



Aula 17 - Quantificando a Ecologia e os Ecossistemas, uma tarefa da Engenharia Ambiental

Professor: Emílio Graciliano Ferreira Mercuri, D.Sc.
Departamento de Engenharia Ambiental - DEA,
Universidade Federal do Paraná - UFPR
emiliomercuri@gmail.com

Parte do campo de estudo da Engenharia Ambiental é observar o meio ambiente sob a ótica ecológica. Além de entender os conceitos da ecologia (por exemplo: população, comunidade, nicho, sucessão, climax, pressão de propágulo, biodiversidade α , β , γ , ...) é fundamental quantificar os processos e reações que ocorrem em ecossistemas para que tomadas de decisão possam ser embasadas com a teoria e prática na ecologia.

Sugestão de Leitura: Arthur Tansley¹ publicou em 1935 o artigo “The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms” onde foi cunhado primeira vez e definido o termo *ecossistema*.

Link para o artigo: <http://shorturl.at/noEK1>

1 Introdução

Segundo a definição de Tansley (1935), um ecossistema é um sistema integrado composto de componentes bióticos e abióticos em interação. É importante nessa definição que um ecossistema seja um sistema, o que implica que ele possui limites e que podemos distinguir entre o sistema e seu ambiente - o ambiente em princípio significa o resto do mundo além dos limites do sistema. Os componentes - bióticos e abióticos - estão interagindo, o que significa que eles estão conectados direta ou indiretamente. Todos os sistemas que abrangem componentes bióticos e abióticos interativos podem ser considerados como um ecossistema. Uma gota de água poluída pode, por exemplo, ser considerada um ecossistema, porque contém microorganismos, matéria orgânica e sais inorgânicos e esses componentes estão interagindo. Geralmente, nossa pesquisa e gerenciamento de ecossistemas estão interessados em uma área maior da natureza, caracterizada por sua função e propriedades, por exemplo, um lago, uma floresta ou um pântano. Todos esses três exemplos de ecossistemas têm funções muito características e têm várias propriedades únicas que são diferentes de outros tipos de ecossistemas. A escala aplicada à definição de um ecossistema depende da função do ecossistema e é determinada pelo problema abordado.

Como um ecossistema interage e conecta componentes bióticos e abióticos, ele possui propriedades do sistema no sentido de que os componentes trabalham juntos para fornecer propriedades emergentes ao sistema e tornar o sistema mais do que apenas a soma dos componentes. Um organismo vivo é muito mais do que as células e os órgãos que compõem o organismo. Da mesma forma, uma floresta é mais do que apenas as árvores - é uma unidade de trabalho cooperativa com propriedades únicas emergentes características de uma floresta.

É importante entender completamente a função e as reações dos ecossistemas tanto na pesquisa ecológica quanto na gestão ambiental. As duas questões básicas neste contexto são:

1. Quais propriedades fundamentais caracterizam os ecossistemas?
2. É possível formular proposições científicas básicas capazes de explicar as funções dos ecossistemas?

Para responder a essas duas questões fundamentais é necessário um estudo mais aprofundado da visão geral dos diferentes tipos de ecossistemas, como eles funcionam devido a suas propriedades e como as proposições científicas podem ser aplicadas para entender e ilustrar a lógica do **sistema**. Uma visão holística dos ecossistemas é fundamental e está enraizada nas propriedades do **sistema**.

¹ Sir Arthur George Tansley (15 de agosto de 1871 – 25 de novembro de 1955) foi um botânico inglês, pioneiro na ecologia vegetal.

2 Termodinâmica e Ecossistemas

Essa disciplina introdutória de Fundamentos de Engenharia Ambiental não tem como objetivo fazer uma revisão profunda de conceitos da ecologia e de ecossistemas. Serão trabalhados alguns temas com enfoque quantitativo em ecologia de populações e de ecossistemas que poderão ser aprofundados em estudos futuros e outras disciplinas.

Nós acabamos de estudar reatores e reações e desenvolvemos equações para o balanço de massa e energia em **sistemas**. Parte fundamental da Termodinâmica é delimitar qual é a fronteira do **sistema** em que a análise está sendo realizada. Define-se o sistema e a vizinhança é o ambiente que circunda o sistema, e podem ocorrer fluxos de massa e energia atravessando a fronteira do sistema. As equações que derivamos para reatores com reações podem ser adaptadas quando observamos fenômenos na natureza. A seguir serão apresentadas equações que são descritas de forma simplificada. Por exemplo, o balanço de massa em um sistema com fluxo: quando estudamos o Método dos Falsos Gradientes em reatores de mistura completa, *Continuous-flow Stirred Tank Reactors* (CSTRs), chegamos na equação:

$$V \frac{d(a_{out})}{dt} = Q_{in} a_{in} + \mathcal{R}_A(a_{out}, b_{out}, \dots, P_{out}, T_{out}) V - Q_{out} a_{out} \quad (1)$$

Considere que m representa a massa da substância A, cuja concentração está representada pela letra minúscula a na equação acima. Podemos reescrever essa equação da seguinte forma:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_a + \dot{m}_r - \dot{m}_e \quad (2)$$

conforme já vimos em aulas introdutórias dessa disciplina.

A primeira lei da Termodinâmica para sistemas fechados nos garante a equivalência entre as quantidades Energia E , Trabalho W e Calor Q :

$$\Delta E \Big|_{\text{sistema}} = {}_1Q_2 - {}_1W_2 \quad (3)$$

em que ${}_1Q_2$ é positivo para o calor cedido ao sistema do estado 1 até o estado 2 e ${}_1W_2$ é positivo para o trabalho realizado pelo sistema do estado 1 até o estado 2.

A primeira lei para um sistema aberto, considerando um volume de controle, pode ser escrita como:

$$\frac{dE_{v.c.}}{dt} = \dot{Q}_{v.c.} - \dot{W}_{v.c.} + \sum_a \dot{m}_a (e_a + P_a \nu_a) - \sum_e \dot{m}_e (e_e + P_e \nu_e) \quad (4)$$

$$\frac{dE_{v.c.}}{dt} = \dot{Q}_{v.c.} - \dot{W}_{v.c.} + \dot{E}_a - \dot{E}_e \quad (5)$$

sendo que a energia específica $e = u + v^2/2 + gz$ é a soma da energia interna específica u , energia cinética específica $v^2/2$ e energia potencial específica gz . Os termos \dot{E}_a e \dot{E}_e representam os fluxos de energia das correntes de entrada e saída no sistema e são: $\dot{E}_a = \sum_a \dot{m}_a (e_a + P_a \nu_a)$ e $\dot{E}_e = \sum_e \dot{m}_e (e_e + P_e \nu_e)$. Quando não há variações de energia potencial nem de energia cinética dos fluxos de entrada e saída e observamos o sistema com o enfoque integral, podemos reescrever a primeira lei para um sistema aberto conforme vimos na última aula:

$$\underbrace{\underbrace{Q_{in} \rho_{in} H_{in}}_{\dot{E}_a} - \underbrace{Q_{out} \rho_{out} H_{out}}_{\dot{E}_e}}_{\dot{Q}_{v.c.} \text{ e/ou } \dot{W}_{v.c.}} - \underbrace{V \Delta H_R \hat{\mathcal{R}} - \hat{U} A_{ext} (\hat{T} - T_{ext})}_{\dot{Q}_{v.c.} \text{ e/ou } \dot{W}_{v.c.}} = \underbrace{\frac{d(V \hat{\rho} \hat{H})}{dt}}_{\frac{dE_{v.c.}}{dt}} \quad (6)$$

3 Propriedades dos Ecossistemas

As propriedades do sistema (do Ecossistema) podem ser resumidas da seguinte forma:

1. O fluxo de energia em ecossistemas é cíclico.
2. O fluxo de matéria em ecossistemas é cíclico.
3. A vida e meio ambiente estão conectados, o que implica que a parte abiótica de um ecossistema influencia o ecossistema. Essa influência determina as condições prevalentes dos ecossistemas ou, expressas diferentemente, as variáveis externas (também chamadas de funções forçantes) determinam as condições para as variáveis internas (também chamadas de variáveis de estado) de um ecossistema.
4. Os ecossistemas são sistemas inteiros e os estudos da dinâmica do ecossistema requerem, portanto, visões holísticas.

A Figura 1 representa uma forma genérica de um ecossistema que contém os elementos do sistema físico (representados como nutrientes) e os três grupos principais de organismos: produtores, consumidores e decompositores.

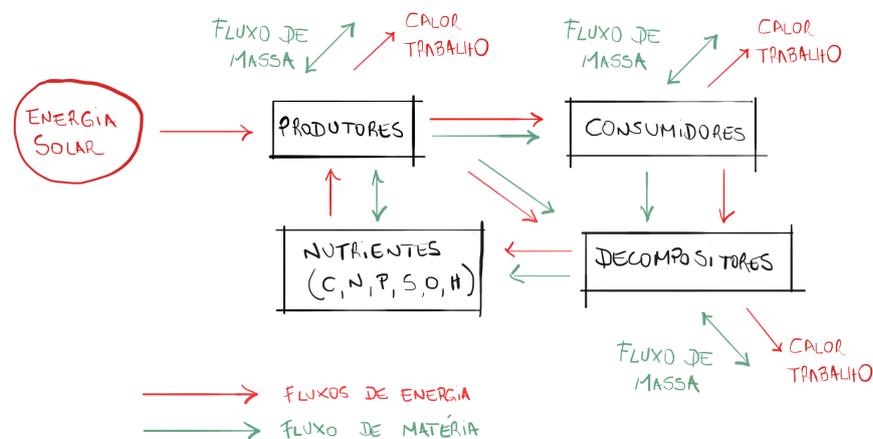


Figura 1: Fluxo de energia e matéria em ecossistemas

A sociedade humana é muito dependente do bom funcionamento dos ecossistemas, porque os humanos estão usando um amplo espectro de serviços oferecidos pelos ecossistemas. Portanto, é importante entender os laços adequados do ecossistema nos quais esses serviços se baseiam.

Exemplos de **serviços ecossistêmicos** são:

- serviços de produção como agricultura, pesca, silvicultura.
- serviços de regulação devido a processos de ciclagem, filtração, translocação e estabilização;
- serviços culturais como recreação, inspiração espiritual e beleza estética.

As leis fundamentais em Ecologia estão associadas às propriedades do sistema dos ecossistemas:

- Os ecossistemas são complexos (muitos componentes interativos de variação constante).
- Ecossistemas são sistemas abertos.
- Os ecossistemas são organizados hierarquicamente.
- Os ecossistemas são auto-organizados e auto-regulados devido para um número muito grande de mecanismos de feedback.

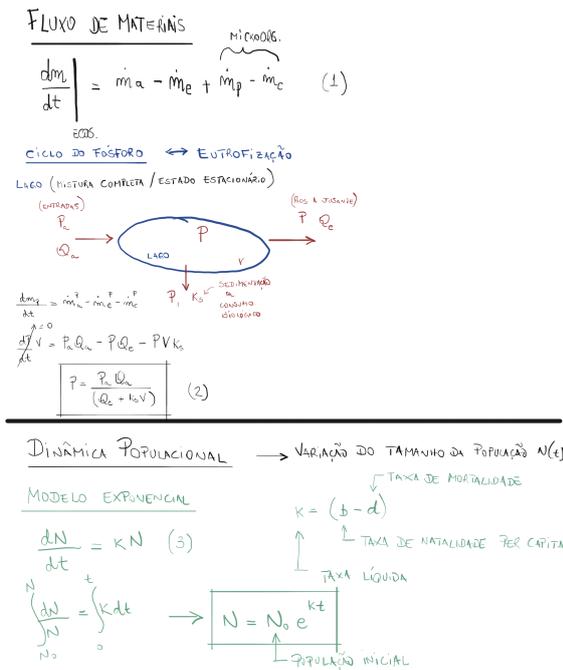


Figura 2: Introdução à dinâmica de populações

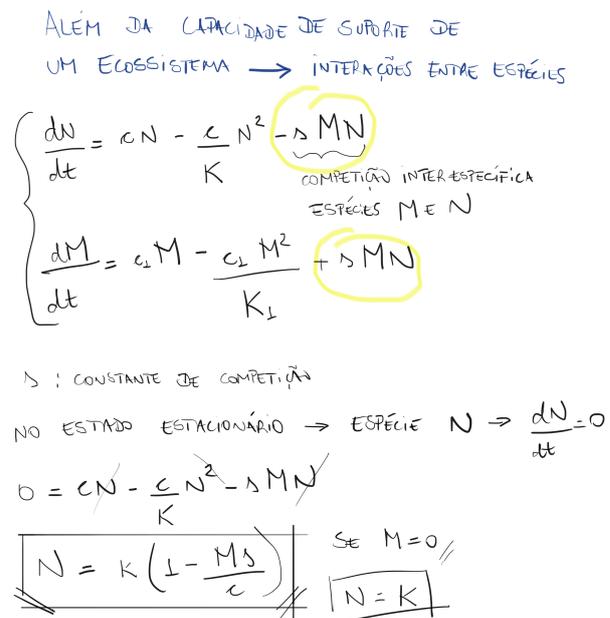
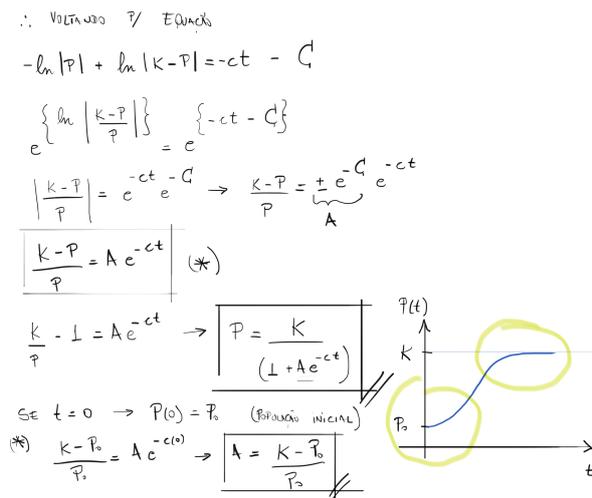
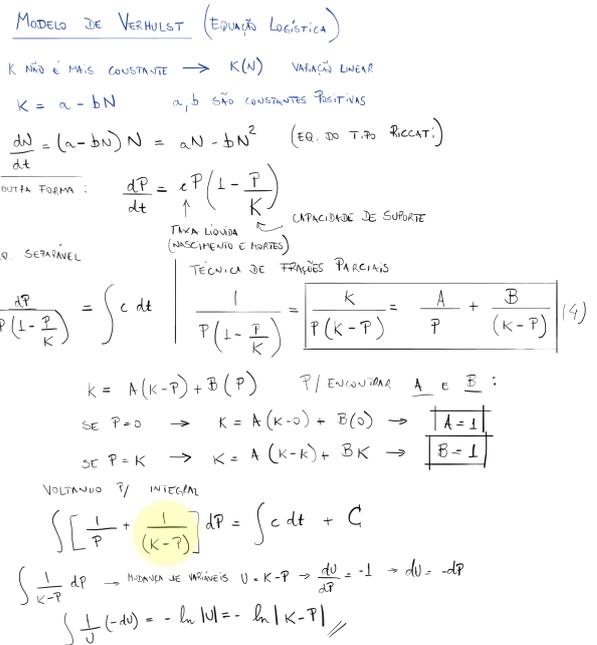


Figura 3: Introdução à dinâmica de populações

Bibliografia

- TANSLEY, Arthur G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, v. 16, n. 3, p. 284-307, 1935.
- JØRGENSEN, Sven Erik (Ed.). *Ecosystem ecology*. Academic press, 2009.
- JØRGENSEN, Sven Erik; BENDORICCHIO, Giuseppe. *Fundamentals of ecological modelling*. Elsevier, 2001.
- MOLLES, Manuel C. *Ecology: concepts and applications*. 2002.
- MEATYARD, Barry. *Ecology—From Individuals to Ecosystems*, Michael Begon, Colin R. Townsend, John L. Harper, Blackwell Publishing, Oxford, 2005.
- MAY, Robert et al. (Ed.). *Theoretical ecology: principles and applications*. Oxford University Press on Demand, 2007.
- Nauman, E. Bruce. *Chemical reactor design, optimization, and scaleup*. John Wiley & Sons, 2008.
- Chapra, Steven C. *Surface water-quality modeling*. Waveland press, 2008.
- Introdução à Engenharia Ambiental, Tradução da 2ª Ed. norte-americana. P. Aarne Vesilind, Susan M. Morgan; revisão técnica de Carlos Alberto de Moya Figueira Netto e Lineu Belico dos Reis. São Paulo, Cengage Learning, 2011.
- Princípios de Engenharia Ambiental. Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten. 3a ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- Engenharia Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidade e Projeto. Mihelcic, James R., Julie Beth Zimmerman, and Ramira Maria Siqueira da Silva Pires. Grupo Gen-LTC, 2000.
- Mihelcic, James R. *Fundamentals of environmental engineering*. 1999.
- Scott A. Socolofsky & Gerhard H. Jirka. OCEN 475/677 : Special Topics in Mixing and Transport in the Environment (Environmental Fluid Mechanics)
- Rice, Richard G., and Duong D. Do. *Applied mathematics and modeling for chemical engineers*. John Wiley & Sons, 2012.
- Greenberg, Michael D. *Advanced engineering mathematics*. Prentice-Hall, 1988.
- Butkov, Eugene. *Física matemática*. Livros Técnicos e Científicos, 1988.