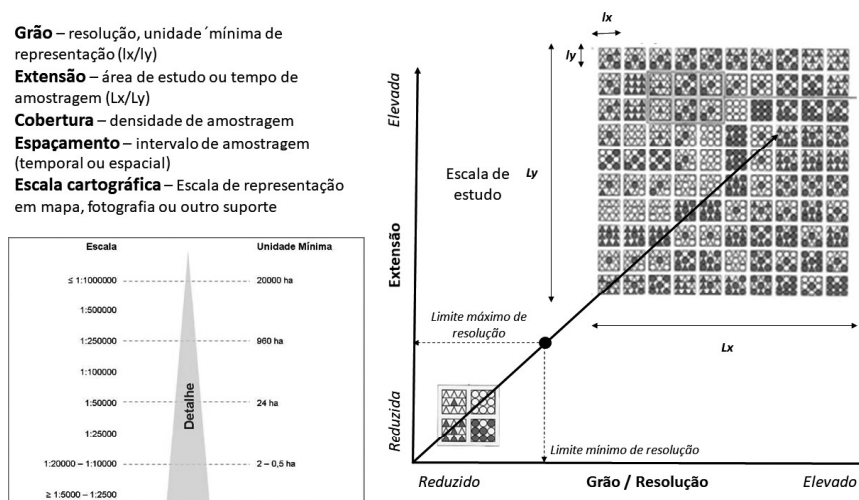
- Carácter estatístico: a escala de validade de um modelo estatístico é essencial na determinação da realidade das suas previsões ou da sua mera pertença ao intervalo de erro do modelo e da amostra e logo sem significância em termos do fenómeno ou processo em estudo.

- Perceção conforme o enquadramento escalar (importância diversa dos objetos determinantes do comportamento e atividade) – diferentes entidades relevantes no contexto espacial de observação conforme a dimensão escalar de observação, quer em animais (e.g., BUREL *et al.*, 1992; HOSTETLER; HOLLING, 2000), quer em seres humanos (diferentes perceções de matriz, manchas ou corredores conforme a escala espaciotemporal de consideração).

Finalmente, no que se refere à hierarquia de conceitos de escala proposta por Wu e Li (2006), temos os componentes da escala (Figura 8):

- grão ou resolução: menor dimensão da unidade de medida aplicada ou grau de precisão do instrumento de medida (por exemplo em termos de imagem digital corresponde à dimensão de um pixel);
- extensão: universo espacial dos dados considerados, definido como o tamanho do território em estudo;
- cobertura: densidade de amostragem;
- espaçamento: intervalo espacial e/ou temporal de amostragem;
- escala cartográfica ou de representação.

Figura 8 – Componentes de escala e fatores de detalhe decorrentes



Fonte: adaptado de Kuechler e Zonneveld (1988); Bierkens *et al.* (2002); Di Gregorio e Jansen (2005); Wu e Li (2006); Guiomar *et al.* (2009)

A resolução (maior ou menor precisão) e a extensão estão inversamente relacionados entre si, havendo uma tendência geral a que haja um aumento da dimensão do grão (logo uma redução da precisão) quando há um aumento da extensão. Eles determinam os limites superiores e inferiores da precisão dos dados, não sendo possível determinar padrões mais reduzidos do que o grão ou nem maiores do que a extensão. Neste quadro, a quantidade ou a qualidade da informação disponível tendem a aumentar com a redução do grão (maior precisão devida à maior resolução do sensor), já que esta permite a consideração de um maior número de descritores e uma maior diferenciação dos padrões de ocorrência desses descritores. Do ponto de vista de um organismo, o grão e a extensão são definidos pela capacidade perceptiva do organismo. Este último aspecto é muito relevante em estudos de Ecologia da Paisagem, já que relativiza a leitura de uma mesma paisagem, conforme o organismo que se está a ter em consideração e mesmo o seu contexto espacial (e.g., HOSTETLER; HOLLING, 2000), influenciando a compreensão dos padrões e processos ecológicos a ele associados.

Esses aspectos assumem relevância ao nível da ecologia da paisagem, no sentido da existência de um número muito significativo de fenômenos e processos que se manifestam noutros comprimentos de onda que não os da luz visível (por exemplo padrões térmicos, presença ou *deficit* de certos micronutrientes na vegetação etc.) ou do espectro audível dos seres humanos. Eles têm vindo a demonstrar-se de grande relevância em inúmeros domínios de caracterização quer estritamente ecológica, quer de ecologia humana, quer ainda de fatores estruturais e funcionais da paisagem. Um exemplo é a “paisagem sonora” que constitui um universo próprio de cada espécie, não se podendo considerar como homogénea, mas criando, pelo contrário, universos perceptuais e funcionais distintos (PIJANOWSKI *et al.*, 2011).

Já o aspetos de cobertura, intervalo/espacamento de amostragem e escala cartográfica ou de representação são tudo expressões da tipologia de precisão (grão), quando aplicado a outros tipos de amostragem que não a representação da totalidade da superfície através de uma grelha contínua (caso das sondagens de perfis de solos ou de amostragens de água em rios, lagos ou estuários). A sua importância assume, portanto, a mesma natureza das referidas para o grão e a extensão.

2.2.5 IMPORTÂNCIA DA ESCALA E DAS QUESTÕES ESCALARES EM ECOLOGIA DA PAISAGEM

A influência da escala hierárquica é, portanto, de importância basililar em ecologia da paisagem, não só ao determinar o nível de precisão da informação (e o conteúdo e natureza informativa potencial), como também o nível do seu significado em termos dinâmicos e de processo, particularmente no que se refere ao nível de resolução geográfico e ambiental (LESER; KLINK, 1988). Turner (1989) e particularmente Meentemeyer e Box (1987) identificaram um conjunto de princípios sobre a forma como os diferentes modos em que a escala hierárquica a que a informação é referida determina a capacidade de identificar e caracterizar diferentes características e processos ambientais (Caixa 2).

Caixa 2

- Um aumento da área de estudo tende a aumentar o intervalo de valores de uma variável da paisagem;
- Na modelação de grandes áreas de estudo são necessárias poucas variáveis; inversamente, pequenas áreas de estudo podem ter mais efeitos externos, requerendo, portanto, mais variáveis de caracterização;
- Quando menor a área de estudo, maior o potencial de manipulação experimental;
- Grandes fenómenos têm períodos de relaxamento mais longos;
- A dinâmica observada a escalas detalhadas determina o equilíbrio observado a escalas mais amplas: os níveis elevados definem o contexto, os níveis inferiores os mecanismos (O'NEILL *et al.*, 1986);
- Decaimento com a distância: tudo está relacionado com tudo o resto, mas as coisas próximas estão mais relacionadas do que as coisas distantes (autocorrelação espacial);
- Maior organização determina um maior potencial para o fluxo de informação;

- O detalhe aparente perde-se com o aumento da área (em função do grau de diferenciação topológica), tamanhos reduzidos implicam uma redução de algumas interações e, portanto, de algumas propriedades funcionais;
- A densidade de manchas e uma escala apropriada de análise estão inversamente relacionadas;
- Áreas de densa diversidade do mosaico têm de ser analisadas a escalas relativamente detalhadas do que o resto da paisagem em estudo;
- O que é heterogêneo a uma dimensão escalar pode ser homogêneo noutra;
- Os fatores determinantes do padrão da paisagem variam com a escala de consideração: a escalas detalhadas podem ser os padrões de uso do solo e a escalas mais amplas os aspetos hidromorfológicos.

Os padrões espaciais e os processos ecológicos apresentam, para cada escala e contexto, uma coerência espaciotemporal própria (como ilustrado na Figura 2), expressa em padrões particulares de organização e funcionalidade. Estes padrões dependem novamente de fatores escalares, não só de aspectos dimensionais (resolução e extensão) como de aspetos perceptuais (por exemplo janelas de percepção e grelhas semânticas). Eles afetam questões variando desde a sensibilidade (por ex. larguras de banda, temporalidade da amostragem, compatibilidade de escalas das distintas variáveis) até à percepção de contextos e fatores de funções e estruturas dinâmicas (por exemplo corredores e fluxos dinâmicos, reguladores dos fluxos ou determinantes dos fluxos).

Com efeito, como já referido, diferentes tempos de percepção determinam diferentes visões da realidade (num filme, um conjunto de imagens paradas é percebido como uma representação em movimento dado que a “janela” (nível mínimo de precisão) de sensibilidade dos nossos olhos é de 1/25 de segundo, pelo que passando mais do que 25 imagens estáticas por segundo cria-se a ilusão de movimento). O mesmo “erro” acontece conforme se consideram dimensões espaciais distintas:

- resolução: número de pixels de uma imagem digital;
- extensão: diferente relevância de diferentes objetos ou sistemas;
- sensibilidade: Capacidade de detecção do fenómeno, objeto, processo ou sistema;

- natureza do sensor: permite determinar inúmeras características (nutricionais, hídricas etc.) utilizando os sensores adequado;
- janela do espectro: em termos de espectros sensitivos dos seres vivos e dos instrumentos de deteção remota.

Outra questão relevante tem a ver com os fatores escalares conforme se estão a considerar (na mesma janela temporal) objetos estáticos ou objetos dinâmicos. Por exemplo, a vegetação ou os solos têm uma expressão espacial bem definida geográfica e hierarquicamente. Já as comunidades animais apresentam limites muito mais fluidos e padrões muito mais aleatórios (no sentido do número e importância relativa dos fatores que os determinam em cada momento). Isto implica considerações espaciotemporais distintas na abordagem das duas realidades, considerações que implicam, exatamente a necessidade de uma abordagem hierárquica multivariada e muitas vezes pluriescalar.

2.2.6 TRANSIÇÕES ESCALARES

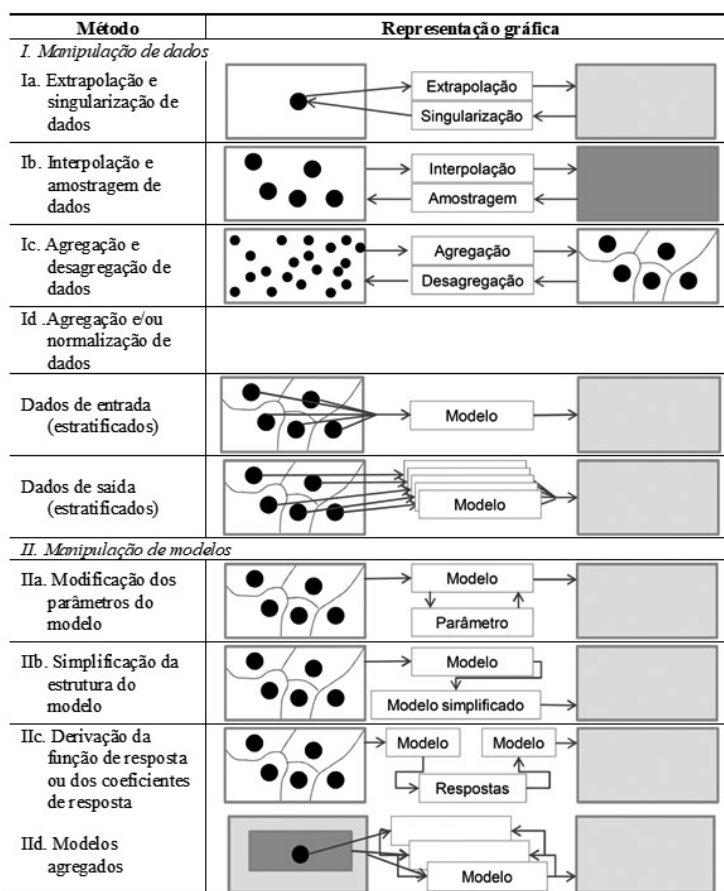
Uma questão-chave na consideração dos processos e padrões de uma paisagem é a consciência de que cada plano escalar tem uma heterogeneidade espacial e funcional característica e distinta, o mesmo acontecendo com cada hiperplano de consideração estrutural e funcional e só pode ser plenamente compreendida quando considerada numa perspectiva hierárquica interescalar. Esta análise interescalar, coloca questões e problemas próprios, particularmente em termos dos processos metodológicos de transição entre escalas.

Esta questão da transição escalar (*scaling*) assume uma grande importância já que, permanentemente, em estudos de Ecologia da Paisagem, se colocam questões de generalização ou desagregação de dados (ao modelar, por exemplo, distintas folhas de uso agrícola com os sistemas de pastoreio que as utilizam mais ou menos indiscriminadamente, mas se materializam numa escala dimensional mais ampla). Podemos falar de transformações ascendentes de escala em que se realiza a translação de informação de escalas detalhadas para escalas menos detalhadas implicando a necessidade de instrumentos e critérios de agregação e generalização. Já as transformações descendentes correspondem à translação de níveis hierárquicos de escala elevada para níveis de escala mais detalhada implicando mecanismos de desagregação.

A título de mero exemplo, nestas transformações podem estar envolvidos procedimentos de interpolação ou de amostragem, sendo também comum

recorrer a modelos ou procedimentos qualitativos (objetivos ou indutivos) e torná-los quantitativos por generalização de dados pontuais. Um exemplo destes modelos espaciais qualitativos é a metodologia de hierarquização qualitativa do risco de geada (UHLIG, 1954) que pode ser “quantificado” por extrapolação das classes qualitativas a partir de valores quantitativos de estações situadas em diferentes manchas com distintos valores de risco.

Figura 9 – Classificação de métodos de transição escalar. A área símbolo corresponde a uma região com observação(ões) pontual(is) nessa região simbolizados por ponto(s) que são transferidos para a totalidade da região em função do método utilizado (setas). Sub-regiões (por ex. Ic) indicam agregação espacial de dados



Fonte: adaptado de Ewert *et al.* (2011)

Exemplos como esse evidenciam os fatores de erro a que estes processos de transição escalar estão sujeitos, quer se baseiem em manipulação de dados, quer de manipulação de modelos. Por esse motivo, nestes processos é imperativo uma clara indicação dos pressupostos e condições de transição escalar, de modo a poder aferir as possíveis dimensões de erro envolvidas.

Esses processos de transição de escala por diferentes modos de extrapolação, generalização, agregação ou indução dedutiva, são essenciais para a predição e compreensão dos processos e sistemas ecológicos (LEVIN, 1992). Isso decorre da que a capacidade de caracterização é sempre espacial, temporal, hierárquica ou funcionalmente limitada, pelo que há sempre necessidade de transformar dados com uma dada natureza escalar em dados com outra natureza (diferente grão, extensão, expressão espacial, temporal ou organizacional). Estes processos podem ser realizados de múltiplas formas como Ewert *et al.* (2011) ilustram de forma sistemática (Figura 9).

2.2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese,

[...] a Ecologia da Paisagem está focalizada nas causas e efeitos da heterogeneidade e muito menos com as gamas específicas de escalas espaciais. Contudo, a medida em que a heterogeneidade se expressa depende da escala. A questão básica sobre escala em ecologia consiste em determinar se um dado fenómeno ocorre ou atua numa gama ampla de escalas ou se está limitado a uma gama muito restrita. Por esse motivo, a busca de variações de escala e a identificação das escalas apropriadas para os diferentes fenómenos ecológicos é crítica (PICKETT; CADENASSO, 1995, p. 333).

É, pois, nesse quadro que tem de ser compreendida a importância da consideração escalar como essencial na medição e estudo de qualquer fenómeno o que envolve as seguintes complexidades analíticas (HIGGINS *et al.*, 2012, p. 140):

- *Padrões e processos podem ser organizados de acordo com a sua “escala operacional”. Consequentemente é importante assegurar uma concordância apropriada entre os temas e questões em investigação e a escala de análise quando se desenvolve o conceito e metodologia de uma investigação, para evitar falácias ou equívocos ecológicos.*

- *Os processos podem operar simultaneamente em múltiplas escalas. Consequentemente, tem de se prestar atenção à sua distinção operacional a escalas específicas e ao mecanismo que define as suas modificações de um nível de resolução para outro.*
- *Qualquer processo sujeito a uma escala pode intersectar outros processos operando numa outra escala qualquer o que pode resultar em mudanças complexas.*

É exatamente o facto de a heterogeneidade e a funcionalidade ecológica da paisagem se manifestarem desta forma heterogénica, de elevada multiplicidade e essencialmente não linear, que determina que o estudo da ecologia da paisagem tem de dar a devida importância às questões escalares já que elas são a única forma de compreender os padrões e fatores de organização e funcionamento de cada elemento e complexo paisagístico.

REFERÊNCIAS

- ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA. *Dicionário da língua portuguesa contemporânea*. Lisboa: Editorial Verbo, 2001.
- ALLEN, T. F.; HOEKSTRA, T. W. *Toward a unified ecology*. New York: Columbia University Press, 1992.
- BIERKENS, M.; FINKE, P.; de WILLIGEN, P. *Upscaling and downscaling methods for environmental research*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000.
- BUREL, F.; BAUDRY, J.; CLARGEAU, O.; CONSTANT, P.; EYBERT, M. C. Approche spatiale des phénomènes écologiques: échelles et hiérarchie. *Bulletin d'Ecologie*, v. 23, n. 1-2, p. 93-101, 1992.
- CASH, D.; ADGER, W. N.; BERKES, F.; GARDEN, P.; LEBEL, L.; OLSSON, P.; PRITCHARD, L.; YOUNG, O. Scale and cross-scale dynamics: governance and information in a multilevel world. *Ecology and Society*, v. 11, n. 2, p. 8, 2006.
- CASTRI, F.; HADLEY, M. Enhancing the credibility of ecology: interacting along and across hierarchical scales. *GeoJournal*, v. 17, n. 1, p. 5-35, 1988.
- CHAVE, J. The problem of pattern and scale in ecology: what have we learned in 20 years? *Ecology Letters*, v. 16, s. 1, p. 4-16, 2013.
- CUSHMAN, S. A.; LITTELL, J.; MCGARIGAL, K. The problem of ecological scaling in spatially complex, nonequilibrium ecological systems. *In*: CUSHMAN, S. A.;

HUETTMANN, F. (org.). *Spatial complexity, informatics, and wildlife conservation*, New York: Springer, 2010. p. 43-63.

DI GREGORIO, A.; JANSEN, L. J. M. *Land cover classification system: classification concepts and user manual – Software version 2*. Rome: FAO, 2005.

DUNGAN, J. L.; PERRY, J. N.; DALE, M. R. T.; LEGENDRE, P.; CITRON-POUSTY, S.; FORTIN, M. J.; LEGENDRE, P.; MYERS, D. E.; ROSENBERG, M. A balanced view of scale in spatial statistical analysis. *Ecography*, v. 25, p. 626-640, 2002.

EWERT, F.; VAN ITTERSUM, M. K.; HECKELEI, T.; THEROND, O.; BEZLEPKINA, I.; ANDERSEN, E. Scale changes and model linking methods for integrated assessment of agri-environmental systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 142, p. 6-17, 2011.

FERNANDES, J. P.; GUIOMAR, N. Environmental ethics: driving factors beneath behavior, discourse and decision-making. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, v. 29, p. 507-540, 2016.

FORMAN, R. T. T. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge, Island Press, 1995.

GIBSON, C. C.; OSTROM, E.; AHN, T. K. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics*, v. 32, p. 217-239, 2000.

GUIOMAR, N.; BATISTA, T.; FERNANDES, J. P.; CRUZ, C. S. *Corine Land Cover Nível 5 - Contribuição para a carta de uso do solo em Portugal Continental*. Évora: AMDE, 2009.

HIGGINS, S.; MAHON, M.; MCDONAGH, J. Interdisciplinary interpretations and applications of the concept of scale in landscape research. *Journal of Environmental Management*, v. 113, p. 137-145, 2012.

HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, v. 105, p. 367-368, 1947

HOSTETLER, M.; HOLLING, C. S. Detecting the scales at which birds respond to structure in urban landscapes. *Urban Ecosystems*, v. 4, p. 25-54, 2000.

KIAS, U.; TRACHSLER, H. Methodische Ansätze ökologischer Planung. In: SCHMID, W. A.; JACSMAN, J. (org.). *Ökologische Planung–Umweltökonomie*. Zürich: Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung, 1985. p. 53-77.

KUECHLER, L. J. M.; ZONNEVELD, I. S. *Vegetation mapping*. Handbook of vegetation science. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988.

LESER, H.; KLINK, H.-J. Handbuch und Kartieranleitung geoökologischer Karte 1:25000 (KA GÖK 25). Trier, *Forschungen zur deutschen Landeskunde* BD 228, 1988.

LEVIN, S. A. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, v. 73, n. 6, p. 1943-1967, 1992.

LONGINO, H. E. *Science as social knowledge: values and objectivity in scientific inquiry*. New Jersey: Princeton University Press, 1990.

MEENTEMEYER, V.; BOX, E. Scale effects in landscape studies. In: TURNER, M. G. (org.). *Landscape heterogeneity and disturbance*. New York: Springer, 1987. p. 15-34.

O'NEILL, R.V. *A hierarchical concept of ecosystems*. New Jersey: Princeton University Press, 1986.

PICKETT, S. T.; CADENASSO, M. L. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. *Science*, v. 269, p. 331-334, 1995.

PICKETT, S. T.; PARKER, V. T.; FIEDLER, P. L., The new paradigm in ecology: implications for conservation biology above the species level. In: FIEDLER, P. L.; JAIN, S. K. (org.). *Conservation biology*, New York: Springer, 1992, p. 65-88.

PIJANOWSKI, B. C.; FARINA, A.; GAGE, S. H.; DUMYAHN, S. L.; KRAUSE, B. L. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape Ecology*, v. 26, p. 1213-1232, 2011.

REMMERT, H. The mosaic-cycle concept of ecosystems – an overview. In: REMMERT, H. (org.). *The mosaic-cycle concept of ecosystems*. Berlin-Heidelberg: Springer, 1991. p. 1-21.

SCHERZINGER, W. *Rauhfuß-Hüner*. München: Nationalpark Bayerischer Wald, H. 2, 1976.

SCHNEIDER, D. C. The rise of the concept of scale in ecology: the concept of scale is evolving from verbal expression to quantitative expression. *BioScience*, v. 51, n. 7, p. 545-553, 2001.

TOBLER, W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, v. 46, p. 234-240, 1970.

TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern and process. *Annual Review in Ecology and Systematics*, v. 20, p. 171-197, 1989.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. 2. ed., New York: Springer, 2015.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. *Landscape ecology in theory and practice*. New York: Springer, 2001.

UHLIG, S. Beispiel einer kleinklimatologischen Gelaendeuntersuchung. *Zeitschrift fuer Meteorologie*, v. 8, n. 2-3, p. 66-75, 1954.

WIENS, J. A. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology*, v. 3, n. 4, p. 385-397, 1989.

WIENS, J. A. The science and practice of landscape ecology. In: KLOPATCH, J. M.; GARDNER, R. H. (org.). *Landscape ecological analysis*. New York: Springer, 1999. p. 371-383.

WU, J.; LI, H. Concepts of scale and scaling. In: WU, J.; JONES, K. B.; LI, H.; LOUCKS, O. L. (org.). *Scaling and uncertainty analysis in ecology*, Dordrecht: Springer, 2006. p. 3-15.

WU, J.; QI, Y. Dealing with scale in landscape analysis: an overview. *Geographic Information Sciences*, v. 6, n. 1, p. 1-5, 2000.