



Enap

Monitoramento da biodiversidade: gestão, análise e síntese dos dados

Módulo

6

Noções sobre modelagem ecológica no âmbito do Programa Monitora



Fundação Escola Nacional de Administração Pública

Presidente

Diogo Godinho Ramos Costa

Diretor de Educação Continuada

Paulo Marques

Coordenador-Geral de Educação a Distância

Carlos Eduardo dos Santos

Conteudista/s

Jumara M. Souza (conteudista ICMBio, 2020)

Equipe responsável:

Ana Paula Medeiros Araújo (produção gráfica, 2020)

Bruna W. F. Miranda (CGGP/ICMBio, 2020)

Guilherme Telles (implementação Articulate, 2020)

Juliana Bermudez (revisão textual, 2020)

Kamila S. N. Oliveira (pedagoga ICMBio, 2020)

Lavinia Cavalcanti Martini Teixeira dos Santos (coordenadora, 2020)

Michelli Lopes (implementação Moodle, 2020)

Priscila Campos Pereira (coordenadora, 2020)

Rosana L. S. Siqueira (CGGP/ICMBio, 2020)

Sheila Rodrigues de Freitas (coordenação web, 2020)

Tathiana C. de Souza (coordenadora ComobOMOB/ICMBio, 2020)

Ugo José B. Bezerra (coordenador substituto ComobOMOB/ICMBio, 2020)

Vanessa Mubarak Albim (diagramação, 2020)

Curso produzido em Brasília 2020.

Desenvolvimento do curso realizado no âmbito do acordo de Cooperação Técnica FUB / CDT / Laboratório Latitude e Enap.



**Escola Nacional de
Administração Pública**

Enap, 2020

Enap Escola Nacional de Administração Pública

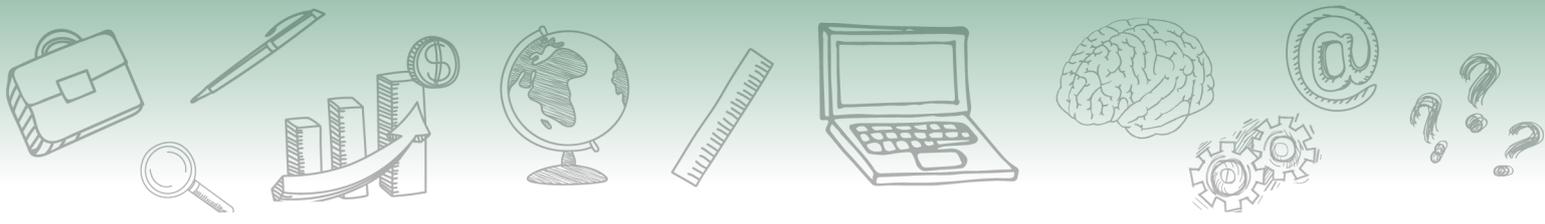
Diretoria de Educação Continuada

SAIS - Área 2-A - 70610-900 — Brasília, DF



Sumário

Unidade 1 - Noções básicas sobre modelagem ecológica	5
1.1 Contextualização	5
1.2 Conceituação de modelo.....	5
1.3 Fases da modelagem	7
1.4 Aplicação de modelos em ecologia	9
Unidade 2 - Noções sobre modelos de distribuição potencial de espécies	10
2.1 Contextualização	10
2.2 Modelo de distribuição potencial.....	11
2.3 Limitações do modelo de distribuição potencial.....	13
2.4 Aplicações de modelos de distribuição potencial no Monitora	13
Unidade 3 - Noções sobre modelagem de ecossistemas com ênfase no programa Ecopath	14
3.1 Contextualização	14
3.2 Programa Ecopath	14
3.3 Limitações de modelos ecossistêmicos	16
Referências.....	17





Módulo

6 Noções sobre modelagem ecológica no âmbito do Programa Monitora

Unidade 1 - Noções básicas sobre modelagem ecológica

Ao final desta unidade, você deverá ser capaz de indicar bases e conceitos sobre a modelagem ecológica.

1.1 Contextualização

A natureza apresenta inúmeros elementos que se relacionam. Além do ser humano, outros seres vivos interagem entre si e com o meio físico, formando sistemas extremamente complexos.

DESTAQUE

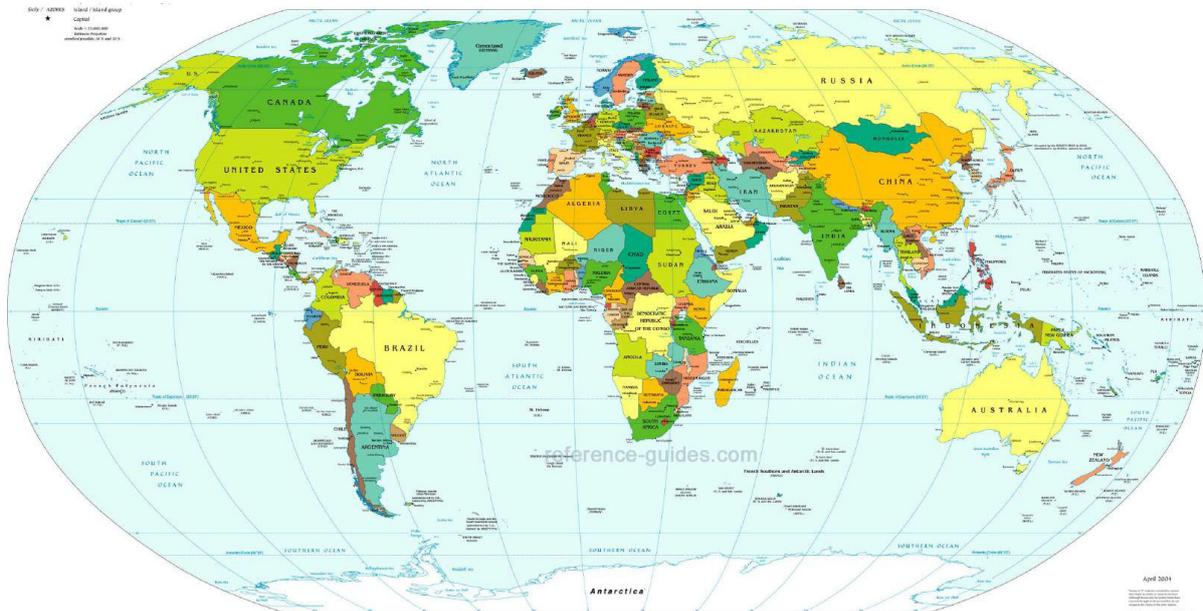
A ecologia é a ciência que estuda as relações nesses sistemas, interessando-se em prever onde os organismos ocorrem, o tamanho das populações, a dinâmica espacial e temporal e os fatores que afetam essas dinâmicas (GOTELLI, 2009).

Por isso, a ecologia e outras ciências fazem uso de modelos que buscam, por meio de abstrações simples, representar os fenômenos complexos desse sistema para, assim, entendê-los.

Nesta unidade, vamos aprender o que são modelos, quais os passos para construí-los e sua importância para o Monitora.

1.2 Conceituação de modelo

Um modelo é uma abstração da realidade, uma forma generalizada de representar algo. Um mapa do mundo, como mostra a figura a seguir, é um modelo do planeta Terra.



Fonte: <https://adesivosdecorativos.wordpress.com/2009/01/09/adesivo-mapa-mundi-com-nome-de-todos-os-paises/>.

Observe que a localização de casas e nomes de ruas não é apresentada, pois tais informações são irrelevantes ao se estudar a localização geográfica dos países e continentes, que é o objetivo desse mapa.

DESTAQUE

Os modelos apresentam as informações essenciais para descrever e entender um fenômeno, objeto ou ideia, de modo a simplificar a sua complexidade, facilitar a sua compreensão e realizar previsões.

Existem diversos tipos de modelos, como mapas, imagens, maquetes, modelos de teste de avião, modelos matemáticos e outros. Nas ciências ambientais, usamos com frequência os modelos matemáticos, equações construídas para descrever um fenômeno ou um sistema específico, explicando ou prevendo seus aspectos.

Na ecologia, esses modelos podem ser usados como ferramentas para auxiliar na compreensão das dinâmicas populacionais e de comunidades, bem como as interações nas teias alimentares, os padrões que regem a distribuição das espécies, os processos evolutivos, entre outros. Tudo isso pode resultar em aplicações teóricas e práticas, como a restauração e a recuperação de áreas degradadas e o impacto de espécies exóticas.

DESTAQUE

Em suma, os modelos auxiliam a validar hipóteses e desenvolver estratégias de manejo e conservação.



Não podemos esquecer que os modelos são representações abstratas do sistema ou fenômeno estudado. Eles assumem determinados pressupostos, uma espécie de regras para simplificar a natureza, e isso pode distanciá-los em maior ou menor grau da realidade. Por isso, devemos ter bastante cuidado nas interpretações.

SAIBA MAIS

Você sabia que estudos teóricos e modelagem são partes complementares em qualquer área de atuação da ciência?

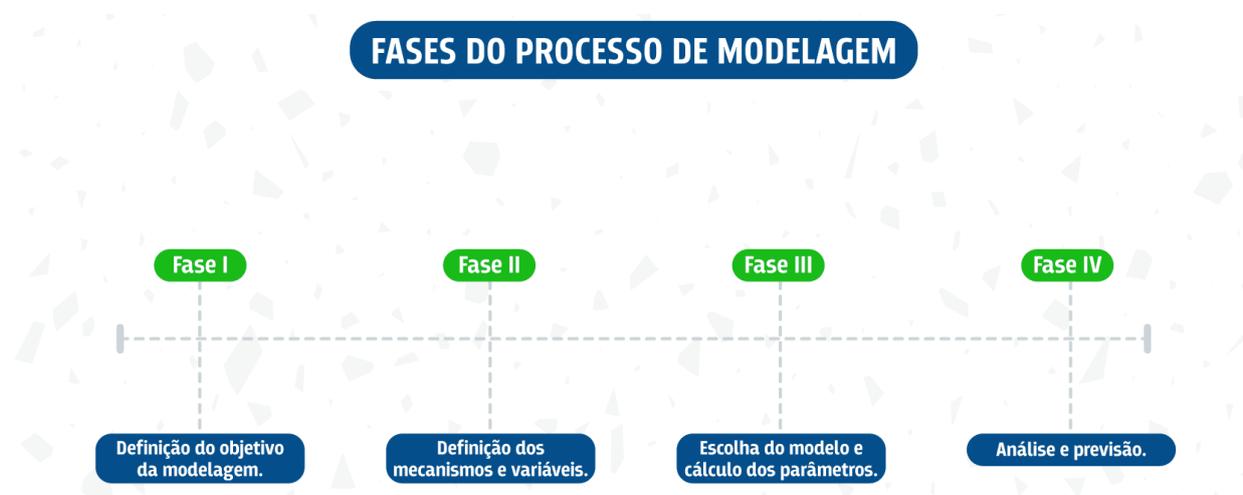
Podemos pensar na abordagem teórica como uma tentativa de descobrir ou derivar os princípios gerais e leis que fundamentam, de maneira simples, o entendimento e unificam a complexidade da natureza. Enquanto a modelagem é encarada como uma abstração do sistema, de modo que permita o estudo de um objeto real.

A interação entre essas abordagens tem o potencial de enriquecer e promover um melhor entendimento das relações estudadas, aumentando a capacidade de solução de problemas e a interação entre diferentes linhas de pesquisa.

1.3 Fases da modelagem

Para criar um modelo, sempre é necessário um entendimento prévio mínimo do sistema que se quer modelar. A partir daí, podemos montar um mapa teórico com as hipóteses de relações de causa e efeito e pensar no tipo de modelo que mais se adequa para responder as perguntas.

O processo de modelagem tem suas particularidades para cada área de estudo ou sistema a ser modelado, porém organizaremos esse processo de forma generalista em quatro fases:





- **Fase I – Definição do objetivo da modelagem.**
Formulamos o objetivo da modelagem, explicitando qual fenômeno ou problema pretende-se estudar.
- **Fase II – Definição dos mecanismos e variáveis.**
Determinamos os componentes básicos do sistema em estudo e as relações existentes entre eles, definimos o que será inserido no modelo e estabelecemos os seus pressupostos.
- **Fase III – Escolha do modelo e cálculo dos parâmetros.**
Formulamos as expressões matemáticas que serão utilizadas no modelo e, a partir de dados da literatura, observação e/ou experimentação, são calculados os parâmetros. Então, analisamos esses parâmetros em relação a sua validade ao sistema proposto (validação).
- **Fase IV – Análise e previsão.**
Aplicamos e utilizamos o modelo para analisar o sistema e prever seu comportamento em diferentes cenários.

Acompanhe o exemplo para entender melhor essas etapas:

- **Fase I e II - Definição do objetivo da modelagem, mecanismos e variáveis**
Imagine que nosso objetivo é saber se a população de Cuniculus paca, a paca, irá crescer ou diminuir ao longo do tempo na UC P. Nesse caso, a população é o sistema a ser estudado e precisamos modelar a sua dinâmica, ou seja, nascimento, morte, reprodução, sobrevivência e crescimento dos indivíduos, que chamaremos de mecanismo. Sabemos que o tamanho da população está relacionado ao número de pacas que morrem e nascem ao longo do tempo, ao número de machos e fêmeas, bem como à sua idade reprodutiva. Essas são algumas informações (variáveis) importantes para o nosso modelo.
- **Fase III – Escolha do modelo e cálculo dos parâmetros**
Existem outros fatores que também podem afetar a população de pacas, por exemplo, a predação e a caça. Observe que a adição de variáveis gera modelos mais complexos e nem sempre são a melhor escolha. Selecionar o modelo mais simples ou mais complexo depende da pergunta, do objetivo ou do problema que queremos responder, dos dados (variáveis) possíveis de obter para a construção do modelo e da capacidade de processamento dessas informações.

Suponha que escolhemos o modelo mais simples, sem predação e caça. Observe que essa ausência é um pressuposto para o nosso modelo. Com isso, utilizando dados da literatura, de observação e/ou experimentação, calculamos os parâmetros do modelo.

Por fim, determinamos o quanto os dados gerados pelo modelo são confiáveis, ou seja, coerentes com os dados empíricos. A validação não testa a teoria ecológica nem atesta sobre a verdade, apenas significa que o modelo é aceitável para o uso.



- **Fase IV – Análise e previsão**

Após analisarmos os dados dentro da estrutura que construímos, estaremos aptos para interpretar e conduzir as previsões dos resultados do modelo.

1.4 Aplicação de modelos em ecologia

Um dos primeiros modelos matemáticos usados nas ciências ambientais foi o de Malthus, que utilizou uma equação diferencial para modelar o crescimento da população. Isso ocorreu no século XVIII e, desde então, muitos modelos matemáticos são usados na ecologia.

Alguns trabalhos utilizam a modelagem para avaliar o impacto do extrativismo nas populações de espécies. Em um trabalho realizado em 2012, as pesquisadoras Isabel Schmidt (Universidade de Brasília) e Tamara Ticktin (Universidade do Havá) acompanharam nove populações de *Syngonanthus nitens* (capim-dourado) no Jalapão, Tocantins, durante três anos para avaliar os efeitos da colheita de suas hastes na dinâmica dessas populações. Os resultados mostraram que o modo tradicional de colheita das hastes, após o dia 20 de setembro, não tem efeitos negativos sobre as populações de capim-dourado, sendo uma prática sustentável.

As modelagens também podem ser realizadas na perspectiva do ecossistema e levar em conta os fluxos de energia entre seus componentes. Temos como exemplo o estudo realizado em 2007 pelo professor Gonzalo Velasco (Universidade Federal do Rio Grande) e colaboradores, no qual buscaram analisar estratégias de exploração de espécies de peixes elasmobrânquios (raias e tubarões). Para isso, modelaram o ecossistema da plataforma continental do Sul do Brasil e encontraram que a estratégia de pesca sustentável (rendimento máximo sustentável) de várias espécies simultaneamente afeta negativamente os elasmobrânquios. Além disso, as análises mostraram que as ações de manejo e conservação desse grupo de peixes devem considerar a redução das frotas pesqueiras que atuam naquela região, uma vez que esses animais são fortemente afetados por elas.

Porém os modelos não estão restritos às plantas ou ao ambiente marinho. Os dados coletados pelo Programa Monitora têm um grande potencial para responder perguntas em diferentes escalas e que podem envolver a combinação com outros conjuntos de variáveis.

DESTAQUE

Assim, além do monitoramento de alerta, os dados também podem ser usados na modelagem para a resolução de questões ecológicas ou subsidiar decisões para conservação da biodiversidade.

Recentemente, no âmbito do Programa Monitora, foi realizada uma modelagem para prever como diferentes cenários de mudanças climáticas globais afetarão a distribuição de espécies de mamíferos, aves e insetos. Para esse estudo, foram usados dados já coletados pelo Monitora e pelo Sistema de Avaliação do Estado de Conservação da Biodiversidade (Salve).



Os resultados apontam as áreas e as espécies que podem ser mais afetadas pelas mudanças climáticas, dados importantes que servirão para auxiliar a tomada de decisões do programa e demais coordenações do ICMBio. O trabalho está disponível nesse link: <https://www.icmbio.gov.br/portal/monitoramento-2016/todos-artigos-monitoramento/10932-efeitos-da-mudanca-do-clima-sobre-a-biodiversidade-fundo-clima>.

SAIBA MAIS

Os dados e as informações referentes ao processo de avaliação do estado de conservação das espécies da fauna são armazenados na plataforma do Salve, por meio do link <https://salve.icmbio.gov.br/salve-consulta/>.

Unidade 2 - Noções sobre modelos de distribuição potencial de espécies

Ao final desta unidade, você deverá ser capaz de distinguir as características e aplicações dos modelos de distribuição potencial de espécies.

2.1 Contextualização

Nessa etapa, iremos conversar sobre o modelo de distribuição potencial de espécies, ferramenta utilizada para prever a distribuição geográfica das espécies. Para entendermos melhor como esse modelo funciona, precisamos conhecer o conceito de nicho ecológico.

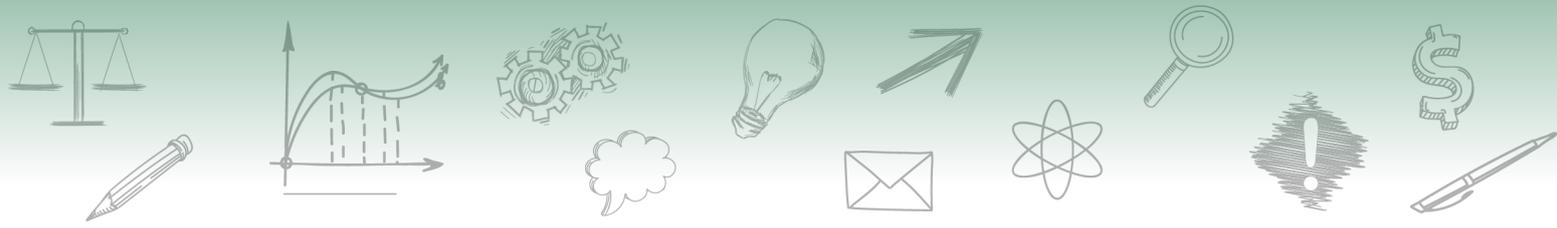
DESTAQUE

O conjunto de condições e recursos ambientais necessários para uma dada espécie ou organismo sobreviver e prosperar é chamado de nicho ecológico. Assim, o nicho de um indivíduo é definido por suas tolerâncias e necessidades.

Por exemplo, cada espécie sobrevive dentro de uma determinada faixa de temperatura, umidade e radiação solar. Fora dela, suas populações tendem a declinar. Da mesma maneira, cada espécie necessita que em seu habitat existam certos recursos, como alimentos, esconderijos e água, em uma quantidade capaz de manter a população estável. É importante lembrar que o nicho ecológico não é um espaço físico, mas uma abstração.

DESTAQUE

O espaço físico em que um organismo vive é chamado de habitat.



De maneira sintética, o raciocínio por trás dos modelos de distribuição potencial é que, conhecendo o nicho de uma espécie, é possível prever os locais onde ela deve ocorrer.

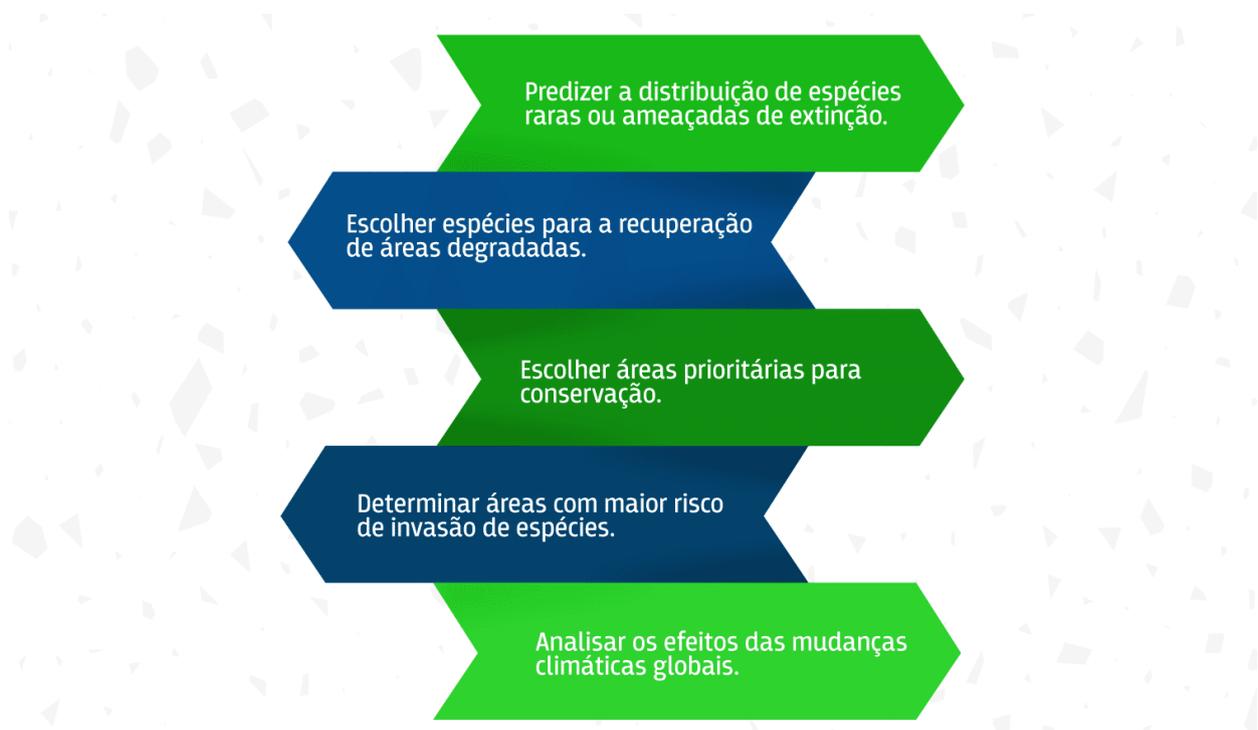
Esses modelos apresentam diversas aplicações, tais como: prever a distribuição de espécies ameaçadas e raras, analisar o efeito de mudanças climáticas sobre a biodiversidade, escolher áreas prioritárias para conservação, monitoramento e outros. Vamos conhecê-los melhor.

2.2 Modelo de distribuição potencial

Os modelos de distribuição potencial são aplicados quando buscamos entender o padrão de distribuição de uma espécie em função do gradiente (variação gradativa) de uma ou mais variáveis ambientais. Resumidamente, estimam a distribuição geográfica de uma determinada espécie, por meio de técnicas de geoprocessamento e dados de variáveis ambientais e dos registros de ocorrência da espécie-alvo.

Imagine que existe uma espécie A que ocorre no ambiente X e encontramos um ambiente Z com as mesmas características de X. Nesse caso, podemos supor que o ambiente Z é potencialmente adequado para a ocorrência da espécie A. Em termos gerais, os modelos de distribuição identificam os ambientes Z, aqueles que têm características semelhantes ao ambiente em que a espécie-alvo ocorre.

Assim, os modelos de distribuição potencial podem ser aplicados para:



Os modelos de distribuição de espécies assumem algumas premissas, por exemplo: as espécies devem habitar todas as zonas ambientalmente adequadas e se ausentar das demais, os dados



de distribuição devem ter uma amostragem aleatória e independente e as espécies devem reter o nicho ecológico sem modificações.

IMPORTANTE

É importante termos atenção a isso quando formos interpretar os resultados, pois as previsões de um modelo dependem dos seus pressupostos.

Existem casos de espécies, por exemplo, que mudaram de nicho quando inseridas em um novo local. Nesse caso, os resultados do modelo podem estar subestimando a distribuição potencial da espécie, já que a modelagem foi baseada em uma distribuição potencial anterior à mudança.

Geralmente, para a elaboração desse tipo de modelo, são utilizados apenas os dados de ocorrência de observações em campo da espécie. Os dados de ausência são raros e nem sempre refletem a ausência real da espécie naquele local. Isso porque essa ausência pode ser resultado de uma amostragem deficiente, baixa detectabilidade do método ou da impossibilidade de dispersão da espécie para o local. Logo, são dados que devem ser utilizados com cautela, já que podem subestimar a ocorrência da espécie.

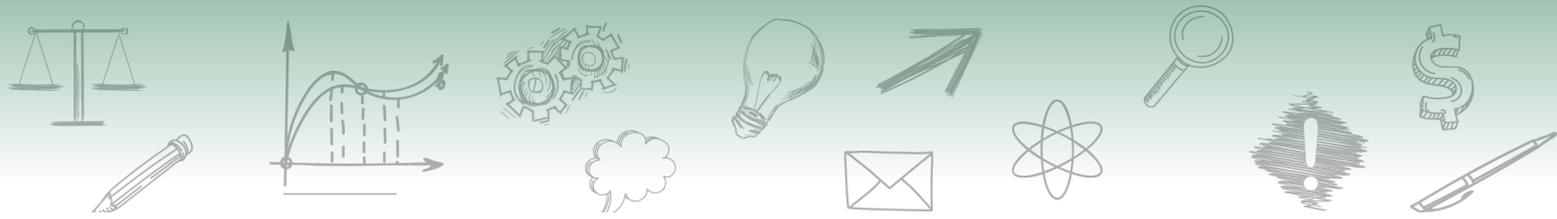
Os dados ambientais utilizados no modelo podem ser dados de imagens cujas localizações contêm o valor da variável que pretendemos utilizar, por exemplo, dados de cobertura vegetal. Também podem ser usados dados climáticos, como temperatura e precipitação, e topográficos, além de dados de classificações categóricas, como área com vegetação e área desmatada, referentes aos tratamentos das informações obtidas pelo Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG).

As três etapas principais para a modelagem de distribuição são:

I. Pré-análise

II. Modelagem

III. Pós-análise



I. Pré-análise

Na pré-análise, é realizada a organização e a limpeza dos dados, excluindo ou tratando ruídos, incertezas amostrais e as autocorrelações.

II. Modelagem

A etapa de modelagem corresponde à escolha e utilização do algoritmo de modelagem. Por exemplo: MaxEnt (Maximum Entropy), GARP (Genetic Algorithm for Rule-Set Production), SVM (Support Vector Machine) e Bioclim (Envelopes Bioclimáticos). A escolha entre esses algoritmos depende do tipo de dado e do uso pretendido.

III. Pós-análise

A etapa de pós-análise consiste na avaliação e validação do modelo. O limite de corte para a distribuição das espécies é estabelecido e as métricas para avaliar o desempenho do modelo, como o AUC (área sobre a curva), são calculadas.

2.3 Limitações do modelo de distribuição potencial

A modelagem de distribuição é diretamente dependente dos dados de ocorrência das espécies. Assim, a qualidade desses dados pode ser uma grande limitação. A ausência de dados de distribuição, por exemplo, pode gerar um modelo pouco acurado.

Além disso, as incoerências nos dados de localização (latitude e longitude) podem gerar modelos imprecisos. Algumas dessas incoerências são:

- Ocorrência de espécie fora dos limites da região esperada. Por exemplo: uma espécie sabidamente endêmica da região amazônica apresentar ocorrência em uma área de caatinga.
- Dados de ocorrência de coletas podem ser imprecisos, como o registro de coordenadas do ponto central de uma cidade e não da coordenada do local de coleta.
- Dados com unidades de medida e/ou resoluções diferentes, os quais devem ser tratados.

Esses são exemplos de casos em que tanto a disponibilidade quanto a acurácia dos dados podem ser problemáticas, comprometendo o modelo.

2.4 Aplicações de modelos de distribuição potencial no Monitora

Conforme abordado, os dados de ocorrência das espécies são coletados pelo Monitora e utilizados para a construção de modelos de distribuição potencial. Por exemplo: a partir da identificação de uma espécie de ave avistada em campo durante a execução do monitoramento do componente Florestal, temos o registro de ocorrência daquela espécie para aquela localidade. Esse registro de ocorrência obtido pelo Monitora pode ser integrado a outros registros, aumentando seu número e qualificando a informação da real ocorrência daquela espécie.



Outra aplicação para os dados de ocorrência obtidos pelo Monitora é subsidiar informações para o processo de avaliação do estado de conservação das espécies da fauna. Esses dados, além de servirem diretamente para o processo de avaliação de espécies ameaçadas, podem ser usados para gerar modelos de distribuição potencial de espécies, a fim de subsidiar as decisões de implantação do Programa Monitora e para os planos de ação de conservação de espécies ameaçadas.

Unidade 3 - Noções sobre modelagem de ecossistemas com ênfase no programa Ecopath

Ao final desta unidade, você deverá ser capaz de descrever as características e a importância dos modelos ecossistêmicos.

3.1 Contextualização

Os modelos denominados ecossistêmicos, como o próprio nome sugere, são aqueles que modelam o ecossistema, ou seja, levam em consideração os fluxos de energia e as relações entre diversas variáveis biológicas e ambientais. Eles são bastante aplicados à pesca, principalmente no âmbito do manejo da pesca baseado em ecossistemas, cujo enfoque se dá nos impactos dessa atividade no sistema em estudo.

DESTAQUE

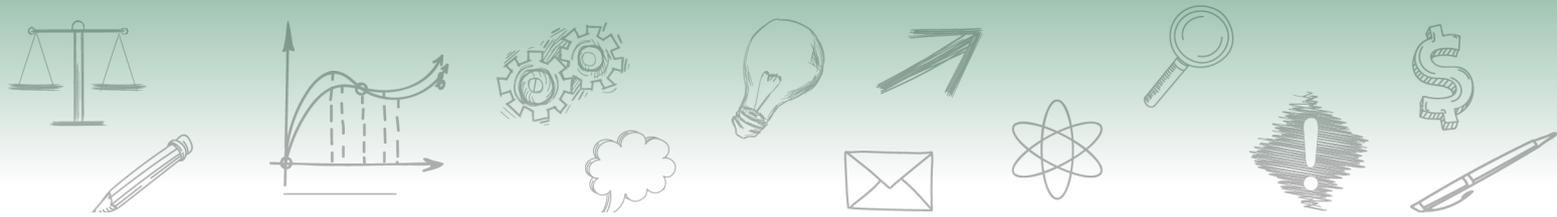
Semelhante aos modelos de distribuição de espécies, também existe um elevado potencial de uso de dados e automonitoramento da pesca, coletados no Programa Monitora, para construção de modelos ecossistêmicos.

O software Ecopath é uma das ferramentas mais utilizadas para esse tipo de modelagem. Vamos conhecê-lo melhor e entender como esses modelos são construídos.

3.2 Programa Ecopath

O Ecopath é um programa para modelagem ecossistêmica que utiliza o balanço de massa, calculando o fluxo de energia e as forças de interações entre as espécies. Os modelos produzidos por esse programa podem ser utilizados para avaliar os efeitos da pesca, analisar impactos em áreas marinhas, subsidiar ações de manejo, entre outras aplicações.

Associados a ele, existem dois principais componentes que o complementam e o potencializam: o Ecosim e o Ecospace. O Ecosim é utilizado para acessar a dinâmica temporal das populações, ou seja, como elas mudam ao longo do tempo. Enquanto o Ecospace acessa a dinâmica espacial, ou seja, como as populações mudam no espaço.



Os dados necessários para aplicarmos o Ecopath incluem:

- Biomassa.
- Taxas de mortalidade.
- Consumo alimentar.
- Composição da dieta.

Esses dados podem ser obtidos por meio de coleta direta (amostragem) ou consulta em literatura especializada.

Os modelos construídos pelo Ecopath são baseados em modelos lineares, que estimam os parâmetros pela biomassa dos compartimentos, tais como espécies, competidores, predadores e outros recursos. A partir desses dados, o modelo constrói o fluxo de energia no sistema e a dinâmica temporal (com o auxílio do Ecosim). Um detalhe interessante é que esse tipo de modelagem permite tanto a análise no nível de comunidade, por meio da teia alimentar, quanto de dinâmicas populacionais.

DESTAQUE

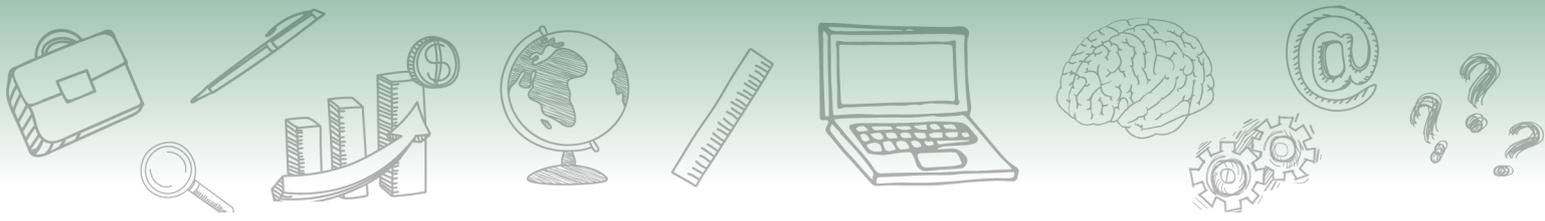
Uma das vantagens do uso dos modelos ecossistêmicos é a possibilidade de modelar múltiplas espécies e níveis tróficos. Por exemplo, se tanto o predador quanto a presa estão sujeitos à exploração por atividade humana, é necessário modelar simultaneamente o predador e a presa como funções dos níveis de captura, além da força e da natureza da relação entre eles.

Os modelos construídos com essa ferramenta podem fornecer informações sobre como os ecossistemas responderão às mudanças em relação às práticas de manejo aplicadas à pesca, o que pode ser muito útil em alguns cenários que envolvam acordos de pesca, defeso ou outros instrumentos legais utilizados para fiscalização e manejo dessa atividade em UCs.

Um exemplo de aplicação desse tipo de modelo foi a publicação da predição do impacto do peixe-leão (*Pterois volitans*), uma espécie invasora, na plataforma continental da região do Paraná (BUMBEER et al., 2017). Nesse estudo, os autores demonstram que o peixe-leão pode reduzir fortemente as populações de suas presas, diminuindo o recurso disponível para os predadores nativos e influenciando especialmente os peixes de recifes.

DESTAQUE

Trabalhos de previsão são importantes para os tomadores de decisão, pois permitem que estes antecipem os possíveis efeitos negativos associados a um determinado evento e sejam capazes de propor alternativas de manejo com o objetivo de mitigar tal impacto.



3.3 Limitações de modelos ecossistêmicos

As principais limitações dos modelos ecossistêmicos são relacionadas às incertezas ligadas aos dados usados para a sua construção. Por exemplo, modelos utilizando dados mensurados de forma direta (produzidos por meio de experimentos ou coletas) são, provavelmente, mais precisos que os baseados em dados estimados (produzidos por meio de aplicações de equações genéricas).

Outro aspecto que pode limitar a aplicação desses modelos é a estimativa dos parâmetros escolhidos. No Ecopath, por exemplo, o impacto do predador sobre as presas pode ser limitado pelo parâmetro de vulnerabilidade assumido. Por isso, é importante prestar atenção na estimativa de tais parâmetros.

Se pensarmos nas ferramentas utilizadas para auxiliar na aplicação dos modelos ecossistêmicos, podemos indicar a suposição de equilíbrio ou estabilidade da biomassa como uma limitação. Assim, utilizar dados de biomassa que não estão em equilíbrio entre os compartimentos pode levar a estimativas incertas, otimistas ou pessimistas.



Referências

Unidade 1

BERTWELL T. D.; KAINER, K. A.; CROPPER JUNIOR, W. P.; STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. O. Are Brazil nut populations threatened by fruit harvest? **Biotropica**, Gainesville, v. 50, n. 1, p. 50-59, Jan. 2018.

BUENDÍA, G. Una socioepistemología del aspecto periódico de las funciones. **Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa**, México, v. 9, n. 2, p. 227-251, jul. 2006.

GOTELLI, N. J. **Ecologia**. 4. ed. [S. l.]: Planta, 2009.

RYKIEL JUNIOR, E. J. Testing ecological models: the meaning of validation. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 90, n. 3, p. 229-244, Nov. 1996.

SCHMIDT, I. B.; TICKTIN, T. When lessons from population models and local ecological knowledge coincide: effects of flower stalk harvesting in the Brazilian savanna. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 152, p. 187-195, Aug. 2012.

VELASCO, G.; ARAÚJO, J. N.; CASTELLO, J. P.; ODDONE, M. C. Exploring MSY strategies for elasmobranch fishes in an ecosystem perspective. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 2, p.163-178, June 2007

Unidade 2

ARAÚJO, M. B.; CABEZA, M.; THUILLER, W.; HANNAH, L.; WILLIAMS, P. H. Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. **Global Change Biology, Chicago**, v. 10, n. 9, p.1618-1626, Sept. 2004.

BROENNIMANN, O.; TREIER, U. A.; MÜLLER-SCHÄRER, H.; THUILLER, W.; PETERSON, A. T.; GUISAN, A. Evidence of climatic niche shift during biological invasion. **Ecology Letters**, Montpellier, v. 10, n. 8, p. 701-709, Aug. 2007.

DALAPICOLLA, J. **Tutorial de modelos de distribuição de espécie**: guia teórico. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. Disponível em: <https://blog.ufes.br/lamab/files/2016/07/TUTORIAL-DE-MODELOS-DE-DISTRIBUI%C3%84%C2%ABO-GUIA-TE%E2%80%A1RICO.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

GOTELLI, N. J. **Ecologia**. 4. ed. [S. l.]: Planta, 2009. 287p.

HEIKKINEN, R. K.; LUOTO, M.; ARAÚJO M. B.; VIRKKALA, R.; THUILLER, W.; SYKES, M. T. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. **Progress in Physical Geography**, [s. l.], v. 30, n. 6, p. 751-777, Dec. 2006.



MARCO JÚNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1-2, p. 65-76, dez. 2009.

PERSSON, L.; AMUNDSEN, P. A.; ROOS, A. M.; KLEMETSEN, A.; KNUDSEN, R.; PRIMICERIO, R. Culling prey promotes predator recovery: alternative states in a whole-lake experiment. **Science**, Washington, v. 316, n. 5832, p. 1743-1746, June 2007.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. **Quarterly Review of Biology**, Stony Brook, v. 78, n. 4, p. 419-433, Dec. 2003.

PETERSON, A. T.; PAPES, M.; SOBERÓN, J. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 213, n. 1, p. 63-72, Apr. 2008.

PHILIPS, S.; DUDÍK, M.; ELITH, J.; GRAHAM, C.; LEHMANN, A.; LEATHWICK, J.; FERRIER, S. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 19, n. 1, p.181-197, Jan. 2009.

SIQUEIRA, M. F. **Uso de modelagem de nicho fundamental na avaliação do padrão de distribuição geográfica de espécies vegetais**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. 107 p.

WIENS, J. J.; GRAHAM, C. H. Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 519-539, Dec. 2005.

Unidade 3

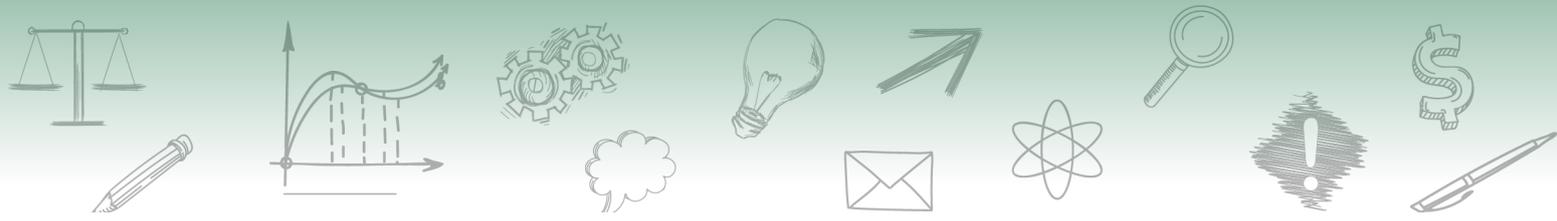
BUMBEER, J.; ROCHA, R. M.; BORNATOWSKI, H.; ROBERT, M. C.; AINSWORTH, C. Predicting impacts of lionfish (*Pterois volitans*) invasion in a coastal ecosystem of southern Brazil. **Biological Invasions**, [s. l.], v. 20, n. 5, p.1257-1274, May 2017.

CHRISTENSEN, V.; PAULY, D. Ecolpath II: a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 61, n. 3-4, p.169-185, June 1992.

CHRISTENSEN, V.; WALTERS, C. J. Ecolpath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 172, n. 2-4, p. 109-139, Mar. 2004.

CHRISTENSEN, V.; WALTERS, C. J.; PAULY, D. 2005. **Ecolpath with Ecosim: a user's guide**. Vancouver: University of British Columbia, 2005. 130p.

PAINE, R. T. Food webs: linkage, interaction strength and community infrastructure. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 49, n. 3, p. 666-685, Oct. 1980.



POLOVINA, J. J. Model of a coral reef ecosystem: the Ecopath model and its applications to French Fregate Shoal. **Coral Reefs**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 1-11, Aug. 1984.

WALTERS, C.; CHRISTENSEN, V.; PAULY, D. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 7, n. 2, p.139-172, June 1997.

WALTERS, C.; PAULY, D.; CHRISTENSEN, V.; KITCHELL, J. F. Representing density dependent consequences of life history strategies in aquatic ecosystems: EcoSim II. **Ecosystems**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 70-83, Jan. 2000.