**Exercício: não-linearidade**

**Objetivo:** Neste exercício nós estudaremos um problema geral em ecologia. Veremos como interações não-lineares podem gerar uma variedade de dinâmicas em sistemas ecológicos. Nós usaremos como referência um dos modelos mais simples em biologia: o mapa logístico (*equação 2, mas calma lá, leia o resto antes*).

**Antes de começar:** Use o arquivo em Excel para simulações.

**A. Orientação geral (10 min para ler):**

1. Como em qualquer pesquisa científica, nós primeiramente usaremos os conhecimentos adquiridos na aula teórica e nossa intuição sobre os sistemas de estudo para criar previsões sobre os padrões esperados. Posteriormente nós testaremos nossas previsões por meio de simulações computacionais de sistemas ecológicos.
2. Linearidade ocorre se uma equação pode ser escrita na forma:

$Y=aX+b$ (eq. 1)

na qual $Y$ e $X$ são variáveis e $a$ e *b* são constantes. A maior parte dos sistemas ecológicos é não linear, isto é, **não** pode ser descrito pela equação 1. Os casos mais clássicos de sistemas não-lineares em ecologia estão relacionados `a dinâmica populacional, isto é, `a variação temporal da densidade de indivíduos de uma população. Neste contexto, o seu laboratório estuda a dinâmica populacional de uma espécie de peixe, *Dalek whoviana*, que ocorre em pequenos lagos na área de estudo. *D. whoviana* é um peixe semélparo, isto é, que apresenta apenas um evento reprodutivo ao longo da vida. Ainda, todos os indivíduos adultos morrem após as fêmeas depositarem os ovos. Desta forma, as gerações não se sobrepõem nesta espécie. Por fim, *D. whoviana* não possui inimigos naturais ou competidores nos lagos onde ocorre. Em um estudo anterior vocês mostraram que a dinâmica populacional de *D. whoviana* pode ser descrita por uma simples equação:

$N\_{t+1}=rN\_{t}\left(1-N\_{t}\right)$ (eq. 2)

no qual $N\_{t}$ é a densidade populacional no tempo *t* e varia de zero até 1 e *r* é a taxa intrínseca de crescimento populacional e que, em populações naturais, pode assumir valores entre 1.1 e 3.95. *D. whoviana* é uma espécie invasora em outras localidades e atualmente representa um potencial perigo tanto para a conservação de espécies nativas quanto para a piscicultura. Neste contexto, o principal objetivo de seu próximo projeto é tentar compreender como a persistência da população de peixes depende da taxa intrínseca de crescimento populacional. Notem uma característica fundamental da equação 2: ela é não-linear. *Vocês conseguem ver o porquê dela ser não-linear?*

**B. Grupo de estudos (5 min de duração):** Vamos conversar e revisar as informações apresentadas sobre o sistema de estudo.

**C. As previsões do projeto (15 minutos)**

1. Vocês estão agora escrevendo o projeto para financiar a pesquisa. Em um estudo anterior vocês obtiveram forte evidência de que o valor de $r$ é proporcional à quantidade de recursos. Neste projeto vocês manipularão a quantidade de recursos para populações de *D. whoviana* em lagos próximos porém isolados visando entender como o valor de $r$ influencia a dinâmica populacional. Em um projeto de pesquisa é fundamental ter previsões derivadas de hipóteses sobre o problema a ser estudado. Por conseguinte, vocês passarão os próximos dois meses (15 minutos do mundo real) discutindo e escrevendo as previsões do experimento de manipulação que irão fazer. Escrevam estas previsões e suas justificativas para as respostas das seguintes perguntas (usem informações da equação 2 e do sistema de estudo):
2. A população de *D. whoviana* atinge um equilíbrio no qual a densidade não varia mais com o passar do tempo?
3. Como a taxa intrínseca de crescimento populacional, *r*, influencia a dinâmica populacional?
4. Como a dinâmica populacional depende da população inicial, isto é, a população antes da manipulação experimental?
5. Grandes oscilações na densidade populacional tornam a população vulnerável a perturbações, potencialmente causando extinções. Desta forma, quanto mais uma população oscila, menor seu potencial para persistir. Como o aumento da taxa intrínseca de crescimento populacional, *r*, influencia a persistência das populações?

**D. O estudo (20 min)**

1. Parabéns, vocês foram financiados (*o que está cada vez mais difícil no competitivo mundo científico*)! Vocês manipularão populações por meio da adição ou remoção de recursos e/ou indivíduos de *D. whoviana*. Para tal, abram o arquivo de Excel chamado Pratica\_01.xlsx e observem a Figura\_01 (primeira aba da planilha). Este gráfico descreve a dinâmica populacional de duas populações de *D. whoviana* (*i* e *j*). Ele é gerado por meio de uma simulação numérica da equação (2). Na planilha Projeto\_01 vocês podem alterar os valores das populações iniciais *i* e *j* e das taxas intrínsecas de crescimento populacional das populações *i* e *j* e observar as mudanças na dinâmica populacional. Portanto, vocês podem testar diferentes manipulações experimentais das populações no campo alterando os valores na planilha Projeto\_01 (lembrem-se que $1.1\leq r\leq 3.95$ e 0<*N<1*). Vocês manipularão experimentalmente as populações por cerca de 2 anos (20 minutos no mundo real. *Quem disse que o tempo é uma progressão linear de causas para efeitos? Esta mais para uma “wibbly wobbly timey stuff”*). Após o fim do experimento, escrevam abaixo quais previsões do projeto foram corroboradas e, no caso das previsões não corroboradas, informem como os resultados divergiram do predito.

**E. Conclusão da prática (10 min):** os diferentes grupos de pesquisa discutirão os resultados obtidos. Vamos conversar um pouquinho sobre os resultados inesperados e suas implicações para a dinâmica populacional de *D. whoviana* e para a dinâmica não-linear de sistemas ecológicos.