

Sistema de suporte à decisão para gestão regional dos fluxos de nitrogênio: Modelo Conceitual

Francisco R. A. do Nascimento, Asher Kiperstok, Juan M. Garcia, Jordi M. Farreras, Eduardo Cohim
Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM),
Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil
ramonacademico@gmail.com

Resumo

O objetivo geral deste estudo foi desenvolver um modelo conceitual de um sistema de suporte à tomada de decisão para gestão regional dos fluxos de nitrogênio. Os subsistemas *Produção Animal*, *Produção Vegetal* e *População* foram determinados e associados a partir das concepções da Ecologia Industrial, Análise de Fluxo de Materiais e Dinâmica de Sistemas, no intuito de avaliar a evolução da otimização das opções de gestão dos recursos. A partir do modelo conceitual, espera-se que o desenvolvimento do modelo de fluxo e estoque permita que a simulação indique a evolução dos fluxos regionais de nitrogênio para tomada de decisão quanto as opções de gestão de recursos. Os resultados das simulações indicariam o potencial de substituição dos fertilizantes industriais por fontes de nitrogênio reativo já existentes, reduzindo assim, a conversão de nitrogênio inerte para nitrogênio reativo.

Abstract

The main subject of this study was to development a conceptual model of Decision Support Systems (SSD) for regional management of nitrogen flows. The subsystems *Animal Production*, *Crop Production* and *Population* were determined and associated from the concepts of Industrial Ecology, Material Flow Analysis and System Dynamics in order to evaluate the evolution of optimization of resources management options. From the conceptual model is expected that the development of flow and stock model to allow the simulation indicate the evolution of regional nitrogen flows for decision making as to resources management. The simulations results would indicate the potential of industrial fertilizer replacement for existing nitrogen sources which would reduce the transformation of inert nitrogen to reactive nitrogen.

Palavras-chave: Fluxos de nitrogênio, Balanço de Nitrogênio, Análise de Fluxos de Materiais, Dinâmica de Sistemas

1 Introdução

Os fluxos de materiais e energia nas atividades antropogênicas, produção e consumo, os efeitos que os fluxos ineficientes provocam no meio ambiente e as influências dos fatores econômicos, políticos e sociais no fluxo são objetos de estudo da Ecologia Industrial.

A análise de um sistema, com a concepção da Ecologia Industrial pode ser feita em diferentes níveis, local, regional e global.

Algumas ferramentas de análise da Ecologia Industrial, como Análise de Fluxo de Materiais, são usadas para caracterizar e identificar elementos importantes de avaliação de um sistema definido, englobando aspectos socioeconômicos e ambientais em todos os níveis.

Esta ferramenta tem sido utilizada para analisar fluxo de substâncias como nitrogênio a nível de cidades e países. Isto porque os impactos provocados pela

excessiva produção de nitrogênio reativo tem chamado atenção de instituições nacionais e internacionais quanto aos aspectos ambientais e socioeconômicos.

Os principais impactos dos fluxos antropogênicos de nitrogênio são a depleção de nitrogênio nos solos agrícolas, que afeta a segurança alimentar, a poluição de ambientes aquáticos, que provoca eutrofização e danos a saúde pública devido a contaminação por NO_3 , e às mudanças climáticas, devido a emissão N_2O .

Atualmente, no mínimo 200 Mt N/ano são convertidas pelas as atividades antropogênicas, sendo 120 Mt N/ano através da produção de amônia, 50 a 70 Mt N/ano através da fixação biológica de nitrogênio e 30 a 40 Mt N/ano através da produção de energia [1].

Schlesinger [2] apontou que aproximadamente 9 Mt N/ano são acumuladas na biosfera terrestre, com tempos de residência que variam de 10 a algumas centenas de anos.

Diante deste cenário, idealmente, a solução para mitigar as alterações do ciclo biogeoquímico do nitrogênio seria não converter nitrogênio inerte (N_2) para nitrogênio reativo e/ou adotar medidas para tender a uma conversão zero.

Isso aponta para uma otimização máxima dos fluxos antropogênicos de nitrogênio já existentes, fixação biológica de nitrogênio e resíduos, para atender a crescente demanda de nitrogênio reativo na forma de fertilizantes industriais.

Diversas ferramentas tem sido desenvolvidas para avaliar os impactos provocados pelos fluxos de nitrogênio reativo.

O Balanço de Nitrogênio, que é a diferença entre as entradas e saídas de nitrogênio em um sistema agrícola, tem sido usado como um indicador de desempenho ambiental para regiões agrícolas nos países pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) [3].

No entanto, este indicador não permite uma análise mais detalhada quanto às opções de otimização dos fluxos antropogênicos de nitrogênio em uma região.

Sutton *et al* [1] identificaram 10 ações principais para melhorar a eficiência do uso de nutrientes nos sistemas antropogênicos (Figura 1).

As ações são divididas em categorias, como Agricultura; Transporte e Indústria; Resíduos e reciclagem; Padrões de consumo da sociedade; e Integração e Otimização.

Um modelo de gestão regional dos fluxos de nitrogênio deve ser baseado em fluxos cíclicos, seguindo a lógica dos sistemas naturais onde não existem perdas, ou seja, deve ser aproveitado todos os recursos disponíveis.

Para isto, ferramentas de gestão devem ser desenvolvidas para dar suporte à tomada de decisão quanto a otimização dos fluxos de nitrogênio em uma região. A modelagem e simulação são caracterizadas como importantes ferramentas de gestão, e podem analisar um sistema de forma qualitativa e quantitativa.

Para Fumagalli [4], a importância de modelos de simulação é bem reconhecida porque são ferramentas úteis para organizar o conhecimento e testar hipóteses científicas, além de permitir a exploração de cenários alternativos para a gestão de sistemas agrícolas.

Um modelo de simulação que permita analisar os fluxos regionais de nitrogênio, quantificar as fontes de nitrogênio para substituição dos fertilizantes nitrogenados e analisar cenários para otimização dos fluxos de nitrogênio pode ser de grande utilidade para uma gestão eficiente do recurso nitrogênio.

Portanto, o objetivo geral deste estudo foi desenvolver um modelo conceitual de um sistema de suporte à tomada de decisão para gestão regional dos fluxos de nitrogênio.

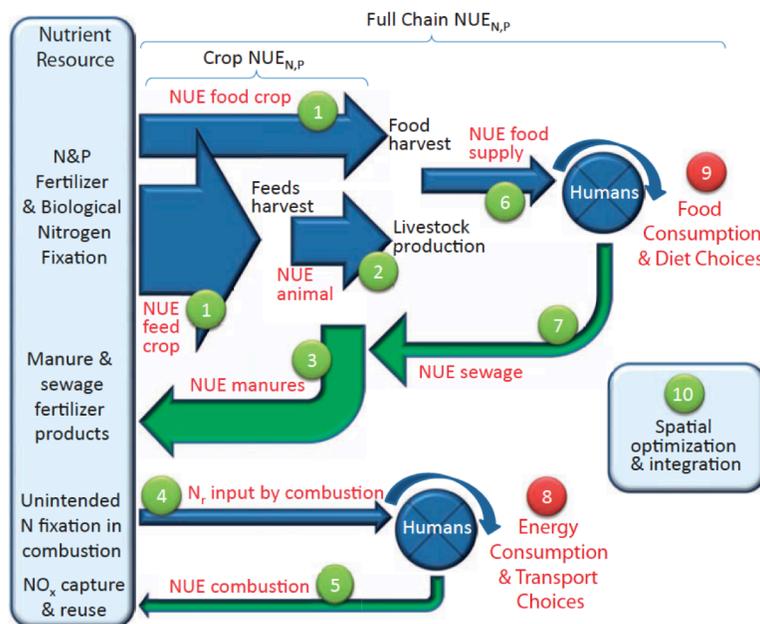


Figura 1. Ações de eficiência para os fluxos de nutrientes.

2 Sistema de suporte à tomada de decisão para gestão regional dos fluxos de nitrogênio

O modelo conceitual foi desenvolvido a partir da concepção de Dinâmica de Sistemas usando o software Vensim PLE Plus Version 6.3.

A hipótese dinâmica deste trabalho foi definida como:

- O aproveitamento regional das fontes de nitrogênio pode substituir o uso de fertilizantes industriais, que reduz a conversão de nitrogênio inerte para nitrogênio reativo e conseqüentemente a adição de mais nitrogênio reativo no ecossistema.

O sistema de suporte à tomada de decisão (Figura 2) foi desenvolvido a partir de três subsistemas que influenciam na gestão regional dos fluxos de nitrogênio quanto a produção e consumo de alimentos, excluindo a produção de energia.

empresas privadas.

As variáveis dos subsistemas foram determinadas seguindo a lógica das ações de eficiência dos fluxos de nutrientes (Figura 1) propostas por Sutton *et al* [1].

A variação populacional e as escolhas de dieta e consumo de alimentos podem aumentar ou diminuir a produção animal e vegetal, que, de acordo com o modelo de produção atual, influenciam diretamente na demanda de fertilizante industrial destes setores (variável *Produção de fertilizante industrial*).

Vale ressaltar que, ações mais sustentáveis quanto ao ciclo biogeoquímico do nitrogênio devem ser direcionadas para a minimização da conversão de nitrogênio inerte para nitrogênio reativo e aproveitamento de fontes existentes, evitando assim a inserção de mais nitrogênio reativo na biosfera.

No sistema de produção e consumo de alimentos são produzidas quatro principais fontes de nitrogênio a ser aproveitadas como fertilizante nos sistemas agrícolas.

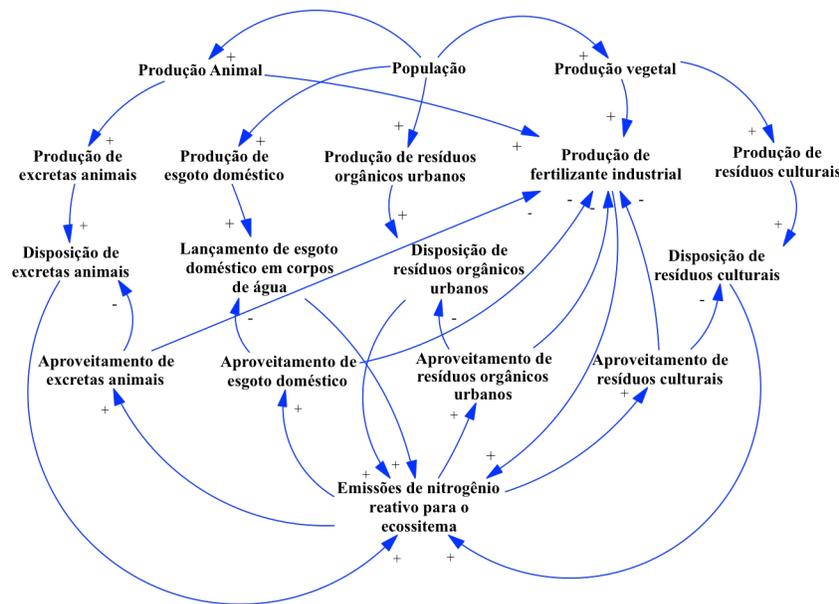


Figura 2. Modelo conceitual do sistema de suporte à tomada de decisão para gestão regional dos fluxos de nitrogênio.

Os subsistemas foram divididos em *Produção Animal*, *Produção Vegetal* e *População*, que influenciam na intensificação dos fluxos regionais de nitrogênio e são caracterizados pelas principais atividades humanas quanto ao uso de nitrogênio reativo.

Os subsistemas são entendidos como controladores das entradas e saídas de nitrogênio em uma região e podem ser estimados a partir de dados encontrados em relatórios anuais de instituições governamentais e

No processo produtivo agropecuário são produzidas as excretas animais (variável *Produção de excretas animais*) e resíduos culturais (variável *Produção de resíduos culturais*).

Após o consumo dos alimentos, o esgoto doméstico (variável *Produção de esgoto doméstico*) e os resíduos orgânicos urbanos (variável *Produção de resíduos orgânicos urbanos*) são produzidos pela população.

As variáveis *Aproveitamento de excretas animais*, *Aproveitamento de esgoto doméstico*, *Aproveitamento de resíduos orgânicos urbanos* e *Aproveitamento de resíduos culturais* envolvem a estrutura física de coleta, tratamento e uso das fontes de nitrogênio disponíveis.

Quanto maior for o aproveitamentos das fontes de nitrogênio existentes, menor serão as *Emissões de nitrogênio reativo para o ecossistema*.

Assim, estes subsistemas permitem quantificar os recursos disponíveis, indicar a evolução do uso de fertilizante industrial e indicar a evolução do aproveitamento dos recursos e da mitigação de potenciais impactos ambientais.

2.1 Subsistema Produção Animal

O modelo conceitual do subsistema *Produção Animal* está representado na Figura 3. Este subsistema indica as variáveis que influenciam na produção e aproveitamento das excretas animais como fonte de nitrogênio em sistemas agrícolas.

Uma *Taxa de crescimento da população animal* pode ser utilizada para determinar a variação da *População animal* ao longo do tempo de cada categoria de animal. Esta taxa pode ser determinada com base nas séries históricas de produção animal da região ou nas expectativas do setor, que envolvem fatores ambientais e socioeconômicos.

As principais categorias de animais são bovinos, suínos e aves. No entanto, a depender das características da região, outros animais podem ser incluídos no sistema de análise.

A *Produção de excretas animais* é estimada a partir da *População Animal* e da *Taxa de produção de excretas animais* por categoria de animal.

A quantidade total de excretas animais dispostas (variável *Disposição de excretas animais*) é estimada de acordo com a *Taxa de aproveitamento de excretas animais*.

Quanto maior for a *Taxa de aproveitamento de excretas animais*, menor será a *Disposição de excretas animais*, e, conseqüentemente, menor serão as *Emissões de nitrogênio reativo para o ecossistema*.

A variável *Aproveitamento de excretas animais* indica a evolução da otimização do fluxo de nitrogênio quanto as excretas animais, sendo que, quanto maior for o aproveitamento de excretas animais como fertilizante, menor será a *Produção de fertilizante industrial*.

A *Produção de fertilizante industrial* também é influenciada pela demanda de fertilizante para alimentação animal (variável *Taxa de consumo de fertilizante por animal*). O uso de fertilizante como suplemento alimentar pode acontecer por exemplo em períodos de seca.

2.2 Subsistema Produção Vegetal

O modelo conceitual do subsistema *Produção Vegetal* é indicado na Figura 4. Este subsistema indica as variáveis que influenciam na produção e aproveitamento de resíduos culturais como fonte de nitrogênio em sistemas agrícolas.

A *Produção vegetal* pode ser estimada a partir de séries históricas de *área colhida do cultivo* e *produtividade*, ou através das expectativas do setor, que envolvem fatores ambientais e socioeconômicos.

Os dados disponíveis nos balanços anuais de governo geralmente indicam a *Produção vegetal* e a *Área colhida do cultivo*, o que permite determinar a *produtividade*.

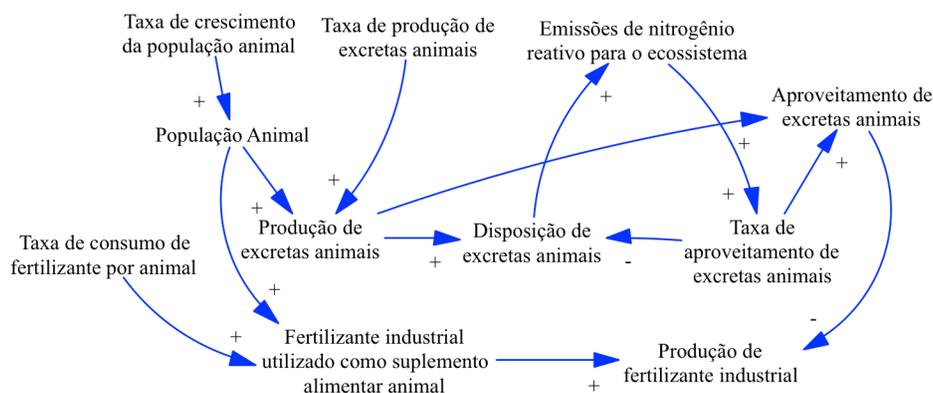


Figura 3. Modelo do subsistema Produção Animal.

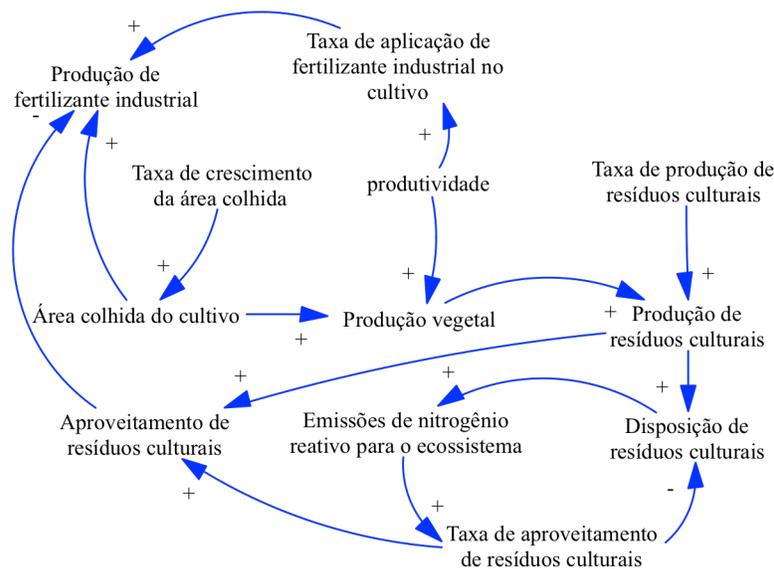


Figura 4. Modelo do subsistema Produção Vegetal.

No entanto, para a predição da produção vegetal futura, o uso da variável *produtividade* é a mais indicada, pois esta é influenciada pelos avanços tecnológicos, boas práticas agrícolas e uso de fertilizante industrial.

A *Taxa de aplicação de fertilizante industrial no cultivo* pode ser condicionada a produtividade desejada pelo agricultor. Isto pode indicar a relação entre a produção desejada do agricultor e o aumento da produtividade.

A *Produção de resíduos culturais* é estimada a partir da *Produção vegetal* e da *Taxa de produção de resíduos culturais* de cada cultivo.

A quantidade total de resíduos culturais disposta (variável *Disposição de resíduos culturais*) é estimada de acordo com a *Taxa de aproveitamento de resíduos culturais*.

Quanto maior for a *Taxa de aproveitamento de resíduos culturais*, menor será a *Disposição de resíduos culturais*, e, conseqüentemente, menor serão as *Emissões de nitrogênio reativo para o ecossistema*.

A variável *Aproveitamento de resíduos culturais* é entendida como a estrutura física do sistema de coleta, tratamento e uso de resíduos orgânicos urbanos.

Quanto maior for o *Aproveitamento de resíduos culturais*, menor será a demanda por fertilizante industrial (variável *Produção de fertilizante industrial*).

2.3 Subsistema População

O modelo conceitual do subsistema *População* está indicado na Figura 5. Este subsistema é caracterizado pelo consumo de alimentos e produção de duas fontes de nitrogênio, esgoto doméstico (variável *Produção de esgoto doméstico*) e resíduos orgânicos urbanos (variável *Produção de resíduos orgânicos urbanos*).

A variação populacional é influenciada pelas variáveis *Crescimento populacional*, controlada pela *taxa de natalidade* e *taxa de imigração*, e *Decréscimo populacional*, controlada pela *taxa de mortalidade* e *taxa de emigração*.

Quanto ao esgoto doméstico, a *Produção de esgoto doméstico* é estimada a partir da *População* e da *Taxa de produção de esgoto doméstico per capita*.

A quantidade de nitrogênio excretada é estimada a partir da *Taxa de produção de esgoto doméstico per capita* e um fator de excreção de nitrogênio, este que é influenciado pela variação da dieta adotada pela pessoa.

O volume total de esgoto doméstico disposto (variável *Lançamento de esgoto doméstico*) é estimado de acordo com a *Taxa de aproveitamento de esgoto doméstico*.

Quanto maior for a *Taxa de aproveitamento de esgoto doméstico* menor será o *Lançamento de esgoto doméstico*, e, conseqüentemente, menor serão as *Emissões de nitrogênio reativo para o ecossistema*.

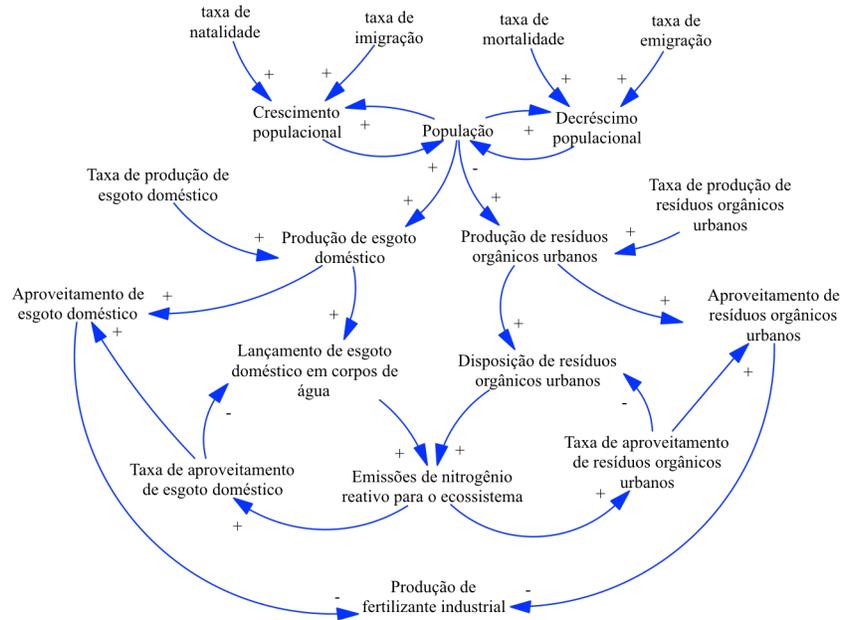


Figura 5. Modelo do subsistema População.

A variável *Aproveitamento de esgoto doméstico* é entendida como a estrutura física do sistema de coleta, tratamento e uso de esgoto doméstico como fertilizante nitrogenado.

A quantidade de nitrogênio presente no esgoto doméstico tratado dependerá do nível e tipo de tratamento aplicado, ou seja, da eficiência do sistema de tratamento.

Quanto maior for o *Aproveitamento de esgoto doméstico*, menor será a demanda por fertilizante industrial (variável *Produção de fertilizante industrial*).

Quanto aos resíduos orgânicos urbanos, a *Produção de resíduos orgânicos urbanos* é estimada a partir da *População* e da *Taxa de produção de resíduos orgânicos urbanos per capita*.

Neste trabalho, os resíduos orgânicos urbanos foram assumidos ser somente os resíduos orgânicos domiciliares.

A quantidade total de resíduos orgânicos urbanos disposta (variável *Disposição de resíduos orgânicos urbanos*) é estimada de acordo com a *Taxa de aproveitamento de resíduos orgânicos urbanos*.

Quanto maior for a *Taxa de aproveitamento de resíduos orgânicos urbanos*, menor será a *Disposição de resíduos orgânicos urbanos*, e, conseqüentemente, menor serão as *Emissões de nitrogênio reativo para o*

ecossistema.

A variável *Aproveitamento de resíduos orgânicos urbanos* é entendida como a estrutura física do sistema de coleta, tratamento por compostagem e uso de composto orgânico como fertilizante nitrogenado.

Quanto maior for o *Aproveitamento de resíduos orgânicos urbanos*, menor será a demanda por fertilizante industrial (variável *Produção de fertilizante industrial*).

3 Considerações

Um modelo conceitual de um sistema de suporte à tomada de decisão para a gestão regional dos fluxos de nitrogênio foi desenvolvido.

O sistema proposto permitiu determinar as variáveis dos subsistemas *Produção Animal*, *Produção Vegetal* e *População*, e suas interações.

A partir do modelo conceitual, espera-se que o desenvolvimento do modelo de fluxo e estoque permita que a simulação indique a evolução dos fluxos regionais de nitrogênio para tomada de decisão quanto as opções de gestão de recursos.

O modelo de fluxo e estoque deverá incorporar os *delays* necessários para os sistemas de aproveitamento dos recursos, ou seja, o tempo necessário para a construção de usinas de compostagem e de estações de tratamento de esgoto doméstico.

Os resultados das simulações indicariam o potencial de substituição dos fertilizantes industriais por fontes de nitrogênio reativo já existentes, reduzindo assim, a conversão de nitrogênio inerte para nitrogênio reativo.

4 Agradecimentos

Ao programa *CAPES*, pela concessão da bolsa de estudo no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial na Universidade Federal da Bahia-Brasil.

5 Referências

[1] M.A. Sutton et al., *Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution*, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative, 128 pp., (2013).

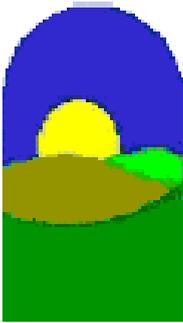
[2] W.H. Schlesinger, “On the fate of anthropogenic nitrogen”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, v. 106, n. 1, pp 203-208, (2009).

[3] J. Liu, L. You, M. Amini, M. Obersteiner, M. Herrero, A.J.B. Zehnder, H. Yang, “A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, v. 107, n. 17, (2010).

[4] M. Fumagalli, *Indicator-based and modelling approaches for the integrated evaluation and improvement of agronomic, economic and environmental performances of farming and cropping systems in northern Italy*, Ph.D. Thesis, University of Milano, Italy, 164 pp, (2009).

Dinámica de Sistemas

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>



Vensim

<http://www.atc-innova.com/>

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



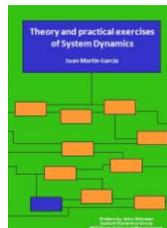
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)