

Herói ou vilão?

O uso desigual de fertilizantes nitrogenados ao redor do globo causou sérios problemas ambientais e sociais. Nas regiões em que foram utilizados em excesso, uma série de danos ambientais ocorreram; em contrapartida, nas regiões carentes desses fertilizantes suas populações são mal nutridas e passam fome

No final do século XVIII já se sabia que o ar atmosférico era composto de um gás fundamental para os seres vivos, denominado posteriormente **oxigênio**, e um outro gás inerte e inodoro, que aparentemente não servia aos seres vivos. Em 1790, este gás foi denominado **nitrogênio** pelo químico francês Jean Antoine Claude Chaptal (1756-1832). Em meados do século XIX, Justus Von Liebig (1803-1873) enunciou corretamente que as plantas necessitam de moléculas inorgânicas para seu desenvolvimento. Foi em 1841 que Jean-Baptiste Boussingault (1802-1887) e Jean-Baptiste André Dumas (1800-1884) demonstraram cabalmente que o nitrogênio era fundamental para o crescimento das plantas.

Durante vários anos, no entanto, perdurou a dúvida sobre qual seria a fonte de nitrogênio para as plantas. Inicialmente acreditava-se que o nitrogênio contido na água da chuva era suficiente para suprir as principais culturas agrícolas. Mais interessante ainda é que era tido mais como um facilitador para a absorção de outros elementos, como cálcio e magnésio, do que um nutriente propriamente dito.

Foi somente em 1886 que dois alemães, Hermann Hellriegel (1831-1895) e Hermann Wilfarth (1853-1904), demonstraram a importância cabal do nitrogênio como nutriente e – talvez mais importante ainda – que os microorganismos que viviam nas raízes de plantas que pertenciam à família das leguminosas eram capazes de trans-



No início do século XX foram introduzidas as adubações verdes, onde se planta a cultura principal alternadamente com uma leguminosa fixadora de nitrogênio

O grande salto no consumo de nitrogênio ocorreu na década de 1960, com a Revolução Verde, termo que se refere ao desenvolvimento de novas variedades de milho, trigo e arroz



formar o nitrogênio inerte da atmosfera em uma forma orgânica, prontamente disponível para as plantas.

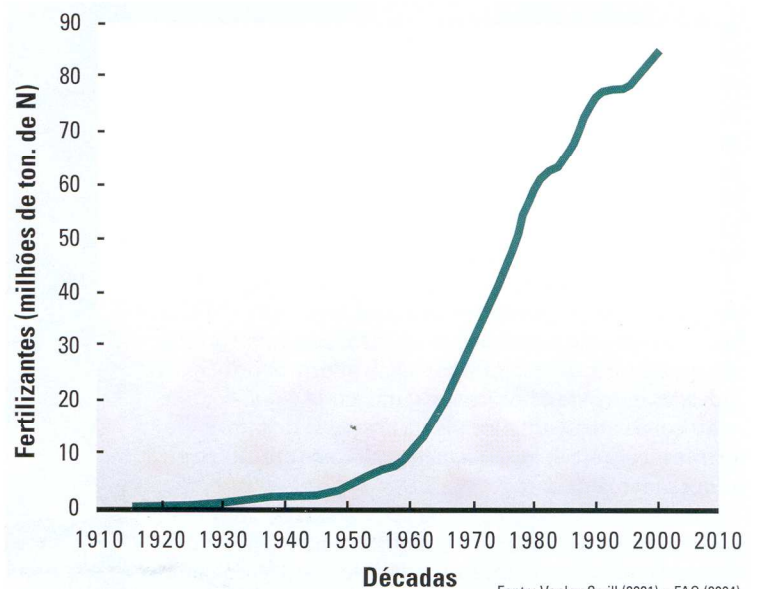
Finalmente, já no final do século XIX, dois outros processos fundamentais do ciclo do nitrogênio foram descobertos. A passagem de amônio para nitrato na solução do solo foi demonstrada pelo russo Sergei Winogradsky (1856-1953) e o processo de denitrificação, que envolve a passagem de nitrato para formas gasosas (N_2 e N_2O), foi descrito por Ulysse Gayon (1845-1929) em 1885.

Assim, ao se iniciar o século XX, já eram conhecidos as principais etapas do ciclo do nitrogênio e sua importância para as plantas, bem como a importância dos microrganismos nesse ciclo. Talvez a descoberta mais espetacular tenha sido a simbiose entre bactérias do gênero *Rhizobium* e plantas pertencentes à família das leguminosas. Essa combinação permitia uma "rejuvenescimento" constante no ciclo do nitrogênio, uma vez que este elemento era transformado de sua forma inerte na atmosfera para uma forma utilizável pelos seres vivos. Seria descoberto mais tarde que essa seria a principal entrada de nitrogênio no planeta, uma vez que, com raríssimas exceções, as rochas não contêm nitrogênio e que, portanto, este nutriente não tem uma origem geológica, mas que sua origem está na atmosfera, sendo a simbiose *Rhizobium*-leguminosas uma reação que transforma o nitrogênio inerte em nitrogênio disponível. Magnífico!

Ficou claro que a produtividade de uma agricultura bem conduzida dependeria de um suprimento correto de nitrogênio para as plantas. Os agricultores do começo do século XX passaram a intensificar o uso de resíduos orgânicos, utilizando-se de resíduos da própria cultura, esterco animal e mesmo dejetos humanos. Também foram introduzidas as conhecidas adubações verdes, onde se planta alternadamente a cultura agrícola com uma leguminosa fixadora de nitrogênio. A incorporação dos res-

tos culturais das leguminosas forneceria nitrogênio para a próxima cultura.

Segundo Smil Laclave, em seu livro publicado em 2001, mais de 75% do nitrogênio disponível para as culturas naquele tempo advinha de entradas externas. Devido à baixa produtividade das culturas, um hectare alimentava no máximo 10 pessoas. Com o aumento da população, a produção de mais alimentos era obtida através da ampliação da área plantada e não devido a um aumento na produtividade, que já estava no seu limite naquela época.



Fonte: Vaclav Smil (2001) e FAO (2004)

Figura 1. Aumento no consumo de fertilizantes nitrogenados ao longo do século XX.

Em 1898, Sir William Crookes fez um eloqüente discurso em que dizia que o homem estava usando a poupança que a terra tinha deixado na forma de nitrogênio, mas o cofre estava se esvaziando e que era necessário obter mais nitrogênio da fonte inesgotável que era a atmosfera. Profeticamente incumbiu os químicos dessa tarefa, pois somente eles poderiam tentar imitar as bactérias do gênero *Rhizobium*, que transformam o nitrogênio da atmosfera em nitrogênio disponível.

Após Crookes pavimentar o caminho, foi Fritz Haber (1868-1934) quem, na primeira década do século XX, conseguiu obter a síntese de amônia (NH_3) a partir de nitrogênio e hidrogênio. Carl Bosch (1874-1940) tornou o processo seguro o suficiente para que fosse feito em escala industrial. No final de 1914 a firma Basf já produzia cerca de 10 toneladas de NH_3 , mas o primeiro salto no consumo de fertilizantes nitrogenados ocorreu entre o final da Segunda Grande Guerra Mundial até a década de 1960. O segundo salto, muito maior que o primeiro, ocorreu no início dos anos 1960 até os anos 1980 (fig. 1).

Este vertiginoso aumento foi devido principalmente ao advento da Revolução Verde, termo cunhado para designar o desenvolvimento de novas variedades de milho, trigo e arroz. Estas variedades, geneticamente selecionadas, tinham um porte mais baixo que suas antecessoras e uma parte maior da energia disponível para as plantas era direcionada aos grãos, e não ao crescimento vegetativo. Como consequência, estas variedades eram muito **mais produtivas e respondiam muito mais à fertilização**. Segundo Norman Borlaug, o geneticista por trás da Revolução Verde, as variedades não melhoradas produziram somente 10 quilogramas a mais de grãos por quilograma de fertilizante nitrogenado aplicado. Por outro lado, as variedades melhoradas produziram 20 a 25 quilogramas a mais de grãos por quilograma de fertilizante aplicado.

Atualmente, as estimativas indicam que, sem o advento dos fertilizantes, a população do planeta seria aproximadamente metade da atual, se baseássemos nossa dieta somente em produtos vegetais. Portanto, o aumento na produção de alimentos, decorrente não somente do aumento na área plantada, mas também do aumento em



Microorganismos que vivem nas raízes das leguminosas transformam o nitrogênio inerte da atmosfera em forma orgânica, disponível para as plantas

produtividade graças à introdução de novas variedades e de pesadas doses de fertilizantes, foi fundamental para sustentar o crescente aumento na população mundial.

No entanto, o uso desigual de fertilizantes nitrogenados ao redor do globo causou sérios problemas ambientais e sociais. Nas regiões em que fertilizantes foram utilizados em excesso, uma série de danos ambientais ocorreram; **em contrapartida, nas regiões carentes desses fertilizantes**, suas populações são mal nutridas e passam fome. É esse exatamente o dilema que a humanidade enfrenta e que discutiremos no artigo da próxima edição.

Temas ligados ao nitrogênio serão intensamente debatidos com grandes especialistas do mundo todo na 4ª Conferência Internacional sobre Nitrogênio, a ser realizada de 1º a 5 de outubro de 2007, na Costa do Saúpe, Bahia. Mais detalhes sobre a conferência podem ser obtidos no seguinte endereço: www.nitrogen2007.com. ☐

Luiz Antonio Martinelli é professor titular do CENA/USP e coordenador da 4ª Conferência Internacional sobre Nitrogênio.