



Fertilizantes e seu Uso Eficiente

Harold F. Reetz

Tradução: Alfredo Scheid Lopes

Fertilizantes e o seu uso eficiente

Harold F. Reetz, Jr

Tradução: Alfredo Scheid Lopes

Um guia para auxiliar na compreensão geral das melhores práticas de manejo para o uso de fertilizantes no mundo com a finalidade de aumentar a produção das culturas, a lucratividade dos produtores, a eficiência dos recursos e reduzir impactos ambientais relacionados ao uso de fertilizantes na agricultura.

International Fertilizer Industry Association (IFA)

Paris, França, 2016

Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)

São Paulo, Brasil, 2017

A designação e a apresentação do material neste produto de informação não implicam na expressão de qualquer opinião por parte da International Fertilizer Industry Association. Isto inclui questões pertinentes ao estado legal de qualquer país, território, cidade ou área ou suas autoridades, ou em relação à delimitação de fronteiras e limites.

Primeira edição, IFA, Paris, França, Maio 2016

Copyright 2016 IFA. Todos os direitos reservados

ISBN 979-10-92366-04-4

Edição em português, ANDA, São Paulo, Brasil, Setembro 2017

IFA - International Fertilizer Industry Association, 28 Rue Marbeuf, 75008 Paris – France, Fax: +33 1 53 93 95 00, Phone: +33 1 53 93 05 00, publications@fertilizers.org, www.fertilizer.org, Twitter: fertilizernews

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos, Praça Dom José Gaspar 30, 9º andar, Centro, 01047-901, São Paulo, SP, Fone: 0113218-2807, Site: www.anda.org.br, E-mail: info@anda.org.br

**Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos
Técnicos da Biblioteca Universitária da UFPA**

Reetz, Harold F.

Fertilizantes e o seu uso eficiente / Harold F. Reetz, Jr ;
tradução : Alfredo Scheid Lopes. – São Paulo : ANDA, 2017.
178 p. : il. ; PDF

Bibliografia.

ISBN: 979-10-92366-04-4

1. Fertilizantes. 2. Fertilizantes orgânicos. 3. Solos –
Fertilização. 4. Fertilização de plantas. 5. Plantas – Nutrição.
I. Lopes, Alfredo Scheid. II. Associação Nacional para
Difusão de Adubos. III. International Fertilizer Industry
Association. IV. Título

CDD – 631.8

Conteúdo

Sobre o livro.....	7
Sobre o autor.....	9
Agradecimentos do autor.....	10
Sobre o tradutor.....	11
Lista das abreviações, acrônimos e símbolos.....	13
Sumário executivo.....	15
Introdução.....	18
Por quê usar fertilizantes.....	20
Melhorias na fertilidade do solo.....	22
Nutrientes de plantas.....	26
Fertilizantes minerais.....;	30
Nitrogênio (N).....	32
Fertilizantes nitrogenados.....	36
Características dos fertilizantes nitrogenados.....	39
Aumentando a eficiência no uso de nitrogênio.....	42
Fósforo (P).....	45
Fertilizantes fosfatados.....	47
Potássio (K).....	53
Fertilizantes potássicos.....	54
Nutrientes secundários.....	57
Enxofre (S).....	57
Cálcio (Ca).....	60

Magnésio (Mg).....	60
Micronutrientes.....	61
Outros nutrientes.....	61
Uso de fertilizantes.....	61
Concentração de nutrientes nos fertilizantes.....	64
Aumentando a eficiência dos fertilizantes.....	65
Fertilizantes revestidos e de liberação controlada.....	65
Inibidores.....	66
Outros	67
Fertilizantes orgânicos.....	67
Reações no solo.....	73
Estratégias para recomendação de fertilizantes.....	76
Estratégia de suficiência.....	76
Estratégia de manutenção.....	76
Estratégia de “construção”.....	77
Estratégia de “construção” e manutenção.....	78
Aplicações de fósforo e potássio.....	80
Potencial de suprimento de nitrogênio dos solos.....	82
Análise de solo.....	84
Sistemas motorizados de amostragem de solos.....	88
Análises de plantas.....	90
Avaliando o estado nutricional das plantas em tempo real.....	91
Sistemas de sensores.....	96

Sensoriamento remoto.....	100
Sistemas com base em satélites.....	102
Mapeando a condutividade elétrica (CE) no campo.....	103
Interpretando mapas de condutividade elétrica do solo.....	105
Influência da microbiologia do solo no manejo dos nutrientes de plantas.....	107
Manejo integrado de nutrientes de plantas (MINP).....	109
Gestão 4C's para o manejo de fertilizantes.....	111
Fonte certa.....	115
Dose certa.....	117
Época certa.....	118
Local certo.....	119
Agricultura de precisão e manejo de nutrientes por local específico.....	123
Aplicações da tecnologia da agricultura de precisão no manejo de fertilizantes.....	123
Construindo um manejo de nutrientes com a base de dados SIG para cada campo.....	124
Documentação das necessidades, doses de aplicação e respostas em produtividade.....	126
Como o manejo de nutrientes por local específico (MNLE) se ajusta para todas as escalas de operação e todas as partes do mundo.....	126

Dados georreferenciados são essenciais.....	128
Sistemas compreensivos de compartilhamento de dados para manejo adequado.....	128
MNLE para arroz na Ásia.....	129
Variabilidade espacial e MNLE para produção de trigo de primavera na China.....	131
Software nutriente especialista.....	131
Uso eficiente de nutrientes (UEN).....	135
Aspectos agronômicos, econômicos e ambientais do UEN...	136
Componentes do UEN.....	137
Balço e estimativa de nutrientes.....	141
Experimentos de campo de longa duração com elemento faltante.....	144
Aspectos econômicos no uso de fertilizantes.....	145
Experimentos com sistemas de manejo de nutrientes 4C's.....	147
Ensaio de UEN implementados pelo agricultor.....	150
Aspectos ambientais do uso de fertilizantes.....	156
Comercialização de créditos de fertilizantes.....	158
Segurança alimentar.....	159
Conclusões.....	159
Referências	161
Anexo: Fertilizantes simples registrados no Brasil.....	165

Sobre o livro

Este livro tem por objetivo servir como um guia para pessoas de todo o mundo que necessitam de uma compreensão geral sobre fertilizantes e como eles podem ser usados de maneira eficiente para manter e aumentar a produtividade do solo e das culturas, o lucro do agricultor, os serviços ambientais e a qualidade do solo. O foco desse livro é a gestão dos nutrientes, enfocando o seu manejo sob perspectivas econômicas, ambientais e sociais.

Uma breve discussão dos 17 nutrientes essenciais, suas fontes e funções nas plantas, estabelecem as bases para a discussão. As estratégias de manejo de nutrientes do solo em relação à manutenção, construção e suficiências são descritas. Características e manejo dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) são discutidos em detalhes e os nutrientes secundários e micronutrientes são revistos brevemente, com exemplos importantes.

Este livro é valioso para a compreensão do papel de práticas aprimoradas de manejo para o uso eficiente de fertilizantes. Ele não é um guia de “como fazer...”, mas um guia do “porquê” para o manejo de nutrientes.

A Estrutura Global para o Manejo de Nutrientes – Estratégia 4C: é usada para mostrar como aspectos agronômicos, econômicos, ambientais e sociais do uso de fertilizantes interagem, e como mudanças nas práticas de manejo afetam todas essas áreas. Detalhes de cada componente são discutidos ao longo do texto com alguns indicadores da performance que podem ser usados para monitorar e avaliar estas práticas.

O desenvolvimento da *agricultura de precisão*, com o conceito específico de manejo local, nas duas últimas décadas aumentou significativamente o manejo da fertilidade do solo, nossa habilidade de praticar uma melhor gestão dos nutrientes, e das ferramentas para monitoramento e avaliação dos resultados. A tecnologia e o seu papel, tanto nas economias desenvolvidas como nas em desenvolvimento é um componente crítico na melhoria do manejo da fertilidade do solo. O uso de sensores, que vão de coletores manuais

de dados a imagens de satélites, abriram algumas novas possibilidades para o ajuste fino das aplicações de nutrientes. Novas fórmulas de fertilizantes e vários aditivos criaram uma variedade de opções com os quais os agricultores e seus consultores podem desenvolver um plano de manejo integrado de nutrientes.

O *Uso Eficiente de Nutrientes* (UEN) é o componente central deste livro, com um esboço das diferentes definições de UEN, e os tipos de dados e processos analíticos necessários para avaliá-lo. Estratégias usadas por governos, academias, indústrias, ONG's e agricultores são discutidas com uma revisão específica do manejo de nutrientes por local específico (MNLE) desenvolvido pelo International Rice Research Institute (IRRI).

Ter dados adequados é um fator crítico para o uso eficiente de fertilizantes. Coleta de dados, manejo e interpretação com uma análise e modelagem adequadas e comunicação com vários consultores e interessados leva a um sólido programa de manejo da fertilidade do solo.

Agricultores, consultores e vendedores de insumos podem usar este livro para tomada de decisões mais adequadas sobre o manejo de nutrientes para as culturas. Revisão desses conceitos irão ajudar agências de governo e ONG's a compreender melhor o “porquê...?” do manejo dos nutrientes. Além disso, esta informação pode ser usada para ajudar a comunidade não relacionada à agricultura a entender melhor a importância dos fertilizantes para o seu bem estar, como suporte à produção das indústrias de alimentos, rações, fibras e combustíveis alternativos que dependem de uma agricultura viável e sustentável no mundo todo.

Fertilidade do solo e nutrição de plantas formam um sistema dinâmico. Embora isto tenha sido estudado por mais de 100 anos, ainda existe muito para ser aprendido. À medida que as exigências globais para produção das culturas continuam a crescer, o ajuste fino dos sistemas de manejo de nutrientes torna-se mais e mais crítico. O envolvimento da microbiologia do solo e das interações entre plantas e microrganismos precisam ser melhor compreendidos e manejados. Existem tentativas de introdução destas interações e de como aprender

a manejá-las para melhorar a nutrição das culturas. Gestão ambiental relacionada ao manejo de nutrientes tem também sido discutida em termos de tomadas de decisão sobre produtos fertilizantes, doses, épocas de aplicação e localização.

Sobre o autor



Dr. Harold F. Reetz, Jr., é um consultor agrônomo, proprietário da Reetz Agronomics, LLC., que realiza serviços de consultoria em Agronomia, sistemas de culturas de alta produtividade, agricultura de precisão, sistemas conservacionistas, e pesquisas nas fazendas.

Dr. Reetz passou a maior parte de sua carreira ligado ao International Plant Nutrition Institute (antigo Potash & Phosphate Institute), onde trabalhou como Diretor do Meio-Oeste (EUA) e Diretor para Suporte Externo da FAR (Foundation for Agronomic Research), sendo ainda presidente por 5 anos desta instituição. Dr. Reetz enfocou sua carreira em sistemas integrados de manejo de solos e culturas para altas produtividades, promovendo tecnologias para o manejo de nutrientes e agricultura de precisão. Ele trabalhou como líder do Projeto Global de Milho do IPNI para promover sistemas de produção intensivos visando altas produtividades em todas as grandes áreas de produção de milho no mundo. Em 1995, ele fundou a série InfoAgConference, fornecendo liderança internacional e rede na aplicação da agricultura de precisão e tecnologias de manejo da informação sobre sistemas de produção das culturas.

Dr. Reetz é graduado pela University of Illinois (B.S., 1970) e Purdue University (M.S., 1972, Ph.D., 1976).

Sua carreira profissional inclui as seguintes posições:

- 1974-1982-Purdue University-Especialista em Extensão na Produção de Milho, pesquisa na produção de milho com alta produtividade, modelagem na simulação de culturas; ensino de produção das culturas.
- 1982-2004-Potash & Phosphate Institute (PPI)-Diretor para o Meio-Oeste (EUA).
- 2004-2007-Foundation for Agronomic Research (FAR)-Presidente.

- 2007-2010- International Plant Nutrition Institute (IPNI)-Diretor de Suporte Externo e FAR.
- 2010-atual-Reetz Agronomics, LLC-Proprietário e Presidente.

É um Agrônomo Profissional Certificado e um Consultor de Culturas Certificado.

Membro ativo da American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), e Soil Science Society of America (SSSA). Dr. Reetz tem vários trabalhos de liderança nos últimos 40 anos. Ele foi um dos fundadores do programa Certified Crop Adviser (CCA), trabalhou vários anos no International CCA Board of Directors e como Chairman do International CCA Board. Recebeu o CCA Outstanding Service Award. Ele é um Fellow da CSSA, da ASA e recebeu o ASA Agronomic Service Award e o ASA Agronomic Industry Award. Recebeu inúmeros outros prêmios por seu trabalho como profissional em Agronomia e pelos serviços públicos prestados.

Alguns dos seus clientes de consultoria e projetos atuais incluem o Conservation Technology Information Center (CTIC), Argonne National Laboratories e vários agronegócios internacionais e companhias de tecnologias que dão suporte ao manejo eficiente de nutrientes, agricultura de precisão e desenvolvimento de novas tecnologias.

Agradecimentos do autor

É um prazer agradecer profundamente:

Patrick Heffer, IFA

- Angela Olegario, IFA
- Claudine Aholou-Putz, IFA – pelo layout
- Helène Ginet, IFA - pelos gráficos e figuras
- Luc Maene, antigo Diretor Geral da IFA

Gostaria de apresentar meu especial agradecimento a Bijay Singh (Punjab Agricultural University, Índia) por sua assistência na revisão do manuscrito e fornecer informações para adaptar o livro para uma audiência mais global.

Eu agradeço por todo suporte que me foi dado por minha esposa, Chris, enquanto eu trabalhava na seleção da literatura mundial sobre o papel dos fertilizantes no manejo dos solos e das culturas e colocava essas informações juntas de acordo com a minha própria experiência, para dar ao produtor rural um guia prático pra o efetivo e eficiente uso de nutrientes de plantas.

À International Fertilizer Industry Association (IFA) pelo suporte financeiro que permitiu a publicação deste livro.

Eu gostaria de dedicar esse livro aos meus netos e todas as crianças do mundo, na esperança de que de alguma forma simples ele irá ajudar a aumentar a produtividade, a eficiência, a economia e a gestão dos recursos relacionados ao manejo de nutrientes na produção das culturas para atender as necessidades de produção de alimentos, forragem, fibra, e energia alternativa para atender as gerações atuais e futuras.

Harold F. Reetz, Jr, Maio 2016.

Sobre o tradutor



O Professor Alfredo Scheid Lopes é Engenheiro Agrônomo pela ESAL (Escola Superior de Agricultura de Lavras) em 1961; Mestrado e PhD pela Universidade Estadual da Carolina do Norte, Estados Unidos, em 1975 e 1977, respectivamente.

Professor de Fertilidade e Manejo de Solos dos Trópicos na ESAL (hoje Universidade Federal de Lavras - UFLA) desde 1962. Autor de 86 trabalhos científicos publicados no Brasil e no exterior, 56 trabalhos publicados em congressos, 9 livros, sendo 3 como coautor e 6 livros como primeiro autor - com destaque para o primeiro livro eletrônico (hipermídia-multimídia) em Ciência do Solo no Brasil (Guia de Fertilidade do Solo – Versão 3.0), 2 traduções de livros, 27 capítulos de livros no Brasil e no exterior, 52 boletins técnicos além da edição de 6 livros de outros autores. Suas duas últimas publicações mais

relevantes são o Guia de Fertilidade do Solo, versão 4.0, atualizada e ampliada, agora on-line em website e A Career Perspective on Soil Management in the Cerrado Region of Brazil, publicado no periódico *Advances in Agronomy* ((Volume 137, 2016, p. 1–72) e que se constitui em uma releitura de suas teses de mestrado e doutorado defendidas na North Carolina State University, Raleigh, NC, EUA em 1975 e 1977, respectivamente.

Orientou 27 estudantes em iniciação científica e de pós-graduação no mestrado. Participou de 600 eventos no Brasil, e 32 no exterior na grande maioria com apresentação de palestras. Proferiu, pela sua experiência profissional em manejo de solos ácidos, conferências na Austrália, Filipinas, Japão, Itália, Inglaterra, Venezuela, Estados Unidos, Colômbia, Quênia, México, Argentina, Bali (Indonésia) e China, tendo, ainda, realizado visitas técnicas à Universidades e Centros de Pesquisas na Holanda, Alemanha, Espanha, Portugal, França, Havaí e Singapura.

Dentre prêmios e distinções recebidas, destacam-se: Certificado de Méritos da FAO, Roma, Itália, 1976; 1989; Prêmio Ceres de Produtividade Agrícola, Brasília, 1990; Professor Emérito pela ESAL, 1991; Pesquisador Emérito do CNPq em 2008; Prêmio Internacional de Fertilizantes, IFA, Paris, 1995; em 2013 recebeu três honrarias: Prêmio Pesquisador Sênior do IPNI - Internacional Plant Nutrition Institute Prêmio Norman Borlaug conferido pela ABAG, Fundação Agrisus e USP e o Prêmio Heróis da Revolução Verde Brasileira, promovido ABAG, ANDEF, FAO-ONU e EMBRAPA. Em 27 de abril de 2015, durante a abertura do Agrishow de Ribeirão Preto, o Professor Alfredo recebeu o Prêmio Brasil Agrociência, outorgado pela ABAG, ABMAQ, ANDA e SRB.

Atualmente é Professor Emérito da Universidade Federal de Lavras (UFLA) , aposentado em 1993 e até hoje Professor Voluntário do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. É também, Consultor Técnico da ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos em São Paulo.

Lista de abreviações, acrônimos e símbolos

ARN	ácido ribonucleico
B	boro
C	carbono
Ca	cálcio
CaCO ₃	carbonato de cálcio ou calcário
CaO	óxido de cálcio
CE	condutividade elétrica
CTC	capacidade de troca de cátions
CH ₄	metano
Cl	cloro
CO ₂	dióxido de carbono
Cu	cobre
DNA	ácido desoxirribonucleico
Fe	ferro
GPS	sistema de posicionamento global
ICP	espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado.
IFA	International Fertilizer Industry Association
IPNI	International Plant Nutrition Institute
K	potássio

KCl	cloreto de potássio também conhecido como MOP (muriato de potássio)
kg/ha	quilogramas por hectare
K-Mag	sulfato de potássio e magnésio
lb/A	libras por acre
MAP	fosfato de monoamônio
Mg	magnésio
MIFS	Manejo integrado da fertilidade do solo
MINP	Manejo integrado de nutrientes de plantas
MNLE	manejo de nutrientes por local específico
MOP	muriato de potássio também conhecido por KCl (cloreto de potássio)
MPMF	melhores práticas de manejo de fertilizantes
N	nitrogênio
N ₂	gás nitrogênio ou dinitrogênio
N ₂ O	óxido nitroso
NH ₃	amônia
NH ₄ ⁺	amônio
NAE	nitrogênio ambientalmente experto
ONG	organização não governamental
P	fósforo
PO ₄ ⁻³	íon de fosfato inorgânico

RTK	posicionamento cinemático em tempo real
S	enxofre
SIG	serviço de informação geográfica
SOP	sulfato de potássio
TCF	tabela de cores de folhas
TFI	The Fertilizer Institute
t/ha	tonelada por hectare
UAN	nitrato de amônio e uréia
UEN	uso eficiente de nutrientes
Zn	zinco

Sumário executivo

Os fertilizantes são responsáveis por aproximadamente metade da produção mundial das culturas, fornecendo alimento, forragem, fibra, e combustível alternativo para uma população global que deverá atingir 9 bilhões antes da metade do século 21. A maior parte dos fertilizantes vêm de matérias-primas de ocorrência natural que contêm minerais que são explorados ou extraídos em várias localidades. Uma exceção é o nitrogênio (N) que é produzido por meio da combinação do N₂ do ar com gás natural (mais comum), carvão, ou nafta para formar amônia anidra, que pode ser usada diretamente como fertilizante ou convertida para outra forma de fertilizante nitrogenado. A manutenção da produção das culturas depende de uma viável e eficiente indústria de fertilizantes no mundo, para ajudar a fornecer os nutrientes certos, na dose certa, na época certa e no local certo. Este desafio deve ser enfrentado de uma forma que seja econômico em todas as fases, desde a mina ou da fábrica de fertilizante até o campo, com respeito ao meio ambiente, e considerando aspectos sociais para

manutenção dos vários serviços do ecossistema para o público em geral.

Existem 17 nutrientes essenciais para o crescimento das culturas. Três deles – carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) – são fornecidos pelo ar e pela água. Os três macronutrientes primários – nitrogênio (N), fósforo (P), e potássio (K) são, principalmente, fornecidos pelo solo, mas deficiências no solo e remoção pelas culturas devem ser repostas via fontes suplementares – principalmente com fertilizantes. Os macronutrientes secundários – enxofre (S), cálcio (Ca), e magnésio (Mg) – não são menos essenciais, mas são usualmente, exigidos em menor quantidade como nutrientes. Finalmente, os micronutrientes – boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni) - são necessários em pequenas quantidades, mas tem funções essenciais como catalizadores nos processos metabólicos para o crescimento e desenvolvimento das culturas ou exercem outras funções chave. Aprender como as plantas utilizam cada um dos nutrientes, e a fonte, dose, época e localização de aplicação de cada um é importante para o manejo dos nutrientes e otimização da produção das culturas.

Tecnologia é uma parte importante no sucesso do manejo de nutrientes. Vários aditivos e recobrimentos que são adicionados aos fertilizantes ajudam a manter a disponibilidade dos nutrientes adequada durante o estágio de crescimento. Outras tecnologias ajudam os agricultores e seus consultores no desenvolvimento e implementação de planos de manejo de nutrientes. Sistemas de posicionamento global (GPS) guiam as aplicações de fertilizantes e outras atividades no campo, e sistemas de informação geográfica (SIG) permitem que os agricultores e seus consultores obtenham informações de referência geográfica sobre os campos. Monitores e sensores para o ajuste das doses de aplicação dos fertilizantes, e vários processos analíticos para acessar a disponibilidade de nutrientes do solo e os teores nas plantas são parte de um conjunto de tecnologias usadas para aumentar a eficiência no uso de fertilizantes.

Colocar todos os produtos e tecnologias juntos em um sistema integrado é a chave para o sucesso. A indústria de fertilizantes e as comunidades de pesquisa e extensão têm desenvolvido protocolos –

ou as melhores práticas de manejo - para orientar os agricultores e seus consultores na tomada de decisão sobre o manejo do solo e nutrientes de plantas. Os planos estratégicos para o manejo de nutrientes são construídos ao redor de uma estrutura global para a gestão dos nutrientes. Esta estrutura, em várias adaptações, é usada em todo o mundo para guiar o desenvolvimento e a implementação de planos de manejo de nutrientes e para ajudar a explicar ao público não relacionado à agricultura, porque o uso de fertilizantes é essencial.

Os fertilizantes se constituem em um recurso básico e importante para a produção das culturas. Os nutrientes fornecidos pelos fertilizantes são essenciais para a sobrevivência das plantas, animais, e seres humanos. O manejo adequado dos nutrientes é um ponto chave para o uso eficiente do suprimento disponível e para proteção ambiental e dos ecossistemas.

Introdução

O uso adequado de fertilizantes minerais é um dos principais fatores para promover a segurança alimentar global nos tempos atuais. Mais de 48% dos 7 bilhões de pessoas hoje, estão vivendo por causa do aumento da produção das culturas obtido pela aplicação de fertilizantes nitrogenados. A extensão pela qual a produção mundial de alimentos depende do uso de fertilizantes irá, inevitavelmente, aumentar no futuro. Sem fertilizantes, o mundo poderia produzir somente cerca da metade dos alimentos básicos, e mais áreas sob florestas teriam que ser convertidas em áreas para a produção com culturas. O impacto potencial dos fertilizantes no suprimento da necessidade global da produção das culturas foi mostrado por espigas de milho apresentadas por um agricultor da Nigéria (Figura 1) na Conferência do Milênio em 2000, na sede das Nações Unidas, em Nova York. Ele plantou milho sem fertilizantes e não foi capaz de atender as necessidades alimentícias de sua família. Quando começou a usar fertilizantes, as produtividades tiveram grande aumento e ele pode alimentar sua família e ainda ter milho suficiente para ser vendido. Em termos globais, 180,6 milhões de toneladas de nutrientes foram usadas para produção das culturas em 2013; 70,2% e 29,8% foram usados em países desenvolvidos e países em desenvolvimento,



Figura 1. Um agricultor africano no encontro das Nações Unidas em Nova York, mostrando o impacto do fertilizante na produtividade do milho, 24 de abril de 2000 (Harold Reetz)

respectivamente. China e Índia, os dois países mais populosos do mundo, consumiram 42,8% do total de nutrientes aplicados via fertilizantes no mundo.

Estima-se que a população mundial irá atingir 9 bilhões de pessoas no ano de 2050. De acordo com essa projeção revista pela FAO em relação à agricultura mundial, a produção agrícola global em 2050 deverá ser 60% maior do que em 2005/2007. Melhorias no padrão de vida da população mundial irão aumentar, ainda mais, a demanda por alimentos, fibras e energia. Ao mesmo tempo ocorre uma diminuição de terras produtivas de modo que os fertilizantes minerais irão desempenhar um papel importante para a segurança alimentar mundial, tanto sob a perspectiva de produtividade como de qualidade dos alimentos. O desafio à frente é manejar os fertilizantes e o solo de uma forma sustentável de modo que haja uma melhoria contínua na produção das culturas alimentícias e fibrosas através do uso de práticas científicas adequadas e envolvendo o uso eficiente de fertilizantes.

Melhores práticas de manejo de fertilizantes (MPMF) são parte de um sistema integrado de produção (Figura 2) que inclui o manejo das culturas e todos os componentes envolvendo o manejo dos nutrientes



Figura 2. Diferentes aspectos do manejo de nutrientes são uma parte dos sistemas integrados de agricultura.

de plantas de um sistema de produção completo. Com base nos princípios de gestão de nutrientes, as MPMF não somente preenchem os quatro objetivos de manejo da produtividade, lucratividade e sustentabilidade do sistema de produção, e um favorável ambiente biofísico e social. Princípios científicos específicos e universais no desenvolvimento e implementação da MPMF têm sido descritos e discutidos para aumentar a eficiência de uso dos nutrientes através de uma variedade de fertilizantes e novas tecnologias não somente para aumentar a produção das culturas, mas para reduzir os impactos negativos do uso de fertilizantes nos recursos do ar e hídricos.

Este livro não é uma revisão exaustiva sobre nutrição de plantas e uso de fertilizantes. O objetivo é proporcionar uma visão geral de conceitos importantes relacionados ao manejo de nutrientes e sobre o papel que os fertilizantes têm para manter o mundo alimentado, vestido, com mobilidade e saudável. A intenção é que ele sirva de guia aos agricultores, planejadores e técnicos de extensão para mostrar por que os fertilizantes são essenciais. Tem também o objetivo de desmistificar alguns mitos que são resultado do desconhecimento sobre a natureza desses importantes produtos. Além disso, este livro serve como uma referência para os professores e estudantes no processo de aprendizado sobre fertilizantes, e como um livro de bolso para aqueles que necessitam de uma consulta rápida sobre os fatos e conceitos apresentados.

Por que usar fertilizantes?

A meta do manejo de nutrientes é fornecer um suprimento adequado de todos os nutrientes essenciais para uma cultura durante o período de crescimento. Se a quantidade de qualquer nutriente é limitante em qualquer momento, existe um potencial para perda da produção. À medida que a produtividade das culturas aumenta, as quantidades de nutrientes exportados dos campos de produção onde as culturas são plantadas também aumentam, o suprimento de nutrientes do solo pode tornar-se deficiente a não ser que a área receba suplementação desses através da aplicação de fertilizantes. Os fertilizantes precisam ser aplicados em todos os tipos de sistemas de produção das culturas com a finalidade de se obter níveis adequados de produtividades que fazem

com que os esforços de produção sejam vantajosos. Práticas modernas de adubação, introduzidas primeiramente na parte final dos anos 1800 e baseadas no conceito químico da nutrição de plantas, contribuíram de modo marcante para o aumento da produção agrícola e resultou, também, em melhor qualidade dos alimentos e das forragens. Além disso, os retornos econômicos obtidos pelos agricultores aumentaram substancialmente em decorrência do uso de fertilizantes na produção das culturas.

O agrônomo alemão, Carl Sprengel (1787-1859) foi o primeiro a publicar a *Lei do Mínimo* ao redor de 1837 que afirma que a produtividade da planta é proporcional à quantidade disponível do nutriente mais limitante, e, se essa deficiência for corrigida, a produtividade irá aumentar até o ponto do próximo nutriente mais limitante no solo. O químico alemão, Justus von Liebig (1803-1873) tem levado o crédito na promoção deste conceito, e por desenvolver o primeiro fertilizante mineral a ser usado como parte de sistemas sustentáveis de produção agrícola. A lei do Mínimo é comumente ilustrada pelas tábuas de um barril quebrado (Figura 3) em que, cada tábua representa um insumo essencial para o crescimento da cultura.

O barril (representando a produtividade) somente poderá ser preenchido até o ponto da tábua mais curta (o insumo mais limitante). O nitrogênio foi o mais curto, ele representa o fator mais limitante. Outros nutrientes vêm em seguida.

Quando os nutrientes foram introduzidos, eles foram usados para fornecer os nutrientes primários N, P e K. Nas áreas onde os nutrientes primários não se constituem mais em fatores limitantes, os fertilizantes são usados para fornecer os nutrientes secundários e também os micronutrientes. Em um grande número de solos tanto nos países desenvolvidos como nos em desenvolvimento, nutrientes secundários e micronutrientes estão se tornando os elementos limitantes para a produção das culturas porque os agricultores começaram a aplicar quantidades substanciais dos nutrientes primários. Entretanto, em vários países em desenvolvimento na África e na Ásia, N e P são, ainda, os elementos limitantes na produção das culturas



Figura 3. Visualização das tábuas do barril representando A Lei do Mínimo de Liebig (ca 1840). A tábua do nitrogênio é a mais curta, indicando que ele é o elemento mais limitante.

Melhorias na fertilidade do solo

Solos férteis e produtivos são componentes vitais das sociedades estáveis porque eles garantem o crescimento das plantas, necessário para produzir alimentos, fibras, forragem, produtos industriais, energia e para um ambiente de produção sustentável. A fertilidade do solo integra os princípios básicos da biologia do solo, química do solo, e física do solo para desenvolver as práticas necessárias para manejar os nutrientes de uma maneira lucrativa e também de forma ambientalmente saudável. Os solos divergem amplamente na sua habilidade de atender as exigências de nutrientes das plantas, a maioria apresenta apenas uma fertilidade moderada. Para se atingir os objetivos de produção, mais nutrientes são necessários do que aqueles que podem ser supridos pelo solo. Altas produtividades das culturas

implicam em grande esgotamento no suprimento de nutrientes, que, eventualmente precisa ser balanceado pelo aumento no uso de insumos contendo nutrientes para manter os solos férteis, necessários para nossa sociedade. Assim um marco da agricultura de alta produtividade é a dependência de fertilizantes minerais para restaurar a fertilidade do solo. Em um contexto mais amplo de produtividade, a fertilidade regula o suprimento de nutrientes herdados naturalmente nos solos ou aplicados como esterco ou outros fertilizantes orgânicos ou organominerais.

Solos com alta fertilidade natural podem alcançar produtividades substanciais mesmo sem a aplicação de fertilizantes, mas podem alcançar produtividades ainda maiores pelo suprimento adicional dos nutrientes limitantes. Uma fertilidade adequada do solo fornece a base para uma agricultura de sucesso e não deve ser negligenciada. Existem diversas formas de manejo da fertilidade do solo na agricultura:

- *mineração de nutrientes* - praticar agricultura sem fazer uso de fertilizantes (ex: agricultura itinerante);
- *utilização* de tantos componentes da fertilidade do solo quanto possível, sem compensação e ainda sem efeitos negativos na produtividade (ex. pela aplicação apenas de quantidades moderadas de fertilizantes com N e P);
- *manutenção e melhoramento* da fertilidade entre diferentes tipos e subtipos de solos para assegurar consistentes altas produtividades (ex. pela compensação por perdas decorrentes da remoção ou do uso de corretivos e fertilizantes para melhorar a fertilidade);

As grandes diferenças em fertilidade entre subtipos de solos devem ser levadas em consideração. Algumas importantes características do solo importantes para o manejo de nutrientes podem ser agrupadas geograficamente e recomendações gerais podem ser sumarizadas como segue:

Solos dos trópicos úmidos

- parcialmente muito ácidos (calagem é necessária, geralmente para atingir pH 5,5 ou mais);

Box 1. O papel dos fertilizantes para produtividade das culturas

As principais oportunidades para aumentar a produção são (1) expandir o uso de terra agricultável ou (2) aumentar as produtividades das terras atualmente em produção. O potencial para se colocar novas terras em produção é limitado, e se novas terras são disponíveis elas são, geralmente, menos produtivas. A necessidade será suprida, talvez, pela combinação das duas alternativas acima, mas atingir as necessidades futuras de produção de alimentos através do aumento da produção por maiores produtividades das terras já cultivadas é um cenário mais favorável.

- Produção de cereais é responsável por 50% do uso de fertilizantes no mundo.
 - Globalmente, fertilizantes comerciais tem sido o maior caminho para a aplicação de nutrientes, mais do que dobrando as quantidades de novos N e P entrando na biosfera terrestre desde a década de 70.
 - Dos ganhos de produção mundial das culturas no mundo, cerca de metade tem sido atribuído ao uso de fertilizantes.
- Cerca de 70% do consumo global de fertilizantes ocorre nos países em desenvolvimento, e vem aumentando desde a Revolução Verde.
- Fertilizantes comerciais vão continuar a ter um papel vital na diminuição da distância entre as produtividades atuais das culturas e as produtividades possíveis.
- Exceto para a Oceania e Leste Europeu/Ásia Central, as produtividades de cereais em muitas regiões industrializadas tem continuado a crescer nos últimos 30 anos sem aumento significativo no uso de fertilizantes nitrogenados (Dobermann, 2006), em decorrência do aumento substancial na eficiência no uso de fertilizantes.

(continua)

Box 1. (continuação)

- Aumento na produção agrícola não necessariamente representa um aumento proporcional na necessidade do uso de fertilizantes. Melhoramentos no manejo e eficiência no uso de fertilizantes permitem que se atinjam, mais rapidamente, aumentos na produtividade do que da taxa de uso de insumos, exceto nas regiões onde se usa poucos fertilizantes.
 - Juntamente com uma genética de melhor qualidade, melhoria das práticas agrícolas e manejo eficiente dos fertilizantes serão necessários para que se obtenham aumentos significantes na produtividade das culturas.
 - Tanto nos climas temperados como nos climas tropicais, os fertilizantes servem para finalidades idênticas de suprir quantidades adequadas de nutrientes para as culturas atingirem altas produtividades.
 - Os fertilizantes são aplicados para:
 - suprir o requerimento natural de nutrientes do solo com a finalidade de satisfazer as culturas com alto potencial de produtividade;
 - compensar a remoção de nutrientes pelas plantas assim como perdidos dos sistemas solo-planta via mecanismos como lixiviação e volatilização;
 - aumentar e manter o nível de fertilidade do solo.
-
- geralmente têm baixa disponibilidade de P ou características que promovem alta fixação de P (uso de fertilizantes fosfatados é, conseqüentemente, essencial, em combinação com a calagem);
 - em áreas muito úmidas, geralmente com baixo teor de K, Mg e S disponíveis (em conseqüência existe uma alta demanda por esses nutrientes);
 - geralmente, apresenta baixa capacidade de troca de cátions ou de armazenamento de nutrientes (assim a aplicação de fertilizantes deve ser dividida em vários parcelamentos da adubação).

- geralmente têm baixa disponibilidade N, apesar da decomposição da matéria orgânica permitir uma rápida mineralização;

Solos dos sub-trópicos

- deficiência de água (sem irrigação, o uso de fertilizantes deve ser adequadamente adaptado ao uso eficiente de água);
- N é frequentemente o nutriente mais crítico, em decorrência do baixo teor de húmus;
- deficiência generalizada de P, especialmente dos solos arenosos;
- reação neutra do solo (consequentemente deficiência de Fe e Zn disponíveis);
- risco de salinidade em decorrência da falta de lixiviação dos sais da zona das raízes.

Solos das regiões temperadas húmidas

- acidez generalizada dos solos necessitando calagem;
- ocorrência de barreiras físicas ao crescimento das raízes (ex. camadas compactadas no subsolo);
- geralmente deficiente em N disponível e frequentemente de P, K e Mg;
- baixa reserva de nutrientes em solos arenosos, e, também, somente pequeno armazenamento destes, e, em consequência, considerável lixiviação com excesso de água;
- fixação parcial do P e do Mo (em decorrência da acidez natural do solo) e Cu (em solos orgânicos);
- estresse climático devido ao frio, que atrasa o processo a absorção de nutrientes;

Nutrientes de plantas

As plantas contêm praticamente todos os (118) elementos químicos naturais, mas 17 elementos têm sido identificados como nutrientes *essenciais* que são requeridos para o crescimento das plantas. Estes precisam ser fornecidos pelo solo ou por resíduos de plantas e de animais e/ou outras fontes orgânicas ou por fertilizantes minerais. Para um elemento químico ser considerado essencial, deve ser

Box 2. Fertilidade do solo e produtividade

- Produtividade do solo é uma medida da habilidade do solo para produzir uma cultura em particular ou uma sequência de culturas sob um sistema específico de manejo. Apenas um ótimo estado nutricional não garante a produtividade do solo;
- Produtividade do solo, abrange a fertilidade do solo, somando-se todos os outros fatores que afetam o crescimento das culturas, incluindo o manejo do solo;
- Fertilidade do solo tem como conotação, primeiramente, combinar os efeitos das propriedades químicas e biológicas, e é, provavelmente o fator isolado de solo mais importante afetando a produtividade;
- Fatores como umidade e temperatura, condições físicas, acidez e salinidade dos solos além de fatores de estresse bióticos (doenças, insetos e ervas daninhas) podem reduzir a produtividade mesmo nos solos mais férteis. Fatores como clima, (incluindo pluviosidade, evaporação, radiação solar, temperatura e ventos), estão fora do controle do agricultor, mas a fertilidade do solo é influenciada pelas atividades atuais e do passado dos agricultores, tais como, pelo uso de estercos, adubação e natureza das culturas cultivadas.
- Todos os solos produtivos são férteis para as culturas sendo cultivadas, mas muitos solos férteis são improdutivos por eles serem sujeitos a fatores de crescimento ou práticas de manejo não satisfatórias.

demonstrado que uma planta não pode completar seu ciclo de vida na sua ausência, e que nenhum outro elemento pode substituir o elemento em questão. Três desses, carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), são usados em maior quantidade e são fornecidos pelo ar e pela água. Os outros 14 nutrientes são *elementos minerais* obtidos do solo através das raízes das plantas.

Os três *macronutrientes* são requeridos pelas plantas relativamente em grandes quantidades. Nitrogênio como gás N_2 forma 78% da atmosfera da Terra e não é reativo. Ele precisa ser convertido em formas reativas quimicamente (amônio e nitrato) para ser utilizado

pelas plantas. Esta conversão é feita por microrganismos no solo, por bactérias simbióticas vivendo em associações com as plantas ou por reações químicas. O fósforo (P), usualmente ocorre em grandes quantidades nos minerais do solo e na matéria orgânica, e precisa ser convertido para íons de fosfato inorgânico (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}) para serem usados pelas plantas. O potássio (K) existe em grandes quantidades em minerais e é adsorvido na forma iônica (K^+) nas partículas do solo e da matéria orgânica. Ele entra nas raízes das plantas como um íon K^+ , geralmente por osmose através das paredes celulares como um acompanhante dos íons de cargas negativas. O potássio não forma nenhum composto químico nas plantas, mas exerce um papel importante no transporte de água e outros íons através da membrana das células.

Enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), os *três macronutrientes secundários*, não são menos necessários que os macronutrientes primários para o crescimento das plantas, mas são exigidos em quantidades menores. O enxofre é encontrado na matéria orgânica, mas também ocorre em alguns minerais de argila. É assimilado pelas plantas como sulfato (SO_4^{2-}). O cálcio e o magnésio são facilmente disponíveis no solo e são absorvidos como cátions pelas raízes das plantas. O cálcio é importante como componente estrutural da parede celular e dos tecidos de plantas enquanto o Mg tem uma função maior na fotossíntese como um componente da molécula da clorofila. Os outros oito nutrientes essenciais necessários para as plantas em pequenas quantidades são chamados de *micronutrientes* e são eles: ferro (Fe), zinco (Zn), cobre, (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cloro (Cl), boro (B), e níquel (Ni). Cobalto (Co) e silício (Si) são os dois nutrientes que são essenciais, ou pelo menos benéficos, para algumas espécies de plantas, mas não exigidos por todas as plantas.

A Tabela 1 lista os 14 minerais essenciais, a forma pela qual eles são absorvidos pelas plantas, sua principal forma nos solos, e as quantidades relativas encontradas nas plantas (listadas como átomos por planta).

Nutrientes benéficos adicionais usados por algumas plantas, mas não considerados essenciais são:

Tabela 1. Nutrientes minerais essenciais e benéficos para as plantas (IPNI Manual 4C).

Categoria	Nutriente	Símbolo	Forma primária de absorção	Forma principal das reservas no solo	Número relativo de átomos nas plantas
Macro-nutriente	Nitrogênio	N	nitrato, NO_3^- amônio, NH_4^+	matéria orgânica	1 milhão
	Fósforo	P	fosfato, HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-	matéria orgânica, minerais	60.000
	Potássio	K	ion potássio, K^+	minerais	250.000
	Cálcio	Ca	ion cálcio, Ca^{2+}	minerais	125.000
	Magnésio	Mg	ion magnésio, Mg^+	minerais	80.000
	Enxofre	S	Sulfato, SO_4^{2-}	matéria orgânica, minerais	30.000
Micro-nutriente	Cloro	Cl	cloreto, Cl^-	minerais, chuvas	3.000
	Ferro	Fe	ferro ferroso, Fe^{2+}	minerais	2.000
	Boro	B	ácido bórico, H_3BO_3	matéria orgânica	2.000
	Manganês	Mn	ion manganês, Mn^{2+}	minerais	1.000
	Zinco	Zn	ion zinco, Zn^{2+}	minerais	300
	Cobre	Cu	ion cúprico, Cu^{2+}	matéria orgânica, minerais	100
	Molibdênio	Mo	molibdato, MoO_4^{2-}	matéria orgânica, minerais	1
	Níquel	Ni	ion níquel, Ni^{2+}	minerais	1

- Sódio (Na): absorvido como Na^+ ; pode substituir parcialmente o K em algumas plantas;
- Silício (Si): absorvido como silicato; fortalece os colmos dos cereais para resistir ao acamamento;
- Cobalto (Co): envolvido na fixação de N em leguminosas, está sendo considerado o 18º nutriente essencial para as culturas;
- Alumínio (Al): considerado benéfico para algumas plantas como as utilizadas para fazer chá.

A disponibilidade de nutrientes para a absorção pelas raízes está ligada à habilidade de acessarem suprimentos adequados de cada nutriente, seja pelo crescimento das raízes para alcançarem os nutrientes no solo (interceptação radicular), pelo movimento dos nutrientes para as raízes na água do solo pelo processo de difusão na solução do solo ao longo de um gradiente de concentração, ou por fluxo de massa da água para as raízes. À medida que a camada superior de micronutrientes de formas disponíveis (Holloway *et al.*, 2010) e as plantas precisam obter micronutrientes do subsolo onde a disponibilidade é geralmente baixa por causa do pH elevado e baixa densidade de raízes. Sob tais condições, genótipos eficientes na absorção de nutrientes expressam sua superioridade.

A sessão seguinte apresenta uma discussão mais detalhada sobre cada um dos nutrientes, suas fontes nos fertilizantes e formulações, suas funções nas plantas e outras informações para ajudar a entender melhor como cada nutriente pode ser melhor manejado.

Fertilizantes minerais

Numerosos fertilizantes minerais têm sido desenvolvidos para suplementar os nutrientes já disponíveis no solo e para suprir as altas exigências das culturas (Box 3). Estes são, geralmente, sais minerais, exceto para alguns compostos orgânicos como a uréia que é facilmente convertida à amônio. A classificação usual em fertilizantes simples ou complexos usualmente refere-se somente aos três macronutrientes. Muitos fertilizantes chamados de fertilizantes simples, na realidade, suprem mais que um nutriente, ex. o sulfato de amônio contém ambos N e S.

Box 3. Tipos de fertilizantes minerais (de acordo com diferentes critérios)

Método de produção

- natural (como encontrado na natureza ou somente processado);
- sintético (manufaturado por processos industriais).

Número de nutrientes

- fertilizantes simples (seja para macronutrientes primários, secundários ou micronutrientes);
- multinutriente (múltiplos nutrientes) ou fertilizantes compostos, com 2, 3 ou mais nutrientes;

Tipo de combinação

- fertilizantes mistos, i.é. uma mistura física de dois ou mais nutrientes simples ou fertilizantes multinutrientes (para produtos granulados isto pode compreender uma mistura de grânulos separados contendo ingredientes individuais, ou grânulos em que cada um contenha esses ingredientes);
- fertilizantes complexos, em que dois ou mais dos nutrientes são combinados quimicamente (ex. nitrofosfato, fosfatos de amônio).

Formas físicas

- sólido (pó, farelado, perolado ou granulado) com várias amplitudes quanto ao tamanho;
- líquido (soluções ou suspensões);
- gasoso (líquido sob pressão, ex. amônia).

Modo de ação

- ação rápida (solúvel em água e imediatamente disponível);
- ação lenta (necessária a transformação em uma forma solúvel).

A fórmula do fertilizante é usada para classificar diferentes produtos com base na concentração dos 3 macronutrientes. A concentração dos nutrientes, ou fórmula, pode se referir à concentração total ou disponível de nutrientes, e pode ser expressa, por tradição, para alguns nutrientes na forma de óxidos (P_2O_5 , K_2O) ou na forma elementar (N, P, K).

Por exemplo, uma fórmula de fertilizante 7-28-14 contém 7% de N, 28% de P_2O_5 e 14% de K_2O .

Nitrogênio (N)

O nitrogênio é um componente chave dos aminoácidos e das proteínas. Ele também faz parte da molécula de clorofila, que controla a fotossíntese, a reação de captura da energia solar pelas plantas. O N e o Mg são os únicos elementos da molécula da clorofila que vêm do solo. Adequado suprimento de N é necessário para o processo da fotossíntese e para a produção de proteínas nas culturas.

O nitrogênio ocorre em uma variedade de formas no solo, e pode ser absorvido em diferentes formas pelas plantas em crescimento. Durante a estação de crescimento, e mesmo entre as estações, o N é transformado de uma forma para outra por vários processos químicos e biológicos. Ele pode, também, tornar-se reativo pelos relâmpagos e depositado no solo através das chuvas. Alguns desses processos tornam o N mais disponível para as plantas, enquanto outros reduzem sua disponibilidade. O nitrogênio também pode ser perdido dos sistemas de produção por várias formas. Ele pode ser perdido para a atmosfera, a partir do solo ou das plantas em crescimento como gás N_2 , amônia (NH_3), óxido nitroso (N_2O), ou gases NO_x ; ele pode ser perdido como nitrato (NO_3^-) na água do solo por lixiviação ou escoamento da superfície do solo. Em resumo, o N é um elemento muito reativo como sumarizado na figura do ciclo do N, forma numerosos compostos bioquímicos nas plantas, e exerce uma variedade de funções no crescimento e desenvolvimento das plantas. Isto torna complicado o manejo deste nutriente, mas também oferece muitas oportunidades para manejá-lo. Embora seja um dos nutrientes mais estudados, em várias formas ele permanece um dos menos compreendidos. Mas sua importância na produção das culturas e na alimentação humana e animal o torna uma parte muito importante do manejo de nutrientes. Como um componente importante dos aminoácidos e proteínas, assim como outros componentes importantes dos alimentos, o N merece atenção especial.

O nitrogênio é também importante em decorrência do seu impacto no meio ambiente. Nos corpos aquáticos de superfície, nitrato-N é um

nutriente importante que promove crescimento de algas e plantas aquáticas, as quais à medida que morrem e se decompõem, prendem o oxigênio da água, criando condições de hipóxia que leva a falta de oxigênio aos animais aquáticos. O nitrogênio no solo pode também ser liberado para a atmosfera como N_2O que é mais de 300 vezes mais potente do que CO_2 como um gás de efeito estufa. Uma meta importante das melhores práticas de manejo de fertilizantes (MPMF) é reduzir a liberação de formas reativas de N (outras formas diferentes de N_2) no meio ambiente.

A camada arável da maioria dos solos contém entre 0,08 e 0,4% de N, com uma média representativa de 0,15%. Isto equivale a 3.360 kg de N/ha ocorrendo naturalmente no solo, sendo a maior parte como compostos orgânicos, que são lentamente decompostos para o N tornar-se disponível para o crescimento das plantas. Em comparação com o N total do solo, aquele aplicado via fertilizantes, embora mais prontamente disponível, constitui-se em uma pequena fração no solo. O nitrogênio aplicado como fertilizante meramente contribui com o reservatório de N no solo. As mudanças dinâmicas na forma de N no solo fazem com que o manejo do mesmo seja um processo muito complexo. Fazer a separação de quanto de N de uma referida fonte contribui para o crescimento das culturas, quanto para as perdas para a atmosfera, e quanto para a contaminação das águas, é praticamente impossível. Uma vez que todos esses processos partem de um mesmo reservatório, é difícil mostrar de modo conclusivo como o manejo de uma fonte de N pode causar impacto em quaisquer dos processos ou de seus produtos. Tudo isso é parte de um dinâmico sistema de N. Isto faz com que qualquer tentativa de monitorar e controlar perdas de N dos campos de produção se torne uma tarefa extremamente difícil. Mas os agricultores ainda podem se beneficiar deste nutriente se fizerem um grande esforço para manejo adequado da parte do processo sobre a qual eles têm algum controle.

A Figura 4 ilustra a relação entre algumas das várias formas, processos e reações do N nas culturas, solos, e atmosfera. A dinâmica de nitrogênio no solo é muito complexa. O processo importante da nitrificação (transformação do amônio em nitrato por ação bacteriana)

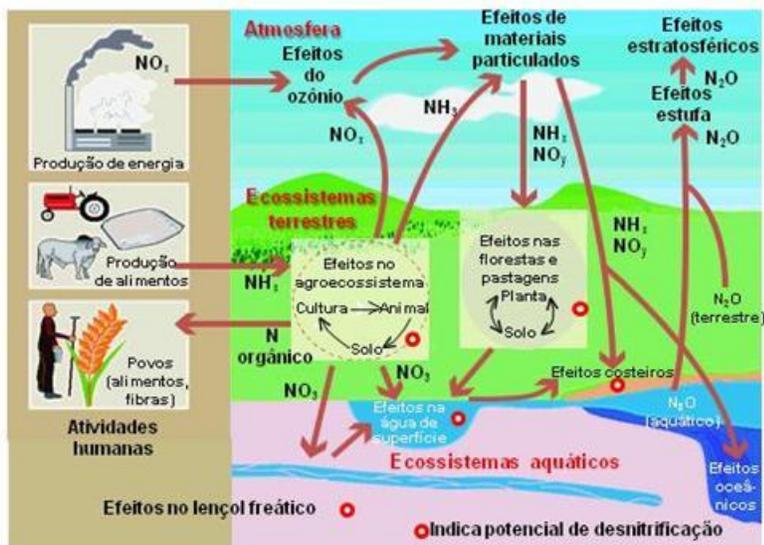


Figura 4. A “Cascata do Nitrogênio” ilustrando a interação de várias formas de N no ciclo do N (adaptado de Galloway et al., 2003).

ocorre rapidamente quando as temperaturas são moderadas. Desnitrificação, outro processo bacteriano, converte nitrato em gás N_2 , que é perdido para a atmosfera.

O ciclo do N (Figura 5) mostra as interações entre as formas de N no sistema solo-planta-atmosfera para a produção das culturas. O N reativo nestes sistemas está em uma constante troca dinâmica entre as várias formas.

O nitrogênio é dinâmico, mudando constantemente entre as formas reativas como resultado dos processos químicos e biológicos. Isto o torna importante sob o ponto de vista agrícola, natural e ambiental. Existem muitas oportunidades de manejo para afetar esses processos e causar impacto na eficiência de uso deste importante nutriente na agricultura. A Figura 6 mostra as quantidades relativas do N ocorrendo comumente nas várias formas no sistema solo-planta-atmosfera. Cada um dos pontos de transição no diagrama representa oportunidades de decisão quanto ao potencial manejo de N.



Figura 5. O Ciclo do Nitrogênio - A troca dinâmica entre as várias formas de N no sistema solo-planta-atmosfera (IPNI)

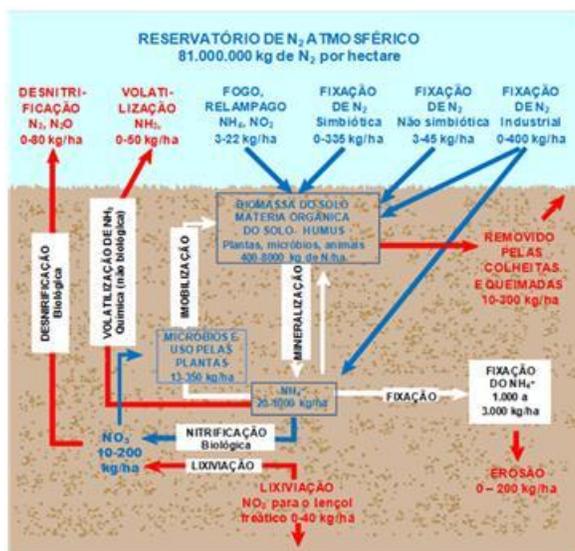


Figura 6. Quantidades de N comumente encontradas em cada forma no ciclo do N (Adaptado da Universidade da Flórida).

Fertilizantes nitrogenados

Fertilizantes nitrogenados são produzidos em uma variedade de formulações, cada uma com diferentes propriedades e usos para os sistemas de produção das culturas. Todos esses essencialmente começam com a amônia anidra que é produzida do ar e gás natural pelo processo de Haber-Bosch através da reação química $[3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3]$, sob alta temperatura e pressão. Este processo, desenvolvido na Alemanha logo antes de 1ª Guerra Mundial, é, algumas vezes considerado, o desenvolvimento tecnológico mais importante do século 20. O processo Haber-Bosch dá suporte à maior parte da produção de alimentos no mundo pela produção de amônia, a principal matéria prima para a fabricação da maioria dos fertilizantes nitrogenados. Erisman *et al.* (2008) estimam que, na ausência de fertilizantes nitrogenados, nós produziríamos 48% menos alimento. De acordo com a IFA, a produção global de fertilizantes ligados à amônia foi de 137 milhões de toneladas em 2014. Além da aplicação direta do fertilizante amônia anidra, amônia é também usada com matéria prima na produção de uréia, nitrato de amônio e outros fertilizantes nitrogenados, assim como na produção de MAP, DAP e outros fertilizantes multinutrientes.

O processo Haber é assim chamado em homenagem ao cientista alemão *Fritz Haber*, e ao químico industrial *Carl Bosch*. *Haber foi a primeira pessoa a completar o processo com sucesso. Em 1909, o processo de Haber podia produzir cerca de um copo de amônia a cada duas horas. Bosch ajudou a desenvolver o processo para a indústria. Em 1913, a companhia alemã BASF começou a usar o processo Haber para produzir amônia. Durante a 1ª Guerra Mundial, o processo de Haber foi usado para fabricar explosivos. Os alemães mantiveram isto em segredo após a guerra. Em 1918, Haber ganhou o Prêmio Nobel de Química, e, em 1931, Bosch também dividiu o Prêmio Nobel.*

A amônia anidra foi então reformulada em várias outras fontes de fertilizantes com N, dando aos agricultores uma ampla gama de fertilizantes nitrogenados para manejar o N e melhor atender as necessidades das culturas assim como as necessidades logísticas.

Alguns dos fertilizantes nitrogenados mais comuns são descritos abaixo.

Amônia anidra (NH_3) é o fertilizante nitrogenado comercial mais concentrado (82% de N). Uma vez que a fonte mais comum de energia para fabricar fertilizantes nitrogenados é o gás natural (metano), as fábricas para produção de amônia são usualmente localizadas próximas aos suprimentos de gás natural. A amônia é transportada pelo mundo em dutos, caminhões, ferrovias e navios, como um líquido sobre pressão e/ou refrigeração para mantê-la abaixo do ponto de ebulição ($-33\text{ }^\circ\text{C}$, $-27\text{ }^\circ\text{F}$).

A amônia é usualmente aplicada ao solo por injeção a uma profundidade de 10 a 20 cm como um líquido pressurizado que vaporiza imediatamente, e reage com a água do solo para ser convertido em amônio (NH_4^+). Este íon é então adsorvido às cargas negativas dos locais de capacidade de troca nos minerais de argila e matéria orgânica no solo.

Aquamônia (20 a 24% de N) é produzida misturando amônia com água. Esta forma pode ser adicionada à água de irrigação como uma forma alternativa de aplicação.

Sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] (21% de N) é produzido como um subproduto industrial e é um dos fertilizantes nitrogenados manufaturados mais antigos. Ele é obtido da fabricação do aço, nylon e outros processos que utilizam o ácido sulfúrico. Ele é frequentemente usado como um carreador para a aplicação de herbicidas, ajudando a aumentar a eficácia destes. Ele também contém 24% de S, tornando-o uma alternativa de uso quando se necessita fornecer este nutriente.

Uréia (46% de N) é o fertilizante nitrogenado sólido mais usado no mundo. A produção de uréia envolve reação controlada do gás amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2) com temperatura e pressão elevados. A uréia liquefeita é transformada em esferas com equipamento de granulação especializado ou endurecida em uma perola sólida enquanto cai de uma torre. Durante a produção de uréia, duas moléculas de uréia podem, inadvertidamente, combinar-se para

formar um composto chamado biureto o qual pode causar danos quando pulverizado nas folhas das plantas. A maior parte do fertilizante uréia contém somente pequenas quantidades de biureto em decorrência do controle cuidadoso durante o processo de produção. A ureia é uma excelente fonte de N para atender as necessidades de das plantas. Por ser prontamente dissolvida em água, quando aplicada à superfície do solo movimentada com a água de chuva ou irrigação para dentro do solo. Dentro do solo, a uréia movimenta-se livremente com a água do solo até ser hidrolisada para formar NH_4^+ .

Nitrofosfato (concentrações variadas) é fabricado pelo tratamento de fosfato de rocha com ácido nítrico ao invés de ácido sulfúrico. Tem a vantagem de não produzir o sulfato de cálcio (gesso) como subproduto que se constitui, algumas vezes, em um problema de descarte. Dois produtos adicionais, nitrato de cálcio e nitrato de cálcio e amônio, são, também, gerados nesse processo. Nitrofosfatos podem ser misturados com outros nutrientes para formar grânulos uniformes de fertilizantes contendo múltiplos nutrientes.

Nitrato de amônio (NH_4NO_3) foi inicialmente produzido nos anos 1940 como produto de munição. Ele contém 33 a 34% de N. Nitrato de amônio é produzido como uma solução concentrada pela reação do gás amônia com ácido nítrico. A solução (95 a 99% de nitrato de amônio) é despejada de uma torre e solidifica na forma de pérolas, que pode ser usado como fertilizante ou transformada em nitrato de amônio granulado pela pulverização da solução concentrada em pequenos grânulos em um tambor rotativo. Uma vez que metade do nitrogênio está na forma de amônio, ele pode ser absorvido diretamente pelas raízes, ou gradualmente convertido à forma de nitrato e é imediatamente disponível para as plantas. Sua alta solubilidade o torna adequado para fertirrigação ou aplicação foliar.

Nitrato de amônio-uréia (UAN) (28% de N) é comumente usado como uma fonte de fertilizante nitrogenado líquido, para aplicações a lanço, como um veículo para herbicidas ou para aplicações em cobertura para culturas plantadas em linha, como o milho.

Cianamida cálcica (18% de N), além do valor fertilizante, tem propriedades herbicidas e fungicidas pelos seus produtos de decomposição intermediários.

As diferentes formas de N, quando aplicadas ao solo dão respostas muito semelhantes em termos de produtividade das culturas. A eficiência de alguns produtos pode ser reduzida em função das perdas por lixiviação de nitrato ou volatilização de amônia, sob certas condições de temperatura e umidade do solo. A aplicação superficial de uréia ou soluções de UAN são especialmente susceptíveis a tais perdas. A maioria dos fertilizantes nitrogenados tende a ser rapidamente disponível e são sujeitas a perdas antes do N poder ser absorvido pela cultura. Mas o desenvolvimento de produtos de liberação lenta ou controlada podem ajudar a reduzir essas possíveis perdas.

Sob uma situação de primaveras úmidas em climas tropicais, o nitrogênio do solo pode ser perdido por lixiviação ou desnitrificação, o que torna necessário maior número de aplicações em cobertura de fertilizantes nitrogenados para reduzir as perdas e atender, adequadamente, as necessidades das culturas. Portanto, aplicações de fertilizantes nitrogenados no plantio e em coberturas pode ser uma forma adequada de manejar o N nessas situações (Figura7).

O suprimento de N com fertilizantes de liberação lenta ou controlada é teoricamente melhor adaptado à curva de absorção de N e depende das condições de temperatura e umidade do solo.

Características dos fertilizantes nitrogenados

Diferentes fertilizantes nitrogenados tem seu valor de acordo com o seu teor de N total, as diferentes formas de N (as quais determinam a taxa de ação), e seus outros efeitos se existirem (Box 4).

Independente da fórmula do fertilizante aplicado, a maioria é convertida no solo para a forma de nitrato e amônio, as formas predominantes de N para as plantas. N na forma de nitrato na solução



Figura 7. A necessidade de suplementar o N com fertilizantes depende da estação climática anterior.

do solo é imediatamente disponível e, em consequência, atua rapidamente mas é a forma mais passível de perdas via lixiviação e/ou desnitrificação. As plantas absorvem o N principalmente na forma de nitrato. Nitrogênio na forma de amônio, embora totalmente disponível, tem um efeito relativamente mais lento, por ser primeiro adsorvido pelas partículas do solo, com carga elétrica negativa, e somente gradualmente ser liberado e nitrificado. Isto pode ser benéfico para a eficiência de uso do N, porque a forma de amônio adsorvida às partículas do solo é muito menos susceptível à lixiviação e outras perdas. Algumas plantas podem absorver o amônio diretamente, enquanto outras, primeiro, precisam ser convertidas a nitrato. Na temperatura de 20-25 °C, uma aplicação fornecendo 50 a 100 kg/ha, o N seria nitrificado em duas semanas. A nitrificação pode ser atrasada por várias semanas pela adição de inibidores da nitrificação ao fertilizante. Isto pode ser valioso para prevenir acumulação indesejável de nitrato em hortaliças ou para reduzir as perdas por lixiviação.

Box 4. Tipos de fertilizantes nitrogenados (teor de N refere-se a N total)

- **Fertilizantes amoniacais**

- amônia (82% de N), sulfato de amônio (21% de N), bicarbonato de amônio (17% de N), todos moderadamente rápidos na ação. Absorção pelas plantas pode ser retardada pela adição de inibidores da nitrificação.

- **Fertilizantes nítricos**

- nitrato de cálcio (16% de N), nitrato de sódio (16% de N), salitre do Chile, todos de ação rápida e aumentando o pH do solo.

- **Fertilizantes nítrico-amoniacais**

- nitrato de amônio (cerca de 34% de N), nitrato de cálcio e amônio que é uma combinação do nitrato de amônio e carbonato de cálcio (21-27% de N), nitrato sulfato de amônio (26-30% de N).

- **Fertilizantes amídicos**

- uréia (45-46% de N), cálcio cianamida (20% de N).

- **Soluções** contendo mais de uma forma de N

- solução de uréia e nitrato de amônio (28-32% de N)

- **Fertilizantes de liberação lenta ou controlada**

- sejam derivados da uréia com o N em grandes moléculas, ou fertilizantes com N solúvel em água na forma de grânulos;
- uréia com controle de liberação (encapsulada em um filme fino de polímero, de ação lenta ou muito lenta de acordo com o tipo de polímero e a espessura do filme;
- geralmente incluem um componente de ação rápida;
- ou outra forma de liberação lenta, ex. ureia revestida com enxofre (SCU).

- **Fertilizantes multinutrientes** contendo N

- NP: Nitrofosfatos (20-23% de N, 20-23% de P_2O_5);
Fosfato de monoamônio (MAP) (11% de N, 52% de P_2O_5)
Fosfato de diamônio (18% de N, 46% de P_2O_5)
Polifosfatos de amônio líquidos (ex. 12% de N, 40% de P_2O_5);
- NK: fertilizantes contendo ambos N e K (ex. nitrato de potássio);
- NPK: fertilizantes contendo N, P e K.

Várias diferentes formulações, revestimentos, e aditivos são disponíveis para ajudar os agricultores a manejar os fertilizantes nitrogenados de maneira mais eficiente. Eles são classificados de uma maneira ampla como produtos estabilizadores, inibidores, de liberação lenta, e de liberação controlada. A Association of American Plant Food Control Officials definiu estes produtos como (Trenkel, 2010):

- Fertilizante de liberação lenta ou controlada: Um fertilizante que contém um nutriente de planta na forma pela qual atrasa sua disponibilidade para a absorção e utilização pela mesma após a aplicação, ou que estende sua disponibilidade para a planta significativamente por mais tempo do que a referência ‘fertilizante com nutriente rapidamente disponível’ tais como nitrato de amônio ou uréia, fosfato de amônio ou cloreto de potássio. Este atraso na disponibilidade inicial ou tempo estendido de disponibilidade contínua pode ocorrer devido a uma variedade de mecanismos. Isto inclui controle na solubilidade em água do material por camadas semipermeáveis, oclusão, materiais proteicos, ou outras formas químicas, por reduzir a hidrólise de compostos solúveis em água de baixo peso molecular, ou por outros meios não conhecidos.
- Fertilizante nitrogenado estabilizado: Um fertilizante ao qual foi adicionado um estabilizador de N. Um estabilizador de N é uma substância adicionada ao fertilizante, que estende o tempo em que o componente com N do fertilizante permanece no solo na forma de N da uréia ou N amoniacal.
- Inibidor da nitrificação: Uma substância que inibe a oxidação biológica do N amoniacal para N nitrato.
- Inibidor da urease: Uma substância que inibe a ação hidrolítica na ureia exercida pela enzima urease.

Fertilizantes nitrogenados tendem a aumentar a acidez do solo, assim à medida que o uso desses fertilizantes é aumentado, o pH pode precisar ser ajustado através da aplicação de materiais calcários (Tabela 2).

Aumentando a eficiência de uso do nitrogênio

A utilização pelas culturas no N aplicado via fertilizantes varia de 30 a

Tabela 2. Efeito de acidificação de fertilizantes nitrogenados selecionados.

Fertilizante	Quantidade de CaO para compensar a acidificação do solo induzida por 1 kg de N*
Nitrato de amônio e cálcio	0,6 kg
Amônia, uréia, nitrato de amônio	1 kg
Fosfato de diamônio	2 kg
Nitrato sulfato de amônio	2 kg
Sulfato de amônio	3 kg

* Com base em 50 % da doses de utilização.

50% dependendo da cultura, do clima, do solo e das práticas de manejo. Isso pode variar de 50-60% para o trigo crescendo em climas temperados e ao redor de 30% para arroz de baixada cultivado em solos arenosos. A energia necessária para produzir fertilizantes nitrogenados para ser aplicado por unidade de área é cerca de um terço da energia total para fazer crescer a cultura. Maior eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados, portanto, significa um balanço positivo de energia.

Três tipos de processos afetam o excesso de N não utilizado pela cultura. Seu impacto relativo no suprimento de N para as culturas depende do clima, das condições do solo, e outros fatores.

Estes processos são:

- microbiano-ex. nitrificação, desnitrificação, imobilização;
- químico-ex. troca, fixação, precipitação, hidrólise;
- físico-ex. lixiviação, escoamento superficial, volatilização.

Melhores práticas de manejo de fertilizantes (MPMF), para aplicação de nutrientes de plantas, tentam aumentar a eficiência de uso dos nutrientes e minimizar efeitos desfavoráveis ao meio ambiente. O sistema radicular da maioria das culturas anuais somente explora de 20 a 25% do volume disponível do solo em qualquer ano. Assim a utilização dos nutrientes pelas plantas irá não apenas depender do estágio de crescimento e da demanda de nutrientes, mas também da taxa de liberação de nutrientes de plantas para as raízes por fluxo de massa e difusão na solução do solo.

Aplicações divididas – a aplicação de fertilizantes nitrogenados em várias épocas da estação de crescimento – podem ajudar a melhorar a eficiência de uso de N e reduzir as perdas. A aplicação de fertilizantes nitrogenados tão próximo quanto possível ao momento de exigência pela cultura é uma boa estratégia de manejo para maximizar a eficiência. De modo semelhante, manejo de fertilizantes por local específico, leva à aplicação de fertilizantes nitrogenados após considerar a capacidade específica de suprimento de N pelo solo e, conseqüentemente, assegurar alta eficiência de uso do fertilizante contendo N. Qualquer excesso de N mineral permanecendo no solo no momento da colheita será provavelmente perdido por lixiviação e desnitrificação. O uso de plantas de cobertura e do manejo dos resíduos culturais pode ajudar a manter o nitrogênio na forma de compostos orgânicos no solo e torná-lo menos susceptível às perdas por lixiviação e desnitrificação.

Várias “ferramentas” estão disponíveis para aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados. Estas incluem aditivos químicos, inibidores biológicos, e revestimentos que limitam fisicamente a atividade de N no solo. Alguns dos processos importantes de conversão que ocorrem no solo são dependentes da atividade microbiana. Isso se constitui em um ponto de manejo através de fatores químicos e físicos que controlam a atividade microbiana. Alguns exemplos disso incluem:

- Nitrapirina usada para inibir o processo de nitrificação.
- Inibidores da urease-usados para diminuir o processo de conversão da uréia para amônio ou nitrato.
- Encapsulamento dos grânulos de uréia-usado para diminuir a solubilidade da uréia e sua liberação para a solução do solo.

Fósforo (P)

O fósforo também tem um papel vital na fotossíntese, funcionando na captura e transferência de energia para as ligações químicas. Tecidos meristemáticos novos e crescendo rapidamente nas plantas têm uma alta concentração de P. Os materiais genéticos, DNA e RNA, são construídos ao redor da estrutura de átomos de P, e o P exerce um papel fundamental no metabolismo dos açúcares e amidos, todos críticos nos processos de divisão celular e crescimento.

Em termos ambientais, o P é um nutriente importante porque, excesso no suprimento deste nutriente leva a um crescimento excessivo de plantas (como as explosões de algas), com subsequente morte dessas, seguido de decomposição pelos microrganismos, levando à falta de oxigênio na água, criando uma zona hipóxica que mata os peixes, os camarões, e outras formas de vida aquática. Erosão do solo, escoamento superficial e perda de P dos campos agrícolas são considerados grandes responsáveis pela formação de áreas hipóxicas em todo o mundo. Melhores práticas de manejo para o P tem como objetivo minimizar as perdas de P para o meio ambiente e aumentar a eficiência de uso deste para as culturas em crescimento.

O “ciclo de vida” do P no sistema solo-planta é ilustrado na Figura 8. Este ciclo dinâmico é afetado por uma variedade de processos contínuos, físicos, químicos e biológicos, que afetam quanto do P está em cada forma a um tempo específico.

A Figura 9 apresenta uma representação esquemática simplificada do ciclo do fósforo no sistema planta-solo. Análise do solo para estimar o P prontamente disponível no solo mede a pequena quantidade de P na solução do solo. A quantidade de P extraída varia com a solução extratora utilizada. Usando os dados analíticos os solos são classificados de modo descritivo (ex. deficiente, suficiente) ou por índices numéricos. Estas classes estão relacionadas à possível resposta de uma cultura a uma aplicação de um fertilizante fosfatado apropriado.

A Figura 10 ilustra a distribuição relativa de formas de P no sistema planta-solo-ambiente-atmosfera. O P está constantemente mudando de



Figura 8. O ciclo do fósforo. P é encontrado em uma variedade de formas no solo e nas culturas e está constantemente reciclando entre estas formas (IPNI).



Figura 9. Um diagrama esquemático simplificado do ciclo do fósforo (IFA).

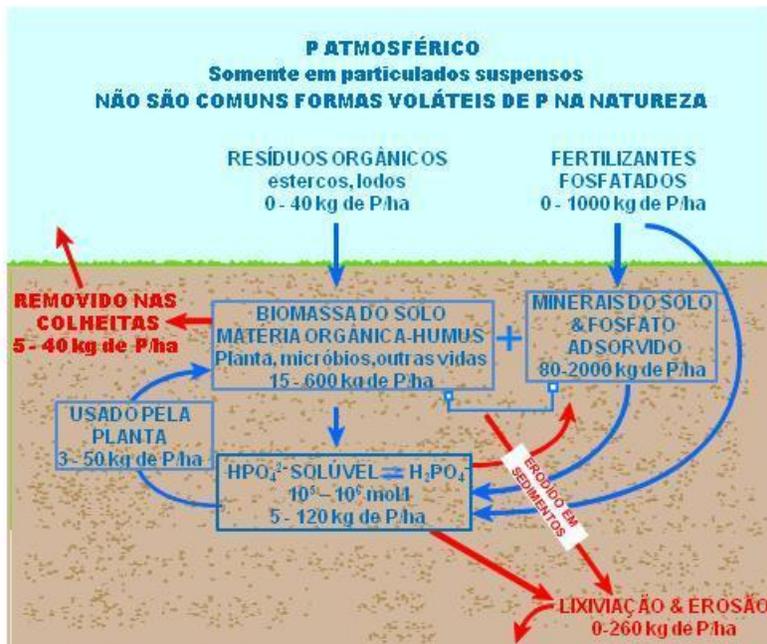


Figura 10. Quantidades relativas de P encontradas em várias formas na cultura, solo, atmosfera, e no meio ambiente (adaptado da Universidade da Flórida).

uma forma para outra de acordo com sistemas físicos, químicos e biológicos nos quais ele está funcionando.

Fertilizantes fosfatados

O fósforo em materiais fertilizantes é usualmente expresso na forma de óxido (P_2O_5). Apesar dessa forma em realidade não existir no material fertilizante, ela tem sido adotada como uma forma padrão para comparação entre fertilizantes fosfatados. A fórmula para converter P para P_2O_5 é: $P \times 2,29 = P_2O_5$.

Fosfato de rocha (FR). As reservas mundiais existem em antigos depósitos marinhos e o fosfato de rocha precisa ser processado para remover outros materiais. Fosfato de rocha não processado pode ser aplicado como uma fonte de nutrição de P sob certas situações, mas a maior parte é processada para produção de outros fertilizantes

fosfatados. Embora o FR possa ser aplicado diretamente, sua solubilidade em água pode ser muito baixa para atender as necessidades da cultura em crescimento. FR pode ser uma fonte efetiva de P se usado em solos ácidos (pH em água abaixo de 5,5). Hoje mais de 90% dos FR usados são processados para a obtenção de fertilizantes fosfatados solúveis pela reação do FR com ácidos, o que torna o produto agronomicamente e economicamente eficiente como uma fonte de nutriente para as culturas^(*).

Superfosfato simples (SSP) é produzido pela reação do fosfato de rocha com ácido sulfúrico. Ele foi o primeiro fertilizante mineral comercial e levou ao desenvolvimento das modernas indústrias de nutrientes de plantas. Este material já foi o mais comumente usado como fertilizante, mas outros fertilizantes fosfatados substituíram o SSP por ele apresentar relativamente baixo teor de P. O fertilizante SSP é fonte de três nutrientes essenciais para as culturas, nas seguintes proporções: 7 a 9% de P (16 a 20% de P_2O_5); 18 a 21% de Ca e 11 a 12% de S.

Superfosfato triplo (TSP) [$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$] ou fosfato monocalcico foi um fertilizante fosfatado popular no início dos anos 1900, mas tem sido substituído por outros fertilizantes em anos recentes. Ele apresenta a maior concentração de P nos fertilizantes secos que não contém N, e o P é mais de 90% solúvel em água. É ainda popular para culturas leguminosas onde fertilizantes nitrogenados não são necessários.

Fosfato de monoamônio ($NH_4H_2PO_4$) (MAP) é a fonte mais concentrada de fósforo entre os fertilizantes sólidos. Contém 10 a 12% de N e 48 a 61% de P_2O_5 , mais comumente fabricado como 11-52-0. Ele é fabricado usando ácido fosfórico de menor qualidade do que aquele usado para produzir outros fertilizantes fosfatados. Fosfato de monoamônio é altamente solúvel e rapidamente torna-se disponível

(*) NT. A grande maioria dos fosfatos de rocha brasileiros, de origem magmática e simplesmente moídos, apresenta baixa eficiência agrônômica para culturas anuais, em comparação aos fertilizantes fosfatados solúveis em CNA + água ou aos fosfatos naturais reativos de origem sedimentar, principalmente em solos que receberam corretivos de acidez para atingir pH 6,0 ou acima.

para as plantas como NH_4^+ e H_2PO_4^- na solução do solo. Quando fabricado com formas mais puras de ácido fosfórico, o MAP pode ser produzido na forma de pó (usualmente com 61% de P_2O_5) e usado em suspensões ou fertilizantes líquidos claros, ou aplicado via adubação foliar ou adicionado à água de irrigação.

Fosfato de monoamônio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) (MAP) é a fonte mais concentrada de fósforo entre os fertilizantes sólidos. Contém 10 a 12% de N e 48 a 61% de P_2O_5 , mais comumente fabricado como 11-52-0. Ele é fabricado usando ácido fosfórico de menor qualidade do que aquele usado para produzir outros fertilizantes fosfatados. Fosfato de monoamônio é altamente solúvel e rapidamente torna-se disponível para as plantas como NH_4^+ e H_2PO_4^- na solução do solo. Quando fabricado com formas mais puras de ácido fosfórico, o MAP pode ser produzido na forma de pó (usualmente com 61% de P_2O_5) e usado em suspensões ou fertilizantes líquidos claros, ou aplicado via adubação foliar ou adicionado à água de irrigação.

Fosfato de diamônio [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$] (DAP) é o fertilizante fosfatado mais amplamente utilizado no mundo. É produzido pela reação da amônia com o ácido fosfórico. O padrão do DAP é 18-46-0. Ele é popular porque tem uma concentração relativamente alta dos dois materiais fertilizantes comumente necessários e, também tem propriedades que o tornam fácil de manusear e armazenar. O DAP tornou-se disponível nos anos de 1960. Sua alta solubilidade torna os nutrientes prontamente disponíveis para as plantas. O alto teor de N amoniacal pode causar danos às sementes e raízes próximas aos grânulos de fertilizante, assim é melhor distribuí-lo em sulcos cerca de 10 cm da linha de semeadura ou aplicado a lanço e incorporado para evitar concentrar os nutrientes muito perto das sementes ou raízes das plantas.

Polifosfato é um fertilizante líquido popular, produzido pela reação da amônia com ácido fosfórico, retirando a água e ligando os íons individuais de fosfato juntos em uma corrente. Os íons simples de fosfato (ortofosfatos) podem formar diferentes tamanhos de correntes, mas eles podem ser chamados coletivamente de “polifosfatos”. Mais comumente produzidos como 10-34-0 ou 11-37-0, estes fertilizantes formam líquidos claros que permanecem estáveis e livres da formação

de cristais sob uma grande amplitude de condições. Isto o torna uma fonte popular de P em todo o mundo. Entre 25 e 50% do P nos fertilizantes polifosfatos permanece na forma de ortofosfato (molécula simples) e está prontamente disponível para a absorção pelas plantas. Os remanescentes 25 a 76% do P ficam nos polímeros de diferentes comprimentos que precisam ser quebrados por enzimas ou organismos no solo para serem disponíveis para as plantas. Fertilizantes polifosfatos oferecem a vantagem de terem alto teor de nutrientes em uma forma de fluido claro, livre de cristais que é estável sob uma grande amplitude de temperatura e tem uma longa capacidade de armazenamento. Polifosfatos são uma fonte popular para mistura com micronutrientes e outros produtos químicos para ajudar a fazer uma distribuição uniforme.

Em análises de solos, a disponibilidade de P é medida pela solubilidade em soluções extratoras específicas (água, ácido cítrico, ácido fórmico, ácido clorídrico + ácido sulfúrico e resinas aniônicas) como uma indicação da taxa de transformação sob várias condições do solo. P *solúvel em água* (ex. fosfato monocálcico) é facilmente disponível para as plantas e assim permanece, apesar de um pouco menos intensamente, após imobilização para outras formas. Esta transformação é retardada pela granulação e localização do fertilizante. P *solúvel em citrato ou em ácido cítrico* é moderadamente disponível para as plantas e é adequado para vários propósitos sob uma grande amplitude de condições de solos ácidos até neutros exceto onde uma ação rápida é requerida. P *solúvel em ácido fórmico* em fosfato de rocha reativo na forma de pó e P *solúvel em ácido cítrico a 2%* são somente muito lentamente disponíveis às plantas; sua reatividade (liberação do P solúvel) é melhorada onde os solos são mais quentes, úmidos e ácidos, mas ainda acima da amplitude de danos causados pela acidez.

Sob condições de agricultura intensiva em solos bem adubados, os fertilizantes fosfatados solúveis promovem respostas semelhantes em termos de produtividade por unidade de P_2O_5 “disponível”. Fósforo solúvel em água, entretanto, é superior para culturas de ciclo curto e sistema radicular limitado em solos deficientes em P. A dinâmica das diferentes formas de P no solo é ilustrada na Figura 11.



Figura 11. Relação dos diferentes formas de P no solo. À medida que condições como, pH do solo e concentração de P mudam, as quantidades relativas em cada reservatório irão mudar.

O P passa de uma forma para outra à medida que, fatores como pH do solo e concentração de P mudam.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados e fosfatados juntos em faixa ou como produtos combinados algumas vezes apresentam vantagens para a utilização dos nutrientes - a acidificação do N ajuda a prevenir que o P seja fixado em formas não disponíveis; formas gasosas de N podem ocorrer pela aplicação superficial de fosfato de diamônio (DAP) em solos neutros. Fixação de fosfato, i.e., a transformação de fertilizante com P solúvel em formas não disponíveis, é felizmente restrita para condições especiais do solo, p.e. alto teor de Al ativo e Fe ou Ca e Mg, como definido pelo pH do solo. A taxa de utilização de P dos fertilizantes é usualmente de cerca de 15% no primeiro ano mas somente 1-2% por ano em seguida, resultando que somente 2/3 é absorvido ao fim de 30 anos. A eficiência da utilização do fertilizante fosfatado depende das condições de clima, pH do solo, tipo de cultura, época e localização do fertilizante fosfatado.

Os fertilizantes sofrem uma série de reações no solo para ser transformado em uma forma disponível para as plantas (fosfato inorgânico). A maioria dos fertilizantes fosfatados modernos são prontamente solúveis, sendo tratados com ácido sulfúrico ou fosfórico para aumentar a solubilidade. Sob algumas condições, tratamentos especiais podem ser usados para aumentar a solubilidade e absorção, ou reduzir a fixação para compostos insolúveis. Sob condições de pH muito baixo ou muito alto, por exemplo, o P pode ser transformado,

respectivamente, em fosfatos de ferro ou cálcio, que são insolúveis. Para as fontes orgânicas, o P é insolúvel e é necessária atividade microbiana para converter o P para forma inorgânica, disponível. Assim com o N, a liberação de P orgânico pode ser manejada pelo controle da atividade microbiana. Box 5 mostra as características de alguns importantes fertilizantes fosfatados.

Box 5. Tipos de fertilizantes fosfatados

O conteúdo de P_2O_5 se refere à porção “disponível”, exceto para fosfato de rocha onde isto significa teor total.

- **Tipos solúveis em água (de ação rápida)**
 - superfosfato simples (18-20% de P_2O_5);
 - superfosfato triplo (45% de P_2O_5).
- **Tipos parcialmente solúveis em água (de ação rápida e lenta)**
 - fosfato de rocha parcialmente acidulado (23-26% de P_2O_5 , pelo menos 1/3 solúvel em água).
- **Tipos de ação lenta**
 - fosfato bicálcico (solúvel em citrato);
 - escória básica – escória de Thomas, (solúvel em ácido cítrico).
 - termofosfato magnesiano
- **Tipos de ação muito lenta**
 - fosfato de rocha (reativo, finamente moído, ex. 30% de P_2O_5), com reatividade indicada pela solubilidade em ácido fórmico; com o mínimo permitido de cerca de 1/3 do teor total). No Brasil a solubilidade dos fosfatos naturais é determinada em ácido cítrico a 2%.
- **Fertilizantes multinutrientes** contendo P: como N,P
 - NP (veja fertilizantes com N, Box 4);
 - PK (misturas muito comumente usadas);
 - NPK (pode conter cerca de 1/3 ou mais P solúvel em água para ação rápida e 2/3 de P de ação lenta para um suprimento contínuo).

Potássio (K)

O potássio é encontrado em todas as células vivas. No solo, ele é encontrado em pequenas quantidades na solução do solo como cátion de K^+ (com carga positiva), e é absorvido pelas plantas nessa forma. Em qualquer momento pode existir apenas 12 a 15 kg de K por hectare na solução do solo, mas existe grande suprimento de K trocável ligado ao solo em várias quantidades de disponibilidade. A solução do solo é constantemente reposta pelo processo de troca de cátions à medida que os íons K^+ são absorvidos da solução do solo pelas raízes das plantas. O potássio em sua forma iônica ocorre em equilíbrio em vários processos no solo (Figura 12).

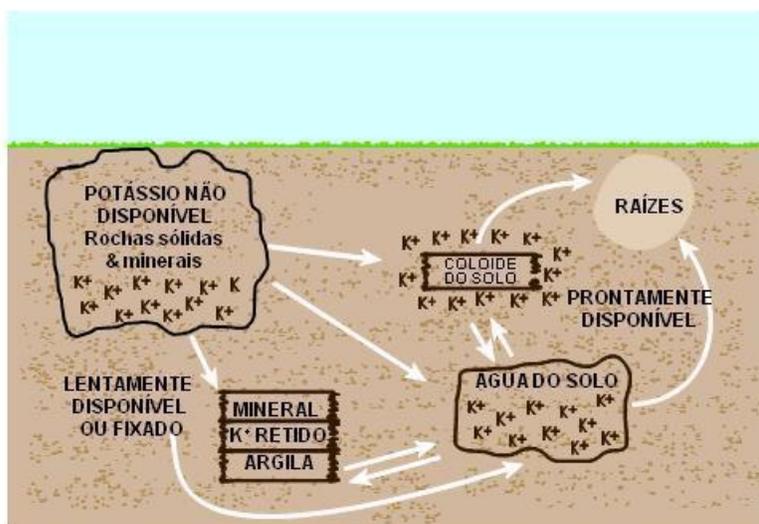


Figura 12. Ilustração do K em várias posições de equilíbrio no solo. À medida que o K é absorvido pelas plantas, o equilíbrio muda para liberar mais potássio para a solução do solo (adaptado de Universidade de Minnesota).

Na planta, o K regula o fluxo de água e outros materiais através das membranas celulares, e ajuda a regular uma grande variedade de processos químicos e enzimáticos. O potássio por si só não forma qualquer composto químico nas plantas, mas atua no balanço iônico das cargas elétricas por se movimentar para dentro e para fora através

das membranas celulares. Ao fazer isso, o K é essencial para a absorção de nutrientes e movimento através da planta, e na manutenção do balanço hídrico na planta. Ele é então, essencial para a utilização de outros nutrientes e da água, mesmo que, quimicamente, ele não combine com outros nutrientes. Muito do K usado por uma cultura em crescimento não é acumulado no grão, mas permanece nos resíduos das culturas (colmo, folhas e palha). Quando uma planta morre, o potássio é facilmente lixiviado do resíduo da cultura e pode até ser lixiviado do tecido vivo da planta sob fortes chuvas. Para culturas forrageiras, onde a planta inteira é colhida, as taxas de remoção de K das culturas são muito maiores. Isso é verdadeiro, também, para cana-de-açúcar e algumas culturas de cereais cultivados em vários países da Ásia onde tanto os grãos como a palha são colhidos para consumo humano e animal, respectivamente.

O fertilizante potássico é usualmente descrito na forma de óxido (K_2O). Da mesma forma que para o fósforo, esta forma é a padrão na comparação de fertilizantes contendo K, mas, em realidade não é encontrada em fertilizantes potássicos. A fórmula para converter K em K_2O é: $K \times 1,20 = K_2O$. O potássio está constantemente mudando entre as várias partes dos componentes solo-planta-animal-meio ambiente, uma vez que funciona nos seus sistemas físicos, químicos e biológicos como mostrado na Figura 13. O Ciclo do Potássio (Figura 14) mostra como o K movimentava-se no sistema solo-planta.

Fertilizantes potássicos

Os fertilizantes potássicos são formados de depósitos geológicos salinos. Apesar de conterem baixos teores de K_2O , materiais não refinados podem ser usados diretamente, a maioria dos fertilizantes atualmente utilizados é material de alta concentração, solúvel em água e de ação rápida.

Cloreto de potássio (KCl) (0-0-60) ou Muriato de potássio (MOP): A maioria dos depósitos de K ocorre como KCl (silvita) misturado com NaCl (halita) no mineral silvinita, geralmente em antigos depósitos marinhos enterrados profundamente abaixo da superfície da Terra. No processamento o mineral é moído e o KCl e o NaCl são separados.

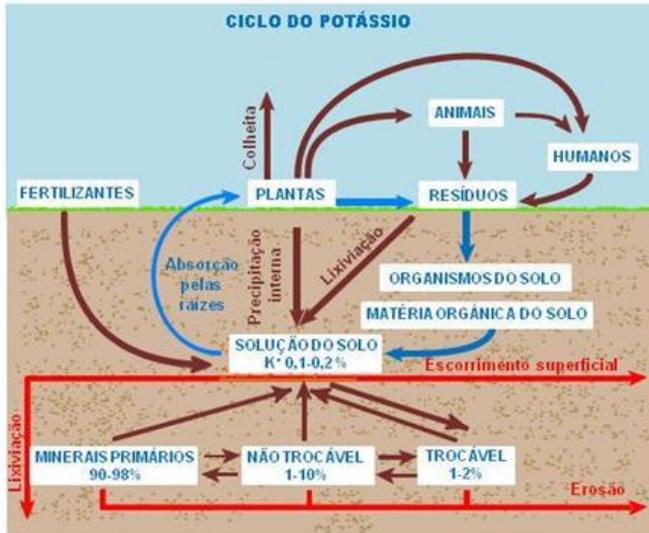


Figura 13. Quantidades relativas de K em várias formas no sistema solo-planta-animal (adaptado de Universidade de British Columbia).



Figura 14. O Ciclo do Potássio. Potássio é rapidamente lixiviado do material de planta morta, porque K^+ não forma qualquer composto químico nas plantas (IPNI)

Em alguns poucos locais, o minério é dissolvido com água quente e bombeado para a superfície como silvinita solúvel e então a água é evaporada. No Mar Morto (Israel/Jordânia) e no Grande Lago Salgado (Utah, EUA), os sais de K são recuperados da água salgada pela evaporação solar. O KCl tem 60 a 63% de K_2O (50 a 52% de K e 45 a 47% de Cl). O KCl é usualmente aplicado na superfície a lanco antes da aração, ou aplicado em sulcos, próximo a linha das sementes. Por causa do alto teor de sal, o KCl não deve ser colocado em contato direto com a semente. Ele dissolve prontamente na solução do solo liberando K^+ e Cl^- . O K se liga aos locais de troca de cátions na argila e na matéria orgânica do solo. A maior parte do fertilizante KCl é branca, mas alguns materiais contendo K são avermelhados devido à presença de pequenas quantidades de óxido de ferro; mas ambos são idênticos para uso agrícola. Formas puras de KCl podem ser dissolvidas para uso como fertilizante fluído ou aplicação na água de irrigação.

Sulfato de potássio (K_2SO_4), também chamado de sulfato de potassa (SOP), tem 48 a 53% de K_2O , e 17 a 18% de S. O sulfato de potássio é encontrado em depósitos minerais misturado com outros minerais. Os componentes são separados pela lavagem com água. O K do sulfato de potássio funciona de modo semelhante ao KCl, mas é também uma fonte importante de enxofre onde o solo é deficiente nesse nutriente. O sulfato de potássio é menos solúvel do que o cloreto de potássio, e, assim, não é comumente usado na água de irrigação. Mas o sulfato de potássio é algumas vezes aplicado como pulverização foliar se ambos, K e S, são necessários. É também usado para fornecer K para as plantas sensíveis ao Cl como o fumo e batata inglesa.

Sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) é também chamado de Langbeinita, sulfato de potássio e magnésia, ou comercialmente Sulpomag: A Langbeinita é o único mineral encontrado em somente poucos locais no mundo. Comercialmente ele vem de minas abaixo do solo próximo a Carlsbad (Alemanha), Novo México (EUA). A Langbeinita tem 21-22% de K_2O , 10-11% de Mg e 21-22% de S. É um fertilizante popular onde os três nutrientes são necessários. Ele é solúvel em água, mas dissolve lentamente, de modo diferente de outros fertilizantes contendo Mg e S, ele tem um efeito neutro no pH do solo.

Nitrato de potássio (KNO_3) ou Salitre potássico: É um fertilizante popular para culturas de alto valor que necessitam do N na forma de nitrato e também do K. É especialmente popular como fonte de K para culturas que são sensíveis ao Cl. Tem 13% de N e 44-46% de K_2O . Pode ser aplicado ao solo ou como tratamento foliar para estimular o desenvolvimento de frutos quando a atividade radicular está declinando. É, também, uma fonte comum de nutrientes para fertirrigação.

Vários resíduos industriais contendo K, ex. poeira de filtros, tem sido desenvolvidos para uso como formas de ação lenta, especialmente onde se deseja evitar perdas por lixiviação. Os fertilizantes potássicos devem ser, geralmente, aplicados na época do plantio. Os íons de K^+ são adsorvidos no solo e então permanecem disponíveis, largamente protegidos contra a lixiviação. Entretanto, dividir as aplicações é recomendável para algumas culturas em solos e climas onde são esperadas altas taxas de perdas por lixiviação. Alguma imobilização dentro das camadas da estrutura de certas argilas reduz a disponibilidade, mas fixação forte para formas completamente não disponíveis é, felizmente, restrita a uns poucos tipos especiais de solos. A taxa de utilização de K nos fertilizantes é cerca de 50-60% durante o ano de aplicação.

Nutrientes secundários

Enxofre, cálcio e magnésio são considerados nutrientes secundários, pois embora sejam essenciais para o desenvolvimento das culturas, a absorção sazonal destas é usualmente menor do que os nutrientes primários (N, P e K mas consideravelmente maior do que os micronutrientes (Zn, Fe, Mn, Cu, B, Mo, Cl e Ni).

Enxofre (S)

O enxofre é encontrado no solo principalmente como sulfatos inorgânicos e compostos orgânicos. Ele precisa ser mineralizado para o ânion sulfato (SO_4^{2-}) para ser absorvido pelas plantas. O enxofre da atmosfera, na forma de dióxido de enxofre (SO_2) fornece grandes quantidades de enxofre (20 kg/ha ou mais) em áreas onde são queimados combustíveis fósseis, mas limpeza ambiental pela

diminuição do uso dessas fontes tem levado a uma maior necessidade de fertilização com enxofre em anos recentes. De modo similar, poucas décadas atrás, fertilizantes como o superfosfato simples e alguns pesticidas supriam algum enxofre para as culturas, mas mudanças nos processos de fabricação reduziram o uso dessas fontes. O enxofre nos solos na forma de sulfato pode ser lixiviado para fora na zona das raízes, especialmente em solos arenosos. Em sistemas de produção irrigada, a água de irrigação pode ser uma fonte importante de S para o suprimento das culturas. As análises de rotina de solos para S não são muito confiáveis e para S não são muito confiáveis para serem usadas no desenvolvimento de recomendações de fertilizantes.

O enxofre pode ser suprido para as culturas no campo através dos seguintes materiais:

Enxofre elementar (0-0-0-90 S) é uma forma conveniente de enxofre que pode ser aplicado a lanço ou em sulcos em várias culturas. Antes de ser aplicado ao solo, o enxofre elementar deve ser reduzido a partículas pequenas através de processos puramente físicos. Uma vez no solo, ele é transformado em íons sulfatos através da atividade de *Thiobacillus* ou alguma outra bactéria do solo. A fragmentação para partículas pequenas pode ser obtida mais rapidamente através da mistura do enxofre com argila bentonita no processo de formulação. Na água, as partículas de bentonita-enxofre se expandem, fragmentando-se em partículas muito pequenas. Uma vez em partículas pequenas, o aumento na área de superfície permite que bactérias do solo transformem o enxofre em sulfato mais rapidamente. Entretanto, mesmo na presença de partículas pequenas, a transformação do enxofre em sulfato é um processo lento, frequentemente levando muitos meses. Em consequência, para a maioria das culturas na fase inicial da adubação anual com enxofre, é recomendado um fertilizante contendo enxofre como o sulfato de amônio, ao invés do enxofre elementar.

Sulfato de amônio (21-0-0-24 S) é produzido como um subproduto industrial e é uma fonte valiosa de N onde o S também é necessário. O sulfato de amônio é uma fonte popular de S porque é mais disponível para as plantas e menos susceptível às perdas por lixiviação do que as

outras fontes. Ele também tem como benefício o suprimento de parte das exigências de N para a cultura.

Sulfato de cálcio (*) (Gesso) (24% de S) tem sido usado amplamente por muitos anos como um material que fornece enxofre e cálcio para a adubação e atua, também como condicionador de solo. Ele é um sal neutro que não afeta a acidez do solo. O gesso é muito menos solúvel do que o sulfato de amônio e é difícil de manusear.

Superfosfato simples (SSP) (0-20-0); 8 a 10% de S): Deficiências de enxofre raramente ocorrem em solos adequadamente adubados para suprir P para as plantas com o SSP. Na fabricação de superfosfatos concentrados, como o superfosfato triplo, entretanto, o gesso é grandemente removido e esses materiais, em consequência, contém pouco ou nenhum enxofre.

Polisulfato de amônio (45% de S) pode ser aplicado diretamente ao solo, adicionada à água de irrigação, ou misturado com amônia anidra ou soluções de amônia. Entretanto, o polisulfato de amônio não é completamente compatível com fertilizantes líquidos os quais apresentam alta acidez ou apresentam alta concentração de sais. Usado em algumas situações para reduzir o pH e para aumentar a infiltração de água no solo.

Tiosulfato de amônio (26% de S). Tiosulfato de amônio é outro material contendo enxofre. Ele pode ser aplicado na água de irrigação. É também compatível com várias soluções de fertilizantes tais como aquamônia, soluções com N contendo nitrato de amônio, soluções de uréia, e a maioria das soluções fertilizantes contendo N, NP ou completas. Ele não pode, entretanto, ser misturado com amônia anidra ou soluções ácidas tais como ácido fosfórico, uma vez que esses materiais irão causar decomposição dos tiosulfatos.

(*) NT. O uso de fertilizantes contendo sulfato de cálcio, como o superfosfato simples ou gesso agrícola de forma isolada, tem se constituído em uma prática altamente recomendável para solos do Brasil que apresentam baixos teores de cálcio e elevados teores de alumínio no subsolo. Este fato limita o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Estas práticas aumentam o desenvolvimento das raízes das plantas em profundidade, permitindo melhor utilização da água disponível no subsolo, quando da ocorrência dos veranicos e períodos secos.

Cálcio (Ca)

Cálcio ocupa de 0,1 a 25% do solo, dependendo da mineralogia do mesmo. Calagem para manter o pH na amplitude adequada para o crescimento das plantas usualmente fornece quantidades suficientes de Ca para suprir a necessidade das culturas. Ca é um componente muito importante das paredes celulares das plantas. Deficiência da Ca nas plantas é em geral mascarada pelos efeitos de toxidez de outros nutrientes (tais como alumínio, manganês e cobre) sob condições de pH baixo. Onde a deficiência de Ca precisa ser corrigida, mas o pH é alto, gesso pode ser usado para suprir Ca.

Magnésio (Mg)

Magnésio é um importante componente da molécula da clorofila. Assim sendo, deficiência de Mg geralmente mostra um amarelecimento entre as nervuras das folhas. Aplicação de calcário dolomítico (11% de Mg) é a forma mais comum de corrigir a deficiência de Mg. Em solos ácidos ou em regiões onde chuvas pesadas causam lixiviação de Mg da zona das raízes, formas mais solúveis de Mg (tais como $MgSO_4$) podem ser necessárias para se obter uma correção rápida da deficiência.

Fertilizantes magnesianos ou são sais solúveis de ação rápida (tais como os sulfatos) ou de ação lenta (como o calcário dolomítico). Sulfato de magnésio, na forma de sal de Epsom (10% de Mg) ou keiserita (16% de Mg), são formas comuns de fertilizantes com Mg para suprir as culturas. Keiserita ou sulfato de magnésio monohidratado ($MgSO_4 \cdot H_2O$) é um mineral natural explorado em depósitos geológicos marinhos profundos na Alemanha. Ele fornece uma fonte solúvel de ambos, Mg e S, para a nutrição de plantas. A keiserita cristalina fina é vendida para aplicação direta ao solo, ou é granulada em partículas maiores que são mais adequadas para aplicações mecanizadas dos fertilizantes, a lanço, ou para misturas com outros fertilizantes. Sulfato de potássio e magnésio (veja sob fertilizantes potássicos) também se constitui uma fonte importante de Mg em situações em que K é deficiente.

Carbonato de magnésio (calcário dolomítico). Para solos que necessitam receber calagem, a fonte mais barata de Mg é o calcário dolomítico ou carbonato de magnésio. Aplicação de uma alta dose de calcário dolomítico pode assegurar um bom suprimento de Mg por vários anos sem nenhum efeito detrimental.

Micronutrientes

Micronutrientes são necessários em quantidades muito pequenas, mas ainda são essenciais para o crescimento das plantas. Deficiências de micronutrientes variam com as regiões, com base na mineralogia e no clima, e, frequentemente, podem ser corrigidas pelo ajuste do pH. Fontes fertilizantes dos diferentes micronutrientes e seu manejo são descritos na Tabela 3.

Outros nutrientes

O uso de fertilizantes deve levar em conta, também, as exigências nutricionais dos animais e seres humanos consumindo os produtos das culturas. Pode ser necessário ou recomendável suprir, para benefício dos animais sob pastoreio, quantidades crescentes de elementos que não são essenciais para as plantas. Por exemplo sódio, selênio e cobalto, podem ser supridos como precaução contra desordens nutricionais no gado causado por deficiências.

Uso de fertilizantes

Difícilmente um solo pode fornecer todos os nutrientes necessários em quantidades suficientes para atender a demanda de culturas de alta produtividade, o déficit deve ser corrigido pela adição de fertilizantes e/ou esterco. A necessidade em relação aos micronutrientes geralmente aumenta com altas produtividades, devido a um efeito de diluição pelo aumento dos teores de macronutrientes no material vegetal.

As plantas, em geral, contêm quantidades máximas de nutrientes nos estágios avançados de crescimento, logo antes de atingir a maturidade (usualmente mais do que a planta precisa). Entretanto, os cálculos do

Tabela 3. Micronutrientes essenciais para o crescimento das plantas e algumas de suas fontes e características.

Micronutriente	Fontes para ação corretiva	Funcionalidade no manejo
Boro (B)	Como um tratamento profilático para culturas com alta demanda, aplicação ao solo de bórax (11% ou 22% de B) é recomendável.	Necessidades variam amplamente, dependendo da cultura (0,5-2,0 kg de B/ha); existe risco de danos por excesso afetando a cultura subsequente com baixa exigência de B. Um melhor distribuição pode ser obtida pela incorporação do boro em fertilizantes fosfatados ou com multinutrientes. Poliboratos parecem ser superiores ao bórax para aplicação foliar (na dose de cerca de 1 kg/ha).
Molibdênio (Mo)	Requerido em somente quantidades muito pequenas.	Envolvido na fixação do N por bactéria em associação como leguminosas.
Níquel (Ni)	Níquel foi confirmado como um nutriente essencial para as plantas em 1987.	Uma das suas funções essenciais é na reação da urease na nutrição de N no solo. É considerado importante para o desenvolvimento dos grãos e maturação e no movimento do Fe para dentro das células das plantas. É um fator de qualidade dos grãos.
Cobalto (Co)	Cobalto foi considerado recentemente para ser o 18º nutriente essencial para as plantas, mas ainda não foi “oficialmente” reconhecido. Por enquanto é considerado benéfico, mas não essencial.	Cobalto é necessário para fixação do nitrogênio (N) que ocorre dentro dos nódulos das plantas leguminosas. Na bactéria fixadora de N, o Co é um componente vital necessário para sintetizar a vitamina B12, que é necessária para formar a hemoglobina, que, por sua vez, é diretamente relacionada ao sucesso para a fixação de N nos nódulos das raízes das leguminosas.

Tabela 3. Micronutrientes essenciais para o crescimento das plantas e algumas de suas fontes e características (continuação).

Micronutriente	Fontes para ação corretiva	Funcionalidade no manejo
Ferro (Fe)	Usualmente aplicado como pulverização foliar na forma de quelatos tais como Fe-EDTA (9% de Fe) ou Fe-EDDHA (6% de Fe).	Aplicação ao solo de Fe-EDDHA tem a vantagem de ser mais estável em solos neutros.
Manganês (Mn)	Deficiência ocorre, principalmente, em solos ácidos para neutros. Ambos sulfato de Mn (24-32% de Mn) e Mn-EDTA (13% de Mn) são solúveis em água e de ação rápida, e são adequados para aplicação foliar e ao solo.	Óxidos de Mn podem ser usados com a finalidade de aumentar as reservas. Melhoramento indireto do suprimento via solo pode ser alcançado pelo uso de aditivos acidificantes.
Cobre (Cu)	Deficiência pode ser mais facilmente corrigida por um período mais longo pela aplicação ao solo na forma de sulfato de Cu ou óxidos, etc.	Quelatos ou sulfato de Cu neutralizado (25% de Cu) são adequados para aplicação foliar em culturas deficientes.
Zinco (Zn)	Usualmente aplicado nas culturas deficientes na forma de aplicação foliar de sulfato de Zn (ex. 23% de Zn) ou quelato de Zn (ex. Zn-EDTA).	Altos níveis de P no solo podem resultar em reduzida disponibilidade de Zn.
Cloro (Cl)	Usualmente encontrado no solo como íon cloreto (Cl^{-1}). Comumente é aplicado com K no fertilizante potássico (KCl) ou como outros sais.	É facilmente lixiviado na água de drenagem.

balanço de nutrientes são frequentemente realizados tomando por base quantidades relativamente menores do que aquelas que são removidas dos campos no momento da colheita. Dados relevantes sobre remoção de nutrientes devem ser estabelecidos para todas as culturas e sistemas de produção.

As quantidades dos nutrientes que são necessárias de serem adicionadas pelos fertilizantes e esterco dependem:

- da exigência do nutriente para uma cultura atingir uma meta desejada de produtividade;
- do suprimento do nutriente pelo solo, o qual pode ser estimado por métodos de diagnose.

As plantas, em geral, contêm quantidades máximas de nutrientes nos estágios avançados de crescimento, logo antes de atingir a maturidade (usualmente mais do que a planta precisa). Entretanto, os cálculos do balanço de nutrientes são frequentemente realizados tomando por base quantidades relativamente menores do que aquelas que são removidas dos campos no momento da colheita. Dados relevantes sobre remoção de nutrientes devem ser estabelecidos para todas as culturas e sistemas de produção.

As quantidades dos nutrientes que são necessárias de serem adicionadas pelos fertilizantes e esterco dependem:

- da exigência do nutriente para uma cultura atingir uma meta desejada de produtividade;
- do suprimento do nutriente pelo solo, o qual pode ser estimado por métodos de diagnose.

Não é necessário o uso de fertilizante ou esterco se a absorção do nutriente do solo não levar, mesmo no longo prazo, a uma significativa diminuição das reservas do solo. Isto é geralmente o caso com os micronutrientes.

Concentração de nutrientes nos fertilizantes

A concentração de nutrientes nos fertilizantes se refere à garantia legal destes elementos disponíveis às plantas e expressos em relação à percentagem no fertilizante. Uma fórmula 12-32-16 para um

fertilizante NPK indica a presença de 12% de N, 32% de fósforo (P_2O_5) e 16% de potássio (K_2O).

Aumentando a eficiência dos fertilizantes

Os fertilizantes podem se tornar mais eficientes pela diminuição da liberação dos nutrientes, inibindo a conversão para formas que são menos estáveis nos solos, ou aumentando a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. O uso dessas alterações para aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes depende dos benefícios potenciais em termos agrônômicos, econômicos, e fatores ambientais. Em anos recentes, tem ocorrido um aumento no interesse em formulações de fertilizantes e uso de aditivos que ajudam a aumentar a eficiência do fertilizante aplicado. Um número de diferentes processos e produtos é disponível para atender essa necessidade. Uma abordagem é criar uma barreira física, ou revestimento para proteger os grânulos do fertilizante de dissolução. Dependendo da espessura do revestimento e de seus componentes, a proteção pode ser de poucos dias ou alguns meses. Outra estratégia é desenvolver uma combinação química que aumenta a absorção do nutriente. São vários os produtos disponíveis que interferem nos processos biológicos dos nutrientes no solo. Estes incluem inibidores da nitrificação, inibidores da urease, e outros produtos químicos que podem ser usados para parar, ou diminuir as rotas que são reguladas por bactérias do solo.

Fertilizantes revestidos ou com controle de liberação

Uma grande amplitude de materiais têm sido usada como revestimento nos fertilizantes solúveis. Revestimentos são mais comumente aplicados aos fertilizantes nitrogenados granulados ou perolados, mas fertilizantes multinutrientes algumas vezes também são revestidos. Uma vez que uréia é o fertilizante nitrogenado com o maior teor de N entre os fertilizantes solúveis comuns, ela é o fertilizante mais comumente revestido. Enxofre elementar foi o primeiro revestimento amplamente usado. O processo envolvia a pulverização do S dissolvido sobre os grânulos de uréia, seguindo-se com aplicação de uma cera selante para fechar quaisquer rachaduras

ou imperfeições no revestimento. Uma evolução nesse processo foi adotada mais tarde quando a camada de S foi coberta com uma fina camada de um polímero orgânico. Revestimentos com polímeros podem ser aplicados às partículas de fertilizantes para controlar a liberação de nutrientes e aumentar a eficiência de uso dos nutrientes. Estes revestimentos podem proteger as partículas do fertilizante por tempos variáveis de poucas semanas ou de vários meses dependendo do revestimento e das condições do solo. Alguns revestimentos protegem as partículas do fertilizante da dissolução no solo por certo período de tempo.

Um exemplo de revestimento que atrasa a liberação de N da uréia é o N ambientalmente esperto (NAE). Isto é, uma uréia granulada circundada por um revestimento de polímero flexível, que controla a permeabilidade da absorção de água e a liberação do N dissolvido. Este revestimento de polímero pode ser aplicado em diferentes espessuras para ajustar a taxa pela qual a água pode ser absorvida e a uréia dissolvida.

Produtos revestidos funcionam por manter o nutriente numa forma que é menos provável de ser perdido da zona radicular, liberando o nutriente em um tempo tão próximo quanto possível ao período de absorção requerido pela planta. Uns poucos dias de atraso na liberação pode frequentemente significar uma redução significativa nas perdas do nutriente, e, em consequência, um aumento significativo na eficiência de uso do nutriente. Por manter mais do nutriente na cultura, perdas para o meio ambiente são também reduzidas.

Inibidores

Um número de inibidores químicos e biológicos tem sido identificado e podem ser usados para controlar a liberação de nutrientes ou sua atividade no solo. Estes produtos químicos geralmente atingem uma reação específica no solo para prevenir sua ocorrência por um período de tempo. Outra vez, nitrogênio é o nutriente mais comumente enfocado. Há produtos inibidores da nitrificação, que diminuem a conversão bacteriana de amônio para nitrato, e inibidores da urease, que reduzem a quebra enzimática da uréia para amônio. Adições de urease e inibidores da nitrificação na uréia permitem que o fertilizante

nitrogenado aplicado, permaneça no solo perto da zona das raízes por um período mais longo, e, em consequência, criando melhores condições para absorção pela planta do que no caso da aplicação isolada de uréia, assim como reduzir o potencial de perdas de N do sistema solo-planta para o meio ambiente. Entretanto, a eficiência desses inibidores no aumento da produtividade e melhoria no teor de proteína nos grãos são afetados por vários fatores de solo e ambientais. Em consequência, o método e a época ideais de aplicação de fertilizantes nitrogenados, quando realizado junto com inibidores, precisam ser trabalhados para diferentes culturas, solos e climas.

Outros

Alguns micronutrientes podem ser incorporados em esferas de vidro, que tornam os nutrientes fáceis de serem aplicados uniformemente e também mantêm um controle na taxa de liberação. Polímeros líquidos são algumas vezes usados para ligar com cátions do solo e ajudar a manter a solubilidade de P sob algumas condições. Várias opções são disponíveis para atingir necessidades específicas de manejo de nutrientes. O uso desses sistemas de controle normalmente aumentam os custos, mas pode ser justificável se forem obtidos suficientes aumentos na eficiência dos nutrientes e das produtividades desejadas.

Fertilizantes orgânicos

Um número de materiais orgânicos podem ser valiosos corretivos do solo e fornecedores de nutrientes (Box 7). Uma vez que muitos desses são produtos de descarte, eles podem ser disponíveis a baixo preço, especialmente se utilizados próximos aos locais onde são produzidos. Alguns resíduos agrícolas são usados porque a reciclagem é a única, e acima de tudo benéfica, forma de dispor desses produtos.

Alguns produtos de descarte da fazenda são usados porque a reciclagem é a única, e acima de tudo benéfica, forma de descarte dos mesmos. Se material de descarte de qualquer espécie for comprada pelo agricultor, ele deve ser comparativamente barato e não ter efeito tóxico ou prejudicial ao meio ambiente, e deve ser lucrativo.

Box 6. Formas de fertilizantes

Materiais fertilizantes podem ser produzidos de várias formas. As decisões de quais formas usar dependem de quando e como o fertilizante vai ser aplicado, da cultura a ser cultivada e quais formas estão disponíveis no local.

Nutrientes individuais

O sistema mais simples é aplicar os nutrientes individualmente, mas isto pode não ser a forma mais eficiente sob o ponto de vista de trabalho e outros recursos, e pode não resultar na forma mais eficiente de utilização do nutriente. Algumas vezes é a única alternativa. Amônia anidra, por exemplo, não é misturada com outros nutrientes e é aplicada com um nutriente isoladamente.

Fertilizantes minerais mistos ou mistura de grânulos

Materiais fertilizantes granulados secos são frequentemente misturados juntos em diferentes relações para atender as necessidades de campos individuais. Pela mistura de diferentes materiais componentes (usualmente, fontes de N, P e K, mais nutrientes secundários e micronutrientes, se necessário) em combinações apropriadas, um plano de manejo de nutrientes pode ser desenvolvido para atender os requerimentos da análise do solo e as necessidades das culturas, usualmente com a combinação mais barata das fontes. Deve-se ter cuidado para assegurar a compatibilidade química e física dos fertilizantes componentes. Para evitar segregação durante o transporte, manuseio e aplicação, é importante que os diferentes produtos na mistura, tenham tamanho de partículas semelhantes. Mistura física é prática para grandes operações onde é possível manusear grandes volumes dos produtos individuais e o fertilizante pode ser distribuído aos agricultores em big bags. Para muitos sistemas menos desenvolvidos, geralmente é mais prático usar fertilizantes compostos com teores padrões de nutrientes, ou grau fertilizante (teores de N-P-K).

Fertilizantes compostos (complexos) ou misturas granuladas

Nutrientes múltiplos podem ser combinados dentro de grânulos uniformes, cada um contendo a combinação adequada de nutrientes para facilitar a uniformidade de distribuição.

(continua)

Box 6. Formas de fertilizantes (continuação)

Tais fertilizantes são fabricados com relações comuns para as necessidades da cultura e do solo da área. A desvantagem é que essas relações são fixas, e, assim, os fertilizantes compostos não são adequados para aplicações a taxas variáveis, a não ser que fontes suplementares dos nutrientes individuais sejam usadas para balancear a necessidade geral. Fertilizantes compostos oferecem uma maneira eficiente para a aplicação uniforme de micronutrientes, combinando-os em compostos granulados, e usando nutrientes que são aplicados a altas taxas como carregadores. Compatibilidade química e outro ponto importante de ser considerado.

Fertilizantes fluidos

Misturas de materiais podem representar um passo adiante pela mistura dos nutrientes na forma de fluidos que, frequentemente, podem ser aplicados mais uniformemente no campo. Estes podem ser desenvolvidos como líquidos claros obtidos de misturas de nutrientes dissolvidos que dão um produto homogêneo contendo os nutrientes desejados, ou como suspensões, que são compostas de partículas muito pequenas do material fertilizante em suspensão em um líquido em combinação com argila em suspensão ou agente na forma de gel. Micronutrientes, herbicidas, inseticidas, e outros aditivos podem ser incluídos em fertilizantes fluidos. Algumas vezes, essas adições são mais adequadas para suspensões do que líquidos claros em decorrência das interações entre os componentes. Algumas são feitas com fontes de nutrientes que tem um baixo teor de sais, e assim, eles podem ser aplicados como fertilizante foliar; alguns são adicionados na água de irrigação. Verificação da compatibilidade é crítica para evitar a formação de precipitados, entupimento dos bicos aplicadores, e injúrias as culturas.

O gráfico de compatibilidade (Figura 15), desenvolvido pela Fundação de Fertilizantes Fluidos é um guia valioso para a verificação de quais produtos podem ser combinados com sucesso nas misturas envolvendo esses fertilizantes fluidos.

Box 7. Tipos de fertilizantes orgânicos

- **Material de ocorrência natural** (ex, turfa)
- **Resíduos da fazenda**
 - resíduos das culturas (palha, folhas, etc.);
 - composto (mistura de resíduos de plantas decompostas);
 - adubos verdes (leguminosas e outras incorporadas ao solo).
- **Resíduos de fábricas de processamento de produtos, ex.**
 - fibras (da indústria de papel) e produtos prensados (da indústria de óleo de sementes);
 - matérias da madeira (cascas, pó de serra, lignina da indústria de papel);
 - melaço (da indústria de açúcar);
 - extratos de algas marinhas
- **Resíduos da indústria de processamento de animais, ex.**
 - farinha de sangue, de chifre e ossos;
 - poeira de couro, etc.
- **Resíduos urbanos**
 - composto de lixo urbano;
 - resíduos de esgotos.
- **Inoculantes de solo** (ex. microrganismos vivos).

Fertilizantes orgânicos usualmente necessitam manuseio e transporte de grandes volumes de material para obterem relativamente baixos níveis de nutrientes, e, assim, é melhor usá-los nos campos próximos à fonte.

Resíduos orgânicos processados, especialmente se forem para ser vendidos, geralmente requerem preparação mecânica e química, i.é. eles precisam ser secos, moídos, misturados, granulados, neutralizados, complementados pela adição de nutrientes em particular, e serem livres de germes patogênicos.

Crítérios importantes em relação aos fertilizantes orgânicos são:

- teor de matéria seca,

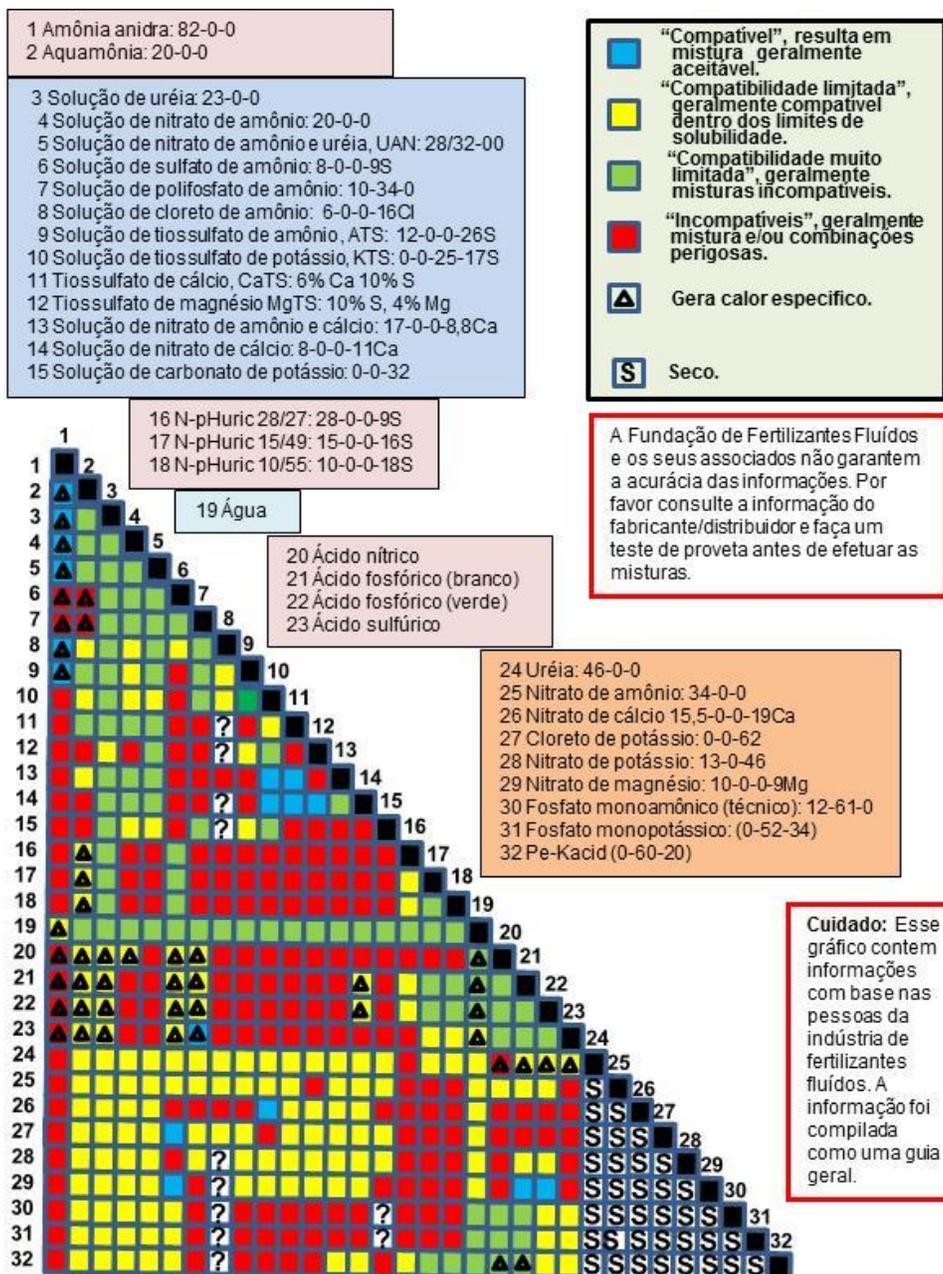


Figura 15. Gráfico de compatibilidade para misturas de fertilizantes fluidos (Fundação de Fertilizantes Fluidos, Maio 2009).

- matéria orgânica total e facilmente mineralizável,
- nitrogênio total e de ação rápida,
- relação carbono/nitrogênio (C/N),
- teores totais de P e K,
- teor de substâncias detrimenais ao crescimento das plantas ou qualidade dos produtos (em relação aos metais pesadas, em particular devem ser estabelecidos os limites críticos).

As doses pelas quais os materiais orgânicos são aplicados devem levar em conta tanto o suprimento esperado de nutrientes que é disponível para a cultura (para N no esterco, cerca de 20-30% da quantidade aplicada é disponível para a cultura durante o primeiro ano; isto pode ser relativamente maior nos climas tropicais) e a necessidade para minimizar as perdas de nutrientes ou outros efeitos detrimenais. Não existe diferença entre o valor nutricional dos nutrientes derivados das fontes orgânicas em comparação com os fertilizantes minerais. Afirmarões que as fontes orgânicas de nutrientes são melhores para as plantas, não têm base científica. Além de suprir nutrientes, materiais orgânicos podem ter outros benefícios para o crescimento das plantas, particularmente em relação às propriedades físicas e químicas do solo (Box 8).

Assim como nos materiais fertilizantes minerais, aditivos que aumentam a eficiência podem ser adicionados aos esterco e outras fontes de nutrientes orgânicos para reduzir o potencial de perdas de nutrientes, seja durante o armazenamento ou após a sua aplicação no campo. Opções de localização e época de aplicação também podem melhorar o manejo de nutrientes das fontes orgânicas. A maior parte do aumento da matéria orgânica depende do crescimento das plantas, que, por sua vez, depende do balanço de nutrientes no solo. Produção de matéria orgânica em um solo fértil pode reter nutrientes no solo até que eles sejam convertidos para formas disponíveis para as plantas, e, assim, fornecendo um mecanismo de liberação lenta para o suprimento de nutrientes para a próxima cultura. Assim, a correção das deficiências de nutrientes é realmente mais importante para construir a produtividade do solo do que aumentar a matéria orgânica do mesmo.

Box 8. Efeitos de materiais orgânicos no crescimento das plantas (via solo)

- Melhoria das propriedades físicas, seja diretamente pela adição de matéria orgânica ou pela ativação de organismos vivos no solo:
 - melhor estrutura do solo como resultado da diminuição da compactação associada à melhoria na estabilidade dos agregados;
 - melhor capacidade de retenção de água e de aeração do solo;
 - proteção da superfície pela formação de uma camada de cobertura morta (mulching).
- Influência nas propriedades químicas
 - sorção de nutrientes pelos ácidos húmicos;
 - suprimento de nutrientes pela decomposição do húmus e pela ação de dissolução dos minerais do solo;
 - fixação de nutrientes nos complexos orgânicos (principalmente um influência negativa do curto ou longo período);
 - efeitos de reguladores de crescimento produzidos pelo solo (ex. acumulação de inibidores de crescimento nas monoculturas, e antibióticos protegendo contra doenças bacterianas).

Reações do solo

Um adequado plano de manejo dos nutrientes deve incluir o monitoramento cuidadoso do pH, de modo que todos os nutrientes possam ser mais eficientemente usados pelas culturas. Para os solos serem bastante produtivos, eles precisam, primeiro, estar na ótima amplitude de pH (os valores mencionados abaixo se referem a medidas em suspensão com água). Um valor adequado de pH irá assegurar que todos os elementos essenciais estejam disponíveis para a absorção pelas plantas. Valores abaixo do pH 4,5-5,0 podem ser muito danosos às plantas (síndrome da acidez do solo) por causar deficiências de nutrientes (de P, Mg, etc.) e toxidez (de Al, Fe). A calagem ajuda a elevar o pH a pelo menos 5,5. Uma amplitude de pH de 5,5-6,5 parece ser satisfatória para produções moderadas na maioria das culturas. Valores ótimos de pH, ou respectivas amplitudes, para altas produtividades têm sido estabelecidos para diferentes solos, culturas e rotações.

A Figura 16 mostra o efeito do pH na disponibilidade relativa de vários nutrientes. Muitas versões sobre isso têm sido desenvolvidas em todo o mundo. Ajustando o pH pela calagem do solo pode aumentar ou diminuir a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. Num pH entre 6,5 e 7,0, a maioria dos nutrientes está na sua disponibilidade máxima. À medida que o pH aumenta ou diminui, nutrientes individuais são retidos em compostos que os tornam não disponíveis.

Várias espécies de materiais corretivos podem ser usadas para aumentar o pH do solo. Calcário é o material mais comumente usado. Ajustado o pH do solo para valores entre 6,5 e 7,0 irá fornecer uma condição ao solo para a maioria dos nutrientes estarem em sua forma mais disponível. Por exemplo, o P reage com solo ácido para formar fosfatos de ferro e de alumínio, que não são disponíveis para as plantas. Em valores mais altos de pH, o P combina com o cálcio e o magnésio para formar compostos insolúveis. Ajustando o pH para uma amplitude entre 6,5 a 7,0 ajuda a liberar o P destes compostos tornando-o mais disponível para as raízes das plantas. Em consequência, a deficiência de P em culturas pode ser corrigida pela aplicação de calcário para elevar o pH, liberando P que já está no solo, ao invés de adicionar fertilizante fosfatado.

Em muitos solos ácidos, calcário contendo carbonato de magnésio fornece um benefício duplo pelo ajuste do pH e pelo suprimento de Mg. Entretanto, é importante complementar a calagem com uso apropriado de fertilizantes para corrigir outras deficiências nutricionais.

Em solos neutros ou levemente alcalinos, sob condições de altas produtividades, o uso de fertilizantes nitrogenados acidificantes pode ser vantajoso por resultar em um melhor suprimento de micronutrientes tais como Mn ou Zn. Em solos salinos/sódicos, o gesso é um valioso corretivo do solo para ajudar a remover o Na e melhorar a estrutura suprimindo Ca, sem alterar o pH do solo.

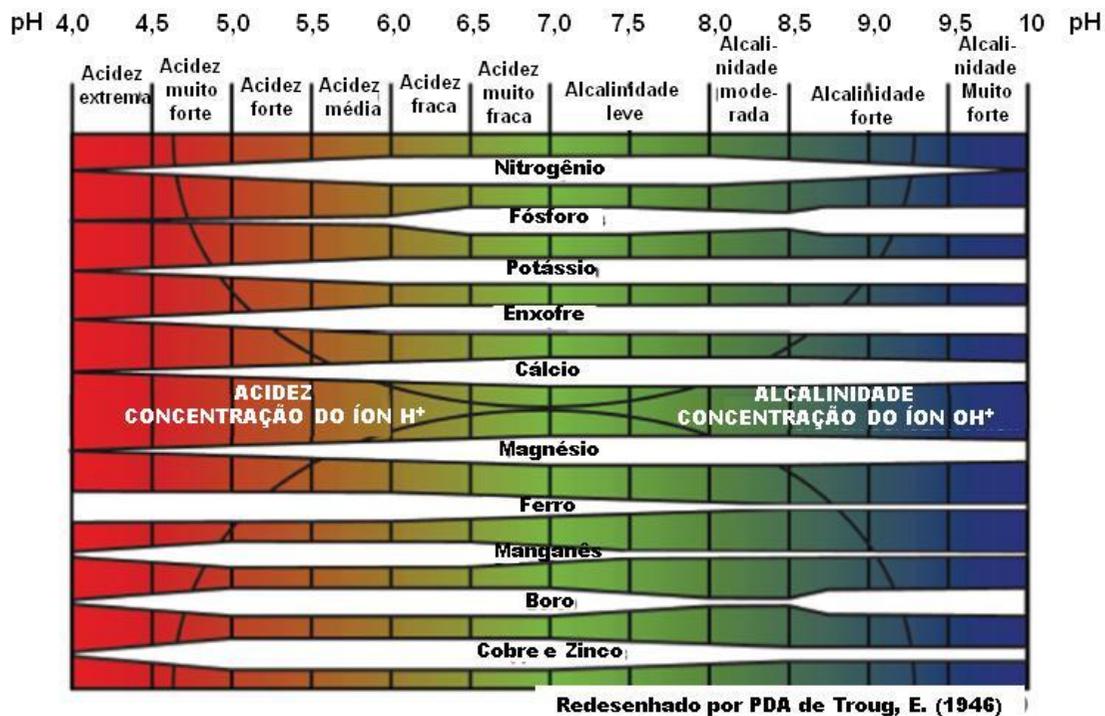


Figura 16. Disponibilidade de vários nutrientes à medida que o pH muda. A espessura de cada barra de nutriente representa sua disponibilidade relativa em vários níveis de pH (Associação de Desenvolvimento do Potássio, (RU).

Estratégias para recomendação de fertilizantes

Existem três estratégias básicas para recomendação de fertilizantes para as culturas. A estratégia de suficiência tem foco nas necessidades das plantas enquanto as estratégias de construção e de manutenção tem como base a quantidade de nutriente disponível no solo.

Estratégia de suficiência

A absorção de nutrientes imóveis (tais como P e K) pelas culturas é uma função da concentração dos nutrientes disponíveis para as plantas no solo, porque a quantidade extraída pelas plantas é limitada pela concentração na interface raiz-solo. A percentagem de suficiência é baseada no valor da análise do solo expressa como uma percentagem do potencial de produtividade quando o nutriente é limitado àquele nível. Cada cultura tem um índice de suficiência específico e uma dose de aplicação para cada nutriente. A meta da estratégia de suficiência é aplicar o suficiente do fertilizante para maximizar a lucratividade em um dado *ano de aplicação*, minimizando as aplicações dos nutrientes e os custos dos fertilizantes ao mesmo tempo. A estratégia de suficiência é referida comumente como a da “alimente a cultura” para o manejo eficiente dos fertilizantes.

Os níveis das análises de solo devem ser calibrados pelo uso de experimentos de respostas na produtividade para determinar os níveis de suficiência. Nestes experimentos, o ponto no qual não mais existe resposta na produtividade é identificado como o *nível crítico*. Um aspecto positivo do conceito de suficiência, é que as produtividades são maximizadas enquanto os insumos anuais são minimizados. Entretanto, as aplicações vão ter que ser feitas cada ano para manter os níveis de produtividades alcançados. Adubação com base nos níveis de suficiência é adequada para arrendamentos de terras de curto prazo.

Estratégia de manutenção

Usando a *estratégia de manutenção* no manejo de nutrientes, os que são removidos pela colheita da cultura devem ser repostos. Os

fertilizantes são aplicados, com base nas quantidades de nutrientes removidas do campo para manter o nível do nutriente no solo. O conceito de manutenção não recomenda a aplicação quando os níveis de nutrientes no solo estão acima do nível crítico. Acima do nível crítico na análise de solo, o solo será capaz de suprir os nutrientes requeridos pelas culturas e não será esperada resposta ao uso de fertilizantes. Uma pressuposição no conceito de manutenção, é que a taxa de remoção de nutrientes pela cultura é acurada e permite a manutenção da análise de solo no nível crítico. Para compensar por alguns dos nutrientes aplicados serem fixados por interações químicas no solo, a necessidade real para a manutenção pode ser levemente maior do que a quantidade removida pela colheita da cultura.

Estratégia de “construção”

A *estratégia de “construção”* para manejo dos nutrientes é baseada no “alimente o solo”, ao invés da planta. Nutrientes são aplicados em excesso, em relação às quantidades removidas pelas culturas, para elevar as concentrações até o ponto em que eles não serão limitantes. Esta estratégia permite tirar vantagem de anos ‘excepcionalmente bons’, quando o clima e outras condições permitem produtividades acima da média.

O processo de construir valores de análise de solos, usualmente abrange de 4 a 8 anos, dependendo da situação econômica do agricultor. Programas de construção mais longos ajudam o agricultor a manejar suas finanças dividindo os custos dos fertilizantes para o processo de construção da fertilidade por vários anos. Mas programas de construção mais curtos podem retornar os benefícios de altos níveis nas análises de solos mais cedo. Para alguns solos, construção das análises de solo não é possível em função do excesso de lixiviação dos nutrientes aplicados ou por terem os nutrientes retidos em formas não disponíveis. Solos com alta percentagem de areias ou níveis muito altos de matéria orgânica tendem a apresentar tais limitações. Nestes casos, os fertilizantes devem ser aplicados tão próximo quanto possível ao período de uso pela cultura com a finalidade de se obter o uso mais eficiente dos nutrientes aplicados.

Estratégia de “construção” e de manutenção

Usualmente os conceitos de construção e de manutenção são usados em conjunto. A filosofia de construção e de manutenção significa que o fertilizante é aplicado por um período de tempo selecionado até que os níveis dos nutrientes (tais como P e K) sejam levados ao nível crítico pela análise de solo, sendo, então, as aplicações continuadas a uma taxa para manter os níveis desses nutrientes de acordo com a análise de solo. Esta estratégia requer dados de calibração que mostrem a relação entre fertilizante adicionado e mudança no nível da análise de solo. A análise de solo fornece um índice da produtividade do mesmo em diferentes níveis para um procedimento analítico específico.

A estratégia de construção e manutenção resulta no estabelecimento de níveis de análise de solo numa amplitude onde a resposta do fertilizante aplicado, em produtividade, não é esperada. Níveis de análise de solos são mantidos para dar suporte a produtividades ótimas e assegurar que os nutrientes não sejam limitantes. Esta estratégia usualmente funciona bem para P e K, mas não é apropriada para o N, uma vez que análises de solo para N não podem ser construídas ou mantidas^(*).

A Figura 17 mostra uma comparação para a estratégia do valor crítico (suficiência) e a estratégia da construção e manutenção para recomendação de fertilizantes. O componente mais importante deste modelo é o estabelecimento do nível crítico. Este nível crítico tem o mesmo valor daquele estabelecido como o nível de 100% no conceito de suficiência.

(*) NT. A estratégia de “construção” e manutenção para fósforo foi amplamente utilizada para incorporação da área do cerrado do Brasil, no processo produtivo da agricultura brasileira. Com base em dezenas de anos de pesquisas com fósforo, as recomendações gerais foram de 4, 2 e 1 kg de P_2O_5 para cada 1% de argila em solos muito baixos, baixos ou médios de P, respectivamente. A distribuição dessas doses corretivas de P é realizada após calagem adequada da área, a lancha, incorporadas com gradagem leve, seguindo-se as adubações normais de semeadura.

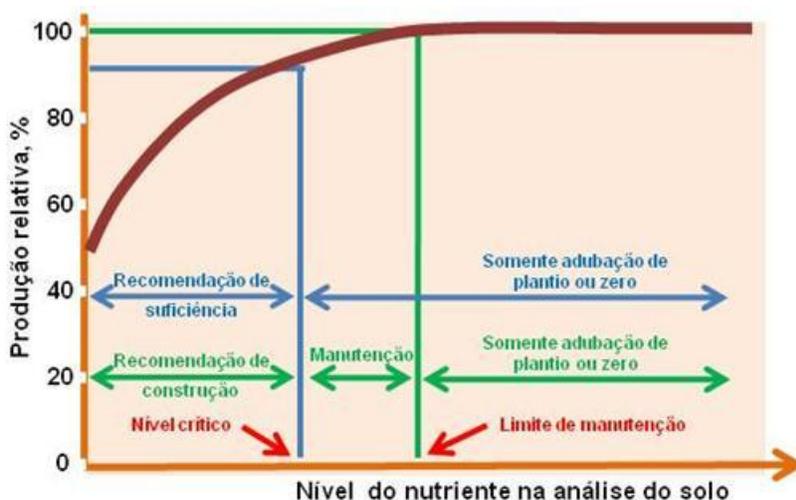


Figura 17. Estratégia de construção e manutenção para o manejo de nutrientes (IPNI).

A principal diferença é que, com a estratégia de suficiência, a meta é aplicar o fertilizante apenas até o valor crítico. Com as estratégias de construção e manutenção, a meta é aplicar o fertilizante até o ponto onde não é esperada mais resposta da cultura decorrente de mais aplicações do fertilizante, e tentativa para manter a análise de solo naquele nível. Com a estratégia de suficiência, é crítico que o fertilizante seja aplicado anualmente para alcançar o nível crítico necessário para manter a produtividade. Com a estratégia de manutenção, existe maior flexibilidade, porque a cultura é menos dependente da aplicação anual. Assim, se as condições de clima ou aspectos econômicos recomendam um corte na aplicação de fertilizante para uma cultura, a produtividade não é sacrificada.

Quando a análise de solo está acima do “nível crítico” para a estratégia de suficiência ou acima do “limite de manutenção” para as estratégias de construção e manutenção, a recomendação é aplicar somente a adubação de plantio ou não aplicar o fertilizante e esperar para o próximo ciclo de análise.

A interpretação da análise de solos depende dos métodos analíticos usados no laboratório, e dos dados de calibração usados para

estabelecer a relação dos dados de laboratório com a produtividade da cultura com base em muitos estudos de campo para cada cultura e em solos diferentes. A relação entre produtividade esperada e o P do solo é medida pelo método colorimétrico de Bray P, ou Mehlich-3 em solos neutros para ácidos, ou pelo método Mehlich-3 em solos com $\text{pH} > 7,3$. No Brasil são mais utilizados os extratores Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) e a resina trocadora aniônica.

Esses valores não devem ser usados para o método de Olsen (bicarbonato de sódio) ou para a extração pelo Mehlich-3 analisado por ICP. Os resultados da análise de solos não fornecem uma medida atual dos níveis dos nutrientes no solo, mas sim um valor índice que precisa ser relacionado à calibração adequada, relacionando a medida do laboratório com os valores de produtividade.

Aplicações de fósforo e potássio

Uma vez que P e K podem ser “construídos” no solo e quando são aplicados como fertilizantes, eles tendem a permanecer no solo, os agricultores frequentemente escolhem aplicar o suficiente para mais de uma cultura de uma única vez. Em um programa de construção e de manutenção, uma estratégia comum é fazer a análise de solos a cada 4 anos, e aplicar P e K suficientes para antecipar as necessidades das culturas para os próximos 4 anos. Em seguida, são apresentados exemplos de como calcular as doses de fertilizantes a serem aplicadas anualmente para um programa de 4 anos.

Exemplo 1: “Construção” mais manutenção necessária

Considere uma necessidade de fertilizante para um sistema contínuo de milho, com uma meta de produtividade de 11,3 t/ha cultivado em uma região de solos com um alto poder de suprimento de P e alta CTC. Os níveis na análise de solo foram 36 kg de P/ha e 279 kg de K/ha.

Passo 1: Calcular a dose de “construção”

Fósforo

A tabela que segue mostra os cálculos da exigência para “construir” o P_2O_5 com fertilizante no sistema inglês e em unidades métricas:

Valor	Dose	Unidades
Nível desejado na análise	45	Kg de P/ha
Nível atual da análise	36	kg de P/ha
“Construção” requerida	9	kg de P/ha
Fator de “construção”	9	kg de P_2O_5 /ha para aumentar 1 kg de P/ha na análise de solo
Fertilizante necessário	81	kg de P_2O_5 /ha
Anos entre aplicações	4	anos
Aplicação anual	20	kg de P_2O_5 /ha/ano

- O solo está 9 kg/ha abaixo no nível desejado de 45 kg/ha ($45 - 36 = 9$);
- Será preciso aplicar 9 unidades de P_2O_5 para “construir” a análise de solo em 1 unidade.
- $9 \times 9 = 81$ kg de P_2O_5 em um período de 4 anos para elevar o P no solo ao nível desejado, ou $81 / 4 = 20$ kg de P_2O_5 por ano.

Potássio

A tabela que segue mostra os cálculos para as doses requeridas para “construção” com K_2O :

Valor	Dose	Unidades
Nível desejado na análise	335	kg de K/ha
Nível atual da análise	279	kg de K/ha
“Construção” requerida	56	kg de K/ha
Fator de “construção”	4	kg de K/ha para aumentar 1 kg de K/ha na análise de solo
Fertilizante necessário	224	kg de K/ha
Anos entre aplicações	4	anos
Aplicação anual	56	kg de K_2O /ha/ano

- O solo está 56 kg/ha abaixo do nível desejado de 335 kg/ha ($335 - 279 = 56$).

- Será preciso aplicar 4 kg de K_2O para “construir” a análise de solo em 1 kg.
- $56 \times 4 = 224$ kg de K_2O/ha num período de 4 anos para levar o K no solo ao nível desejado, ou $224 / 4 = 56$ kg de $K_2O/ha/ano$.

Passo 2: Calcular a manutenção

- Assumir 11,3 t/ha de produtividade: teor de nutrientes de 7,7 kg de P_2O_5/t e 5,0 kg de K_2O/t

Manutenção com fósforo:

7,7 kg de P_2O_5 por t de milho \times 11,3 t = 86 kg de P_2O_5 /ano

Manutenção com potássio:

5,0 kg de K_2O por t de milho \times 11,3 t = 56 kg de $K_2O/ha/ano$

Passo 3: Soma dos valores de construção e manutenção para determinar a taxa anual de aplicação

Fósforo: 20 kg de construção + 86 kg de manutenção = 106 kg de $P_2O_5/ha/ano$

Potássio: 56 kg de construção + 56 de manutenção = 112 kg de K/ha/ano

Potencial de suprimento de nutrientes pelos solos

O conteúdo natural de nutrientes nos solos fornece grandes quantidades da maioria dos nutrientes essenciais. Variações na mineralogia, efeitos do intemperismo e lixiviação, remoção de nutrientes pelas culturas anteriores, e outros fatores podem resultar na necessidade de alguns nutrientes serem fornecidos pela aplicação suplementar de fertilizantes. As quantidades aplicadas nos fertilizantes, são usualmente, muito pequenas comparadas com o teor de nutrientes do solo natural. Mas as fontes de fertilizantes podem ser

mais solúveis, ou posicionadas ou aplicadas em época para serem mais disponíveis para as plantas.

A habilidade do solo em suprir os nutrientes para as plantas envolve mais do que apenas o teor de nutrientes na parte química do solo. As interações dos nutrientes e outros elementos que fazem parte do solo afetam como e quando estes nutrientes estão disponíveis para as plantas. Textura do solo, estrutura e outras propriedades físicas também influenciam a liberação e disponibilidade dos nutrientes. A maior parte dos nutrientes é disponível no solo em quantidades muito maiores do que a necessária para atender a demanda das culturas, mas, por várias razões, eles podem não estar prontamente disponíveis quando necessários para a cultura. A água do solo tem um papel fundamental na disponibilidade de nutrientes seja permitindo a liberação e transporte de nutrientes ou restringindo essas ações. A maior parte dos nutrientes movimenta-se pelo solo para as plantas por *fluxo de massa*, dissolvido na água que se movimenta através e dentro da planta. Alguns nutrientes são mais comumente supridos por *difusão* através da formação de um gradiente de concentração para a planta. À medida que a planta remove os nutrientes do solo ao redor, a concentração destes é diminuída e mais nutrientes se movimentam dos locais do solo com suprimento mais concentrado para preencher o vazio e tentar equalizar a concentração próximo às raízes. Ainda uma menor quantidade de nutrientes pode ser disponível via *intercepção radicular* à medida que as raízes fisicamente entram em contato com os nutrientes no solo.

À medida que a cultura cresce, as raízes tendem a se movimentar para baixo no solo, atingindo a proximidade de novos suprimentos de nutrientes. No início da estação de crescimento, o sistema radicular é limitado e pode se beneficiar de uma alta concentração de nutrientes, como aquela disponível decorrente de uma aplicação do fertilizante em sulco. À medida que a planta cresce e o sistema radicular torna-se mais extenso, as raízes podem explorar uma maior percentagem do perfil do solo e alcançam as necessidades das plantas com suprimentos menos concentrados de nutrientes. Mas mesmo um sistema com raízes de milho completamente desenvolvidas irá fisicamente contatar apenas 2% das partículas do solo dentro da zona de raízes, e, em consequência, atingir apenas cerca de 2% dos nutrientes retidos às

partículas de solo. Assim, a maior parte dos nutrientes deve ser suprida pela liberação dos minerais do solo e da matéria orgânica e se moverem na solução do solo (por difusão ou fluxo de massa) para as raízes.

Análise de solo

Análise de solos é a “ferramenta” de diagnóstico mais comum para o manejo de nutrientes. Um bom programa de análise de solos pode ajudar a determinar os nutrientes disponíveis do solo, a necessidade para aplicações de “construção” suplementares, e as tendências nos níveis de nutrientes com o correr do tempo, como resultado da remoção pelas culturas, aplicações de fertilizantes, e outros fatores. É importante compreender que a maioria das análises de solos, não é uma medida dos nutrientes no solo, mas sim um índice do suprimento no solo. Assim sendo, os números das análises de solos somente tem relevância, se acoplado a uma série de dados de calibração que fornecem a relação entre o número do índice da análise de solo e a probabilidade de resposta aos nutrientes adicionados.

Os cientistas desenvolveram uma variedade de procedimentos para análises do solo para ajudar a identificar a quantidade dos nutrientes no solo e a *disponibilidade* dos nutrientes essenciais para as culturas em crescimento. Uma vez que a quantidade real de cada nutriente no solo é substancialmente maior do que aquela que é disponível para a cultura em crescimento, a análise de solo deve ser calibrada através de estudos de doses para desenvolver um *índice* do suprimento do nutriente disponível para a planta. Os dados de calibração são necessários para diferentes tipos de solos e áreas climáticas para avaliar as respostas às aplicações de nutrientes em cada uma dessas situações. Os dados de calibração usados para interpretar análises de solos devem ser derivados de dados de resposta do mesmo tipo de solo ou clima do campo para o qual as recomendações estão sendo feitas. Calibrações oficiais executadas por universidades e órgãos oficiais de governo são disponíveis para recomendações gerais, mas à medida que é tentado um ajuste fino do manejo de nutrientes para características específicas no campo, é importante recalibrar as recomendações de análise de solos para solos, climas e práticas de

manejo específicas usadas pelo agricultor. Isto significa que é valioso ter dados de calibração local para serem usados na interpretação de análise de solo para uma área específica.

Os agricultores e os seus consultores buscam por maior precisão nas análises de solos e nas recomendações. As recomendações do passado já não são adequadas. Não é realmente apropriado usar somente um balanço de entradas e saídas para os nutrientes do solo. Existem muitos fatores de eficiência diferentes que afetam a disponibilidade dos nutrientes aplicados e o impacto dos nutrientes removidos. O solo tem um grande poder tampão que afeta o balanço de nutrientes.

Um dos componentes mais críticos da análise de solo é lembrar que as *análises de solo são somente tão boas como a amostra que é coletada*. É importante que as amostras sejam coletadas cuidadosa e sistematicamente para a melhor representatividade da área sendo amostrada. Procedimentos de coleta de amostras devem seguir os procedimentos usados para a coleta de amostras usadas para a calibração das análises de solos.

A Figura 18 mostra algumas alternativas recomendadas como padrão de amostragem para ser usado na coleta de amostras representativas dentro de uma área. Uma amostragem ao acaso, com amostras representando todos os diferentes tipos de solo ou topografias no campo é uma estratégia. Se a variabilidade da área é mínima ou desconhecida, uma malha regular (parte de baixo à esquerda) pode ser usada. Quando conhecidas as fontes de variabilidade, tais como grandes mudanças nos tipos de solos, alterações significantes na topografia, ou uma história de padrões específicos de variações de produtividade através da área, é mais razoável usar a estratégia de amostragem por glebas homogêneas (parte de baixo à direita), definindo estas pelas fontes de variação conhecidas. À medida que mais é aprendido com o passar do tempo, os padrões de amostragem podem ser refinados.

Talvez, o passo mais crítico da análise de solos seja a coleta de amostra representativa. As amostras podem ser coletadas com a mão usando qualquer ferramenta que possa dar uma amostra de tamanho uniforme (de cima para baixo) e usualmente coletada à profundidade



Figura 18. Padrões alternativos de amostragem de solo para caracterização da variabilidade nos níveis dos nutrientes no campo (IPNI).

de 20 cm ou na profundidade especificada pela base de dados de calibração usado pelo laboratório de análise de solos que irá analisar as amostras. De modo alternativo, amostradores hidráulicos de vários tipos podem ser usados se o número de amostras a coletar justificar tal equipamento. A Figura 19 mostra 4 tipos de ferramentas de coleta manual.

Um trado calador (a) ajuda a coletar uma amostra de diâmetro uniforme representando o perfil do solo na profundidade de amostragem. Um trado de rosca (b) pode ser mais adequado para algumas condições, onde um trado calador é difícil de ser usado. Se uma pá reta (c) for usada, é melhor cortar uma fatia estreita e uniforme do centro da camada tirada por esta ferramenta. Devem ser coletadas 20 amostras simples por gleba homogênea na profundidade recomendada. Essas amostras simples devem ser adequadamente misturadas para formar uma amostra composta (300 a 500 g) que será enviada ao laboratório para as análises.



Figura 19. Quatro tipos de “ferramentas” para amostragem de solos (IPNI).

(*) NT. O trado caneco (D), desenvolvido pelo tradutor, é um instrumento específico para coleta de amostras de solos em solos secos e duros. O princípio de funcionamento deste trado é girar com leve pressão (praticamente sem fazer força). As duas lâminas na ponta do trado cortam o solo à medida que o trado é girado e a terra solta vai subindo ficando dentro do tubo. Quando o tubo de aço estiver cheio de terra solta, faz-se uma pequena pressão no orifício no solo para evitar que o solo escorra durante a retirada da amostra.

Deve-se tomar cuidado para que todas as amostras sejam coletadas à mesma profundidade. Feito de outra forma isso resultará em resultado não confiável do perfil. Documentação cuidadosa da localização exata de cada amostra é também importante. Anotação das coordenadas do GPS de cada amostra é uma forma fácil de referenciar os pontos de amostragem. Com isso todos os resultados da análise vão ser georreferenciados, e os dados podem ser usados com um “software” de mapeamento SIG para desenvolver mapas que mostrem a variabilidade da análise do solo.

Sistemas motorizados de amostragem de solos

Por tradição, amostragens de solos têm sido feitas com um trado manual. Mais recentemente, trados hidráulicos montados sobre tratores, caminhões ou quadriciclos (Figura 20) têm sido usados para reduzir os custos e aumentar a uniformidade e eficiência da amostragem.



Figura 20. Amostrador hidráulico montado em uma pick-up ou quadriciclo ajuda a reduzir a carga de trabalho na coleta de amostras de solos, especialmente na amostragem profunda (Cropsmith).

Em 2014, um novo sistema automático de amostragem (Figura 21) foi introduzido para oferecer mais melhorias nos processos de amostragem de solos.



Figura 21. O amostrador Falcon, sistema de amostragem de solos automático, incluindo um tambor de aço, com um trado acoplado, que coleta amostras à medida que ele rola pelo campo, coletando amostras, empacotando, colocando etiquetas, catalogando-as e transmitindo dados sobre o local da amostragem para a “nuvem” na internet (Tecnologias Falcon Soil).

Com um tubo de amostragem posicionado na parte de fora do tambor de aço de 1,5 metros de diâmetro de aço inoxidável, o Falcon Automatic Soil Sampler coleta uma amostra a cada 4,5 metros à medida que as rodas de aço seguem pelo campo.

O solo coletado é depositado dentro do tambor e amostras simples, consecutivas, são misturadas à medida que a unidade continua através do campo. Quando o número desejado de amostras simples (possivelmente 10) é coletado, a roda é elevada e um motor elétrico de 12 volts movimenta o tambor para misturar as amostras simples de solos e depositar a amostra composta em sacos ou caixas de amostras. Um carrossel que recebe 12 caixas rotaciona para a próxima posição e uma nova série de amostras simples do solo é iniciada. O processo

continua até que 12 amostras são completadas, sem mesmo parar o equipamento.

Então o carrossel é substituído e 12 novas amostras são coletadas da mesma forma. Uma câmara sem fio a bordo mostra o total da operação na tela de um computador, e mapas de GPS guiam o movimento da unidade através do campo. O equipamento comporta 12 carrosséis diferentes, de modo que um total de 156 amostras totais podem ser coletadas sem sair do campo. Trafegando pelo campo a uma velocidade de 13 a 16 km por hora, a unidade pode coletar até 40 amostras simples de solos por minuto. O tubo de amostragem de aço inoxidável (Figura 22) é chanfrado para dentro e para fora, de modo que parte do solo escorrega facilmente do tubo para dentro do tambor. Tubos intercambiáveis que variam de 10 cm a 30 cm de comprimento podem ser selecionados dependendo da profundidade de amostragem.



Figura 22. Tubos trocáveis de aço chanfrados para amostragem (10 cm a 30 cm de comprimento) com ponta removível que coleta e deposita uma porção do solo em cada revolução do tambor de aço inoxidável (Tecnologias Falcon Soils).

Análise de plantas

A análise de solo é normalmente a melhor ferramenta para determinar a disponibilidade – e a necessidade de fertilização – com macronutrientes (N, P e K), mas as análises de solos para micronutrientes não são uma ferramenta de diagnose eficiente.

Análises de plantas se constituem em um melhor indicador da disponibilidade de micronutrientes e de suas necessidades. Calibrações de dados de micronutrientes nos tecidos das plantas são realizadas usualmente, tomando por base épocas específicas de amostragem, comumente durante períodos de crescimento ativo próximo a antese. Para alguns micronutrientes, são recomendados períodos de amostragem específicos para coleta das folhas mais recente e completamente desenvolvidas.

Avaliando o estado nutricional das plantas em tempo real

Com a finalidade de manejar os nutrientes e ser capaz de tomar uma ação imediata para corrigir deficiências durante a estação de crescimento, é valioso se dispor de um método rápido e barato de determinar as deficiências no campo. Observação visual através de monitoramento no campo é, talvez, a melhor estratégia. Conhecendo-se as características visuais normais (cor, estágio de desenvolvimento e morfologia) de plantas saudáveis e a habilidade para identificar anormalidades é o primeiro passo. Isto é muito eficiente e barato, e pode ser usado tanto em grandes áreas em sistemas de produção com a mais alta tecnologia como em pequenas propriedades manejadas manualmente. Várias coleções de fotos coloridas são disponíveis para ajudar a identificar deficiências nutricionais específicas para culturas individuais ou plantas em geral. Alguns exemplos são apresentados a seguir.

Qualquer pessoa trabalhando com nutrição de plantas deve aprender a conhecer as deficiências nutricionais básicas para as culturas comuns. As deficiências geralmente são causadas por falha de uma função particular na planta que é afetada e a localização reflete se o nutriente é móvel na planta (translocado dos tecidos mais velhos para os mais novos) ou imóvel (não translocado). É claro que o papel dos nutrientes nas plantas irá determinar se os sintomas visuais são passíveis de serem usados como uma ferramenta de diagnose. A Figura 23 mostra um diagrama geral da coloração e a localização dos sintomas para várias deficiências de nutrientes nas plantas; felizmente

a cor dos sintomas de deficiências é geralmente semelhante para plantas diferentes.



Nutriente	Localização dos sintomas	Clorose?	Necrose das margens das folhas?	Cor da folha, forma
N	Todas folhas	Sim	Não	Amarelecimento das folhas, nervuras das folhas
P	Folhas velhas	Não	Não	Manchas púrpuras
K	Folhas velhas	Sim	Sim	Manchas amarelas
Mg	Folhas velhas	Sim	Não	Manchas amarelas (em dendê) ou clorose internerval (em arroz e milho)
S	Folhas novas	Sim	Não	Manchas amarelas
Mn, Fe	Folhas novas	Sim	Não	Clorose internerval
B, Zn, Mo	Folhas novas	-	-	Folhas deformadas

Figura 23. Representação diagramática de deficiências de nutrientes comuns em plantas (Canpotex Planters' Diary, 2010).

A Figura 24 mostra imagens de diferentes sintomas de deficiência de nutrientes e outras anormalidades das folhas de milho. A cor e os padrões dos sintomas podem ajudar no diagnóstico desses problemas durante a estação de crescimento. É sempre recomendável confirmar a diagnose pelo uso de análise de plantas e análises de solos.



Figura 24. Algumas deficiências comuns de nutrientes e sintomas de injúrias nas folhas de milho (IPNI (arte original por Maynard Reece, 1954, Curtis Publishing Company) de “Seja o Doutor do seu Milho”. Revisto por H. F. Reetz, IPNI).

O International Rice Research Institute e outros cooperadores desenvolveram uma tabela de cores de folhas (TCF) para o manejo do N em arroz (Figura 25). Essas tabelas de cores de folhas (TCF) são ferramentas baratas e simples para monitorar a intensidade do verde das folhas e funcionar como um guia para a aplicação de fertilizante nitrogenado para a manutenção de um teor ótimo de N nas folhas.

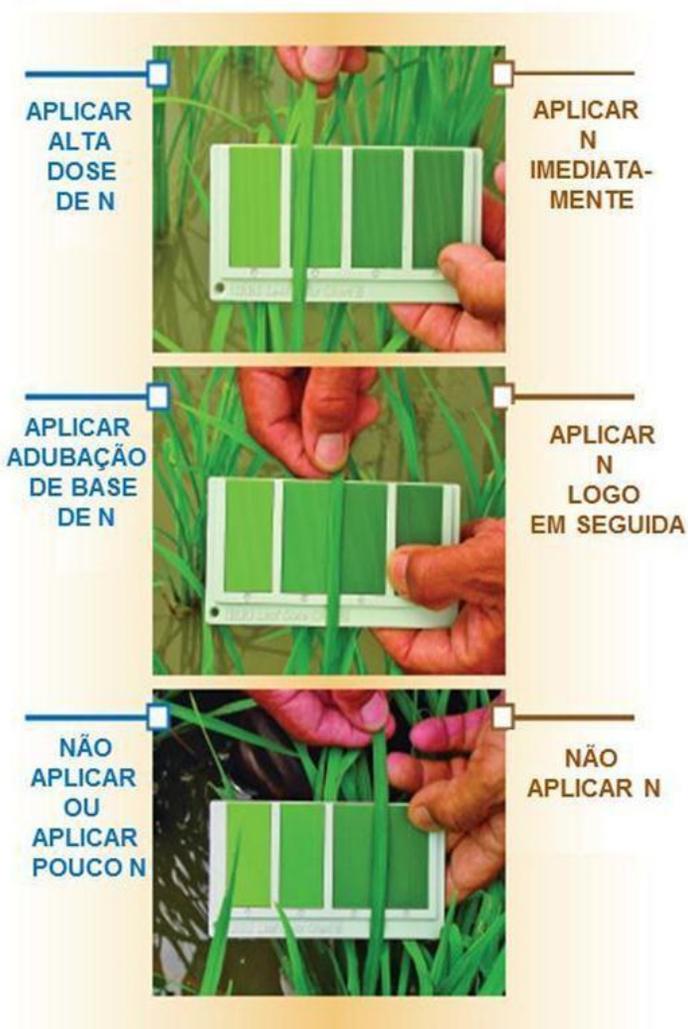


Figura 25. Folha de cores para nitrogênio na folha de arroz (LCC) (IRRI).

Tabelas de cores de folhas com quatro a seis painéis, com as cores variando do verde amarelado para o verde escuro foram desenvolvidas e utilizadas na Ásia. A grande vantagem dessas tabelas (TCF) é o seu baixo custo e a facilidade para compreender e usar. Essas tabelas (TCF) podem ser usadas para determinar a dose relativa de fertilizante nitrogenado a ser aplicada nas culturas do arroz, trigo e milho; ou podem ser usadas para determinar o momento adequado da adubação nitrogenada.

A cultura do arroz exige suficiente N no estágio de perfilhamento para assegurar um número suficiente de panículas, e também no estágio inicial de formação das panículas para assegurar o enchimento de grãos e atingir a produtividade desejada. Arroz de linhagens puras normalmente não necessita de aplicação de fertilizante nitrogenado no estágio de enchimento de grãos, quando a aplicação de N no estágio de iniciação de formação das panículas foi adequada. Híbridos de arroz em condições de alta produtividade podem necessitar da aplicação de fertilizante nitrogenado no estágio inicial de formação das panículas, quando a folha tiver a tonalidade verde amarelada. O teor de N na folha de arroz é estreitamente relacionado à taxa de fotossíntese e a produção de biomassa, e pode servir como um indicador do estado do N na cultura durante a estação de crescimento. O teor de N na folha de arroz reflete na intensidade relativa da cor verde da mesma.

Cores verdes escuras indicam suficiente N, enquanto folhas amareladas indicam deficiência de N. Em consequência, tabelas de cores de folhas (TCF) têm sido utilizadas com sucesso como um guia de aplicações de fertilizantes na cultura do arroz, particularmente em vários países da Ásia. Na cultura do arroz, seja numa prescrição da quantidade de fertilizante nitrogenado (geralmente 25 a 30 kg de N/ha) é aplicado se a cor das folhas do arroz está abaixo do valor crítico da tabela de cores de folhas (TCF), ou essa tabela (TCF) é usada nos estágios críticos do crescimento para decidir se a dose padrão recomendada de N precisa ser ajustada para mais ou para menos de acordo com a cor da folha (Sing, 2014).

No Sul da Ásia, os agricultores têm recebido a recomendação de usar essas tabelas de cores (TCF) para orientar as aplicações de

fertilizantes na cultura do trigo com base na intensidade da cor verde no estágio de perfilhamento máximo, quando teores adequados de N foram aplicados no plantio e no estágio de iniciação da formação do sistema radicular da cultura. Na cultura do milho, essas tabelas de cores (TCF) são usadas para manejar o fertilizante nitrogenado começando no estágio de folha seis (V6) até o estágio RI pela aplicação da dose de N prescrita se a cor da folha estiver menos verde do que o limite da sombra (TCF) (Singh, 2014).

Sistemas de sensores

Manejo do nutriente por local específico (MNLE) é em realidade, uma estratégia de sistema de manejo, envolvendo decisões dos agricultores e de todos os seus fornecedores de insumos e seus consultores, cada um contribuindo com sua experiência e treinamento para o processo. Extensionistas e consultores dos agricultores necessitam de “ferramentas” de uso fácil para proceder a uma identificação rápida das melhores práticas de manejo para condições específicas de crescimento de arroz, por exemplo. Softwares que dão suporte às decisões, sistemas de sensores e tabelas de cores, estão entre as ferramentas que agora ajudam os agricultores a procurar e determinar as melhores práticas de manejo, tomando por base o MNLE.

Novas tecnologias estão tornando vários tipos de sensores disponíveis para determinar o “status” de alguns nutrientes. Esses podem ser sensores manuais, monitores do exsudato de campo, ou máquinas montadas com sensores de dossel. Alguns trabalhos experimentais com imagens de sensoriamento remoto, usando escâneres montados em aeronaves ou satélites têm sido produzidos, e mais recentemente sensores montados em equipamentos de controle remoto (aviões em miniatura ou helicópteros) têm sido usados para sensoriamento à campo do estado nutricional das plantas. Todas essas ferramentas dependem de uma boa assinatura do espectro de resposta de alguns nutrientes de plantas e um bom conjunto de dados de calibração para uso na interpretação das imagens.

Para avaliar com precisão a cor das folhas, novas tecnologias de sensores têm sido produzidas na forma de medidor de clorofila (SPAD). Este medidor de clorofila tem sido usado desde os anos 1990

por pesquisadores e consultores para estimar o estado nutricional da planta em relação a N (Figura 26). Esse equipamento mede instantaneamente o teor de clorofila ou a intensidade de verde das plantas para reduzir o risco de deficiência limitando a produtividade ou custos decorrentes de uma adubação em excesso. O SPAD quantifica mudanças sutis ou tendências quanto à saúde das plantas muito antes de ser visível ao olho humano. Avaliações não invasivas e não destrutivas são feitas nas plantas verdes, pela simples colocação do medidor sobre o tecido da folha, e recebendo a leitura do teor de clorofila indexado em menos de 2 segundos. O SPAD é usado para acessar as necessidades de N pela comparação de leituras com o SPAD no campo com orientações elaboradas por universidades ou por faixas adequadamente adubadas no campo. Referências têm mostrado uma forte correlação em medidas obtidas com o SPAD e teor de N nas folhas.



Figura 26. O medidor de clorofila SPAD é uma “ferramenta” para estimar a intensidade de verde nas folhas, como um indicador do conteúdo relativo de N (Tecnologias Spectrum).

O medidor SPAD pode fornecer uma indicação do estado nutricional de N das plantas e então ser usado para manejar adubação nitrogenada em arroz, trigo e milho em linha com o já explicado no caso das tabelas de cores para N. Entretanto, diferentemente das tabelas de cores, o medidor SPAD pode orientar aplicações de fertilizantes nitrogenados para as culturas quando o índice de suficiência (definido como o valor do SPAD da parcela em questão dividido por aquele de uma parcela ou faixa de referência bem adubada) vai a menos de 0,90 em arroz ou 0,95 no milho.

Esta estratégia tem a vantagem de que o valor crítico de SPAD não precisa ser obtido para diferentes cultivares, climas e regiões.

Outros equipamentos eletrônicos têm se tornado importantes como guia para o manejo do N incluindo os sensores GreenSeeker (Figura 27), o CropCircle e o RapidScan CS-45. Comumente usado como uma unidade manual simples, ou montado em uma barra de trabalho com uma série de sensores multilíneares, esses equipamentos emitem feixes luminosos de comprimento de onda padrão e medem a luz refletida, vindo de volta para a unidade, a partir das folhas. Recentemente, versões menores e operadas manualmente, destes equipamentos, têm se tornado disponíveis.

O sensor GreenSeeker, emite luz em dois comprimentos de onda, e então mede a refletância do dossel da cultura, e computa os valores do IVDN (Índice de Vegetação Diferencial Normalizado) que relaciona a quantidade de material vegetal no campo de visão com o seu vigor geral. O valor do IVDN é então comparado com uma série de dados de calibração, tais como tabelas de cores comparativas para doses de N, para fornecer uma indicação relativa da condição da planta que pode ser usada para prever resposta ao fertilizante nitrogenado adicional. O GreenSeeker pode ser usado como um padrão, somente, como um sistema de operação manual para áreas pequenas ou monitoramento da cultura, ou como um banco de sensores múltiplos que pode ser montado em um trator ou sistema de aspersão e utilizado para execução de mapeamentos ou aplicações a tempo real de taxas variáveis de aplicação de fertilizantes.

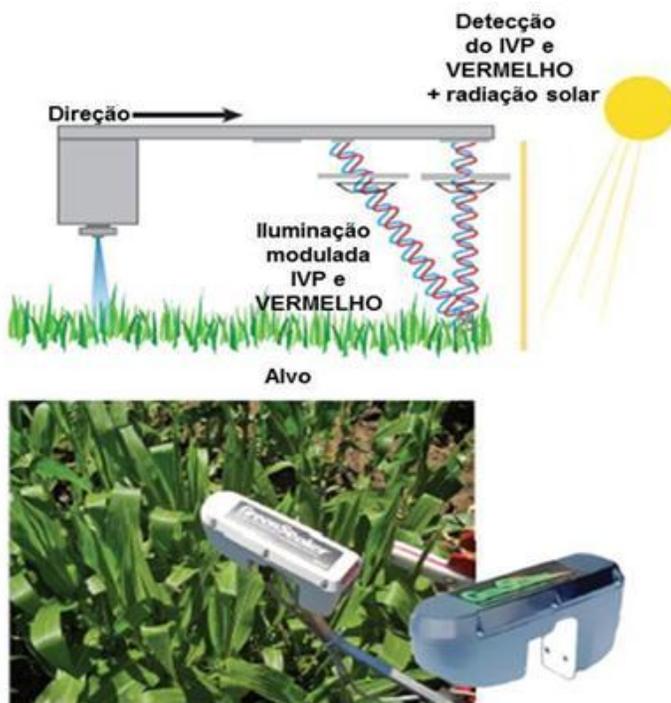


Figura 27. Foto do sistema em uso no campo. Diagrama de operação do sistema de sensor GreenSeeker (em cima).

Pela calibração com referências de cores padrões e parcelas de referência “sem limitação” de N, pode-se fazer uma estimativa do estado nutricional na planta quanto ao N e usar isso para prever uma resposta potencial ao fertilizante nitrogenado aplicado. Isto se constitui em uma variação do conceito de tabela das cores de folhas (TCF) mas com a inclusão das medidas dos dados potencialmente georreferenciados, armazenamento eletrônico da informação, e transmissão sem fio dos resultados via rede de telefone celular. À medida que as redes de telefonia celular se espalham pelas áreas rurais do mundo, equipamentos como esse podem ser usados potencialmente para melhorar o manejo do N em qualquer lugar onde as culturas desenvolvam.

A tecnologia mais barata para ajudar no manejo do N, tem por base, imagens das folhas coletadas com uma câmara de smartphone

(Android ou Apple) e um padrão de referência (Figura 28) para escanear plantas no campo e acessar seu estado nutricional quanto ao N. O aplicativo FieldScoutGreenIndex no smartphone interpreta a intensidade de verde na folha, que pode ser usado com dados de calibração para estimar o estado de N da planta. Recomendações para o uso de doses adicionais de fertilizantes nitrogenados, que podem ser benéficas, podem ser obtidas desses resultados.

Com o sistema GreenIndex, uma folha é colocada sobre o padrão de referência, e fotografada com o smartphone. Uma área da foto da folha é selecionada para comparar com as cores de referência. As imagens são, então, processadas por um aplicativo de software, e os resultados são apresentados com base em algoritmos de recomendação armazenados no aplicativo do smartphone. Isto é um procedimento rápido e simples. Calibrações e recomendações podem ser desenvolvidas para diferentes culturas e dados de recomendação.



Figura 28. FieldScoutGreenIndex + Nitrogen App and Board (Tecnologias Spectrum).

Sensoriamento remoto

Além dos sensores de campo para monitorar as culturas, também existem sistemas de sensoriamento remoto que usam aeroplanos,

satélites, e várias espécies de drones para monitorar as condições das culturas. Mostrado na Figura 29, imagens aéreas têm sido usadas para acessar a variabilidade no estado nutricional de N em áreas do Cinturão do Milho nos EUA. Fotografias aéreas coloridas ou em infravermelho são utilizadas para fotografar campos no estágio crítico de deficiência de N. As fotos são, então, analisadas para determinar que áreas parecem estar com deficiência de N. As fotos georreferenciadas juntamente com mapas de solos, de produtividade e outras informações podem ser analisadas com ferramentas SIG para determinar possíveis pontos para monitoramento adicional, amostragem ou para aplicação de N.

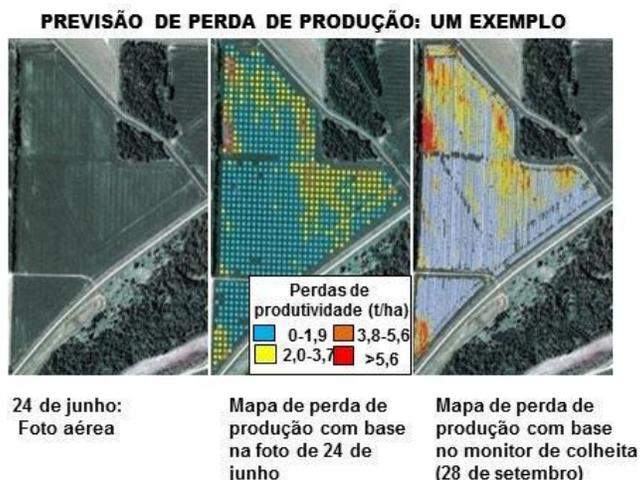


Figura 29. Imagem processada tomando por base fotografia aérea comparada com mapa de produtividade obtida com monitor de colheita, mostrando áreas com deficiência de N identificadas por fotografia aérea no início do ciclo que, acuradamente, predizia perdas do fertilizante nitrogenado. Uma relação quantitativa entre a intensidade do verde e a perda de produtividade é usada para converter a fotografia aérea em mapa de perda de produtividade mostrado na foto do meio. Esta informação sobre perda de produtividade poderia ser usada para acessar o impacto econômico da deficiência de N, e dar na produtividade (Imagens fornecidas por Peter Scharf, Universidade de Missouri).

Estresse de nitrogênio aparece em fotografias aéreas como alta refletância nos comprimentos de onda verde e vermelho (e às vezes azul). Chuva excessiva pode causar perdas de fertilizantes e N do solo, resultando em deficiência de N. A Figura 29 mostra numa fotografia do milho no estágio vegetativo avançado, que chuva excessiva causou deficiência de N nas partes mais encharcadas do campo, o que é visível nas áreas de cores mais claras. A largura das faixas estreitas visíveis nas fotos corresponde à largura do aplicador de amônia anidra usado nesta área, confirmando que áreas de cores claras são devidas à deficiência de N, sugerindo problemas com distribuição não uniforme de fertilizante nitrogenado. Uma relação quantitativa entre a intensidade do verde e a perda de produtividade é usada para converter a fotografia aérea em mapa de perda de produtividade mostrado na foto do meio. Esta informação sobre perda de produtividade poderia ser usada para acessar o impacto econômico da deficiência de N, e dar suporte à decisão de aplicar ou não adicional fertilizante com N. A figura à direita mostra a perda de produtividade (em relação à produtividade das áreas mais escuras na fotografia aérea), estimativa obtida dos dados de monitoramento da produtividade. O nível de concordância entre o mapa de perda de produtividade prevista e observada sugere que o sensoriamento remoto de estresse de N pode fornecer uma base adequada para a tomada de decisão sobre aplicações de “salvação” com fertilizantes nitrogenados. Pontos faltantes no mapa de predição de produtividade, são devidos por baixa certeza da cobertura do dossel baseada em propriedades espectrais.

Sistemas com base em satélites

Sistemas de sensoriamento remoto, com base em satélites, têm sido estudados desde os anos 1970, como um instrumento potencial para auxiliar no manejo das culturas. Esses sistemas tem a vantagem de serem capazes de cobrir rapidamente grandes áreas. Mas eles têm, também, várias desvantagens que impediram de serem mais amplamente utilizados. O programa de “revisita” para qualquer ponto da Terra foi muito longo, especialmente quando coberturas por nuvens, impedem a tomada de imagens em muitos casos. Tempo de retomada entre coleção de imagens e disponibilidade dos dados processados eram muito longos para serem usados em tomada de

decisão de curto prazo. O processo como um todo era muito caro, em comparação com os potenciais benefícios dos dados para decisões de manejo. Melhorias contínuas na tecnologia de produção de imagens de satélites e um aumento no número, padrão espectral, e resolução dos satélites disponíveis, renovaram o interesse em como o sensoriamento remoto com base em satélites, pode ser usado como um instrumento de diagnóstico e manejo. Várias companhias estão explorando e desenvolvendo o potencial comercial de tais sistemas. Satélites tem a vantagem de serem capazes de cobrir grandes áreas muito rapidamente, e as imagens podem ser analisadas para a escolha de assinaturas espectrais específicas, as quais, por sua vez podem ser correlacionadas com observações locais verdadeiras de identificação das culturas, área de terra mostrando a assinatura específica, e observações de campo para ligar com essa informação.

Sensoriamento e outros instrumentos de comunicação estão abrindo novas possibilidades para monitoramento em tempo real e interpretação do estado nutricional das plantas. Algumas dessas tecnologias estão limitadas para grandes áreas e sistemas de produção intensivos. Mas uma quantidade crescente de tecnologias é aplicável às pequenas propriedades e sistemas agrícolas de baixa rentabilidade, fornecendo “ferramentas” modernas que podem beneficiar todos os agricultores no mundo.

Mapeamento da condutividade elétrica (CE) no campo

Uma das considerações importantes no desenvolvimento de um plano de manejo de nutrientes para uma área é compreender a variabilidade do solo no campo. Análise de solos juntamente com levantamentos de solo e mapas topográficos são instrumentos importantes para ajudar na definição da variabilidade. Determinação da variabilidade em áreas agrícolas pode ser feita através de medidas da condutividade elétrica (CE) (Figura 30) em diferentes profundidades do solo, que são afetadas pela variação de várias propriedades do solo de importância para o manejo de nutrientes. Mapeamento da CE do solo requer um veículo de campo que é equipado com ambos: um receptor de GPS e um equipamento para medir a CE. Idealmente, o veículo deve ser

equipado com um receptor de GPS que pode ser corrigido diferencialmente. O veículo segue no campo em uma série de passadas próximas, coletando informações de ambos os equipamentos. É recomendável ajustar o receptor de GPS para coletar dados a intervalos de um segundo. Medidas de CE fornecem muito mais detalhes da variabilidade do que a maioria dos outros equipamentos existentes. Tipicamente, leituras de CE são feitas em cerca de 125 pontos de dados por hectare. Isto resulta em uma série de dados muito mais densos do que seria possível com o sistema de amostragem de solos em malha regular (usualmente uma amostra por hectare), produzindo um tipo de mapa de solos com muito mais resolução do que é possível com um mapa típico de análise de solos para nutrientes. Mapeamento nesta densidade irá identificar inclusões de solos que tem 0,1 hectares ou maior tamanho.

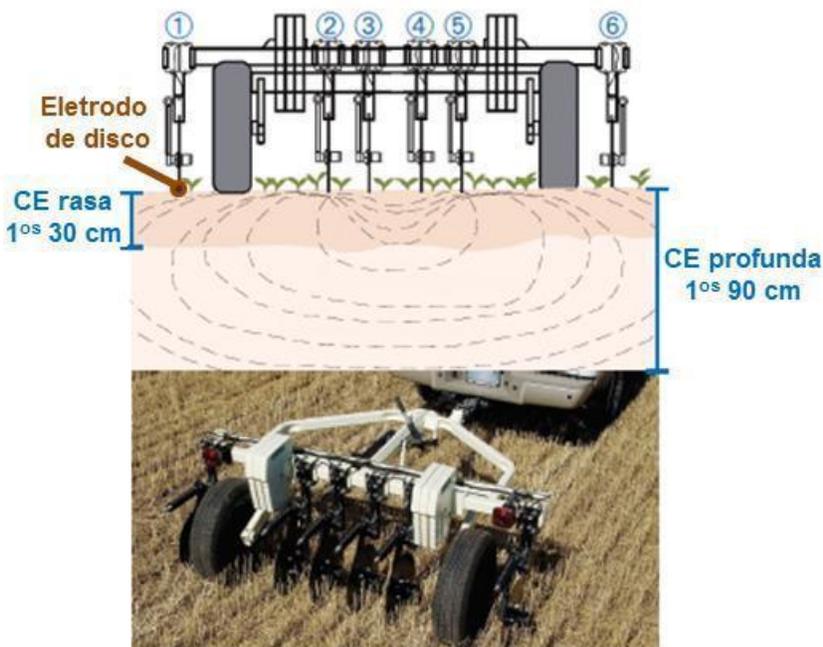


Figura 30. Equipamento de amostragem para determinação de condutividade elétrica em amostras de solo (Tecnologia Veris).

Interpretando mapas de condutividade elétrica (CE) do solo

A condutividade elétrica (CE) não tem efeito direto no crescimento das culturas e na produtividade. A utilidade dos mapas de CE vem das relações que frequentemente existem entre a CE e uma variedade de outras propriedades do solo que, por sua vez, são altamente relacionadas com a produtividade das culturas. Isto inclui propriedades tais como, capacidade de retenção de água, profundidade do solo superficial, capacidade de troca de cátions (CTC), drenagem do solo, percentagem de matéria orgânica, níveis dos nutrientes no solo, salinidade e características do subsolo. Com adequada checagem de campo ou calibração, a CE do solo pode ser usada como uma maneira substituta para medir propriedades do solo que afetam a produtividade das culturas. Em geral, a correlação entre CE do solo e produtividade será maior quando as produtividades são influenciadas pela capacidade de armazenamento de água disponível do solo. Os padrões de CE do solo dentro de uma área não tendem a mudar significativamente como tempo. Geralmente, uma vez que o mapa de CE tenha sido concluído, ele irá permanecer relativamente acurado a não ser que ocorram significantes movimentos de solo tais como em nivelamentos da terra, construção de terraços, ou outro tipo de ocorrência natural. Variações sazonais nos valores da CE podem ocorrer devido ao fenômeno de mudanças de temperatura, teor de água no solo, ou movimento vertical de sais no perfil do solo. A maior parte dessas mudanças é temporária, entretanto, mudanças de longo prazo nos valores da CE podem ocorrer se sais são adicionados ao perfil via água de irrigação ou qualquer aumento no tamanho de área de descarga de materiais salinos. Existem várias maneiras para visualizar dados atuais de CE no solo em forma de mapas. Uma maneira conveniente é dividir ou classificar os dados em cinco amplitudes de valores que contêm cerca do mesmo número de pontos em cada amplitude (contagem igual). Isso irá, efetivamente, separar solos quanto a propriedades como textura, matéria orgânica ou drenagem.

A maneira mais simples para interpretar mapas de CE é comparar visualmente com mapas de produtividade ou de levantamento de solo da mesma área, como ilustrado na Figura 31.

Valores médios de CE de células em malha regular podem ser comparados com valores de produtividade das células correspondentes usando regressão linear ou outra técnica estatística. Métodos estatísticos como estes podem ajudar a determinar o nível de correlação entre valores de CE e outros parâmetros tais como, produtividade ou uma propriedade do solo. Os resultados da CE

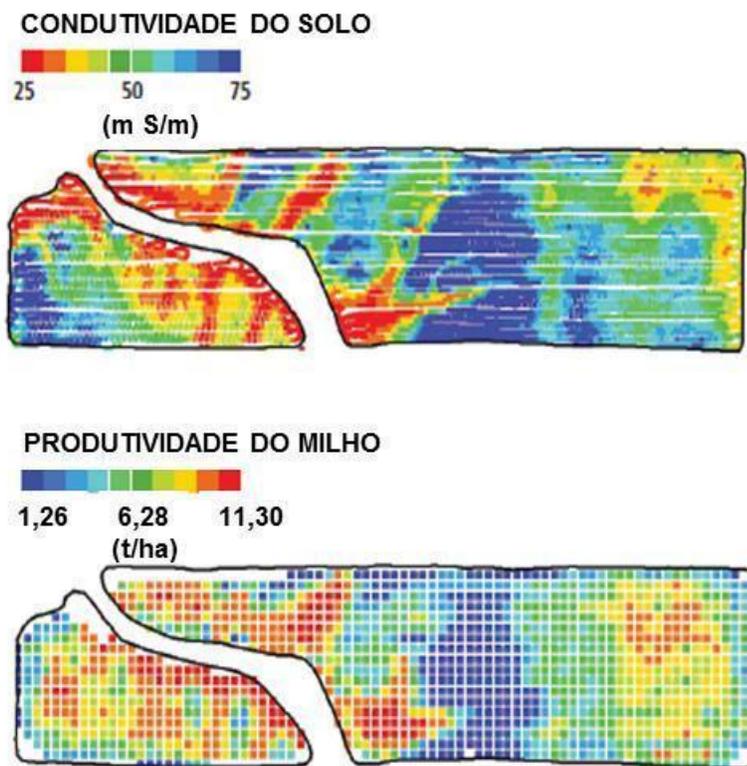


Figura 31. Comparação de um mapa de condutividade elétrica do solo e um mapa de produtividade do milho, mostrando que a variabilidade da CE é uma boa previsão da variabilidade de produtividade (Newell Kitchen, USDA ARS, Universidade de Missouri).

podem também ser correlacionados com outras propriedades quantitativas locais que tenham sido medidas e mapeadas usando um sistema de malha regular semelhante quanto ao tamanho. Essas propriedades locais incluem elevação, população de plantas, curvatura

da superfície, ou imagens de sensoriamento remoto de solos e dossel das plantas. Uma observação de cuidado: Comparando duas camadas de dados espaciais que foram medidas com resoluções muito diferentes entre si, pode levar às correlações erradas.

Influência da microbiologia do solo no manejo dos nutrientes de plantas

O sistema solo-planta é muito dinâmico. Além dos aspectos químicos, existe um complexo sistema biológico associado com nutrientes, que é normalmente deixado de lado na maioria dos planejamentos de manejo de nutrientes. A figura 32 ilustra o complexo sistema biológico associado com a nutrição de plantas. As interações das raízes das plantas, partículas minerais e orgânicas, e os vários tipos de microrganismos (bactérias, fungos, protozoários, etc.) tem um papel na determinação da disponibilidade de nutrientes do solo para a planta. A relação simbiótica de espécies de rizóbios com plantas leguminosas é o sistema mais comum planta/micróbio que afeta o manejo de N, porque o N atmosférico é convertido em N disponível para as plantas.

Mas o sistema total solo-planta-micróbio é muito mais complexo. Muitos aspectos ainda não foram totalmente estudados. Isto é pelo menos parcialmente, devido à falta de um sistema de significância econômica para dar suporte às pesquisas, reprodução ou produção em massa e “marketing” de quaisquer produtos associados com micróbios.

À medida que o ajuste fino do sistema dinâmico de nutrição solo-planta continua, mais benefícios econômicos de algumas interações microbianas podem ser identificados, e o potencial para manejar algumas dessas interações podem ser desenvolvidos. Isto poderia abrir novos aspectos da nutrição de plantas nos próximos anos. Algumas dessas áreas a serem exploradas em detalhes incluem:

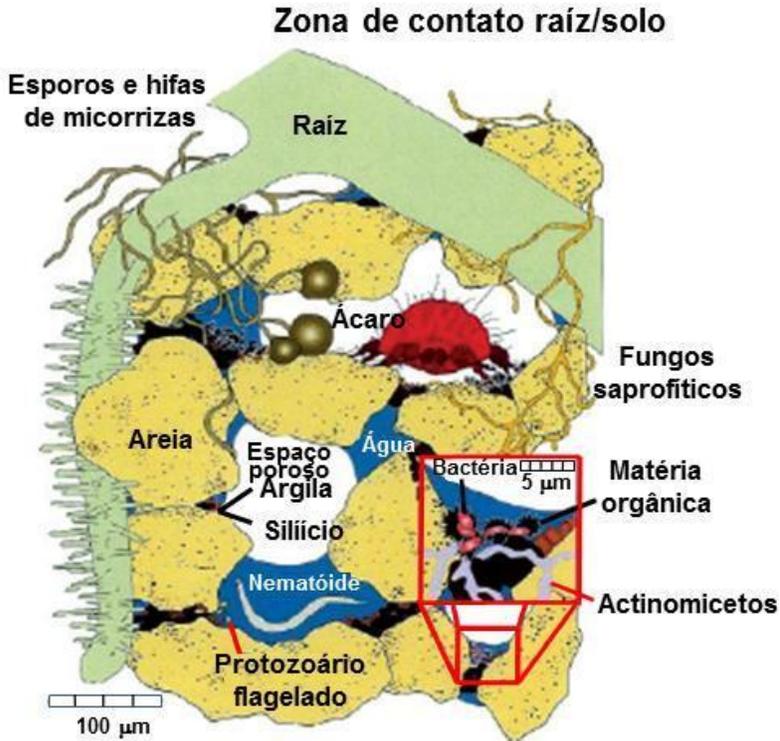


Figura 32. Vida microbiana na zona de contato raiz/solo. (Principles and Applications of Soil Microbiology (2ª Edição) Prentice Hall, 2004).

- Como a presença e a quantidade de resíduos de culturas, fora da estação de crescimento afetam as espécies e as populações de micróbios?
- Como a presença e tipos de plantas de cobertura afetam as espécies de micróbios e suas populações durante a estação de pouso?
- Quais nutrientes são afetados pela atividade microbiana e como?
- Como a aplicação de fertilizantes e a época influenciam as espécies microbianas e suas populações?

Discussão detalhada do papel da microbiologia do solo no manejo de nutrientes está fora do escopo dessa publicação, mas sua importância para os trabalhos de pesquisa futuros e aplicações nos sistemas de

manejo precisam se enfatizados. A microbiologia do solo, sem dúvida, tem a chave para abrir algumas das importantes novas oportunidades para melhorar a eficiência do manejo de nutrientes e a produção das culturas.

Manejo integrado de nutrientes de plantas (MINP)

O uso de adubos orgânicos como fonte de nutrientes iniciou-se no começo do estabelecimento da agricultura, mas após a introdução generalizada dos fertilizantes minerais, os adubos orgânicos passaram a ser considerados como fontes secundárias de nutrientes. Entretanto, com o aumento da preocupação com a saúde do solo e com a sustentabilidade na agricultura, os esterco e diversos outros materiais orgânicos, vem têm ganhando importância como integrantes das estratégias de manejo integrado de nutrientes de plantas (MINP). O conceito básico do MINP é a manutenção ou possível aumento da fertilidade e saúde do solo para produtividade sustentável das culturas, no longo prazo, e usar nutrientes dos fertilizantes como um suplemento para os nutrientes fornecidos pelas diferentes fontes disponíveis de matéria orgânica na fazenda para atender a exigência de nutrientes das culturas, com a finalidade de atingir uma meta de produtividade.

Como Alley e Vanlauwe descreveram em detalhes em *“The Role of Fertilizers in Integrated Plant Nutrient Management”*, o MINP se concentra na estratégia holística para otimizar o suprimento de nutrientes. Isso inclui as seguintes considerações:

- Acessar suprimentos residuais de nutrientes no solo, assim como acidez e salinidade;
- Determinar a produtividade potencial do solo para várias culturas através da avaliação de propriedades físicas do solo, com atenção específica para capacidade de armazenamento de água e profundidade das raízes;
- Calcular a necessidade de nutrientes para a cultura por local específico e meta de produtividade;

- Quantificar o valor nutricional dos recursos da fazenda tais como esterco e resíduos das culturas;
- Calcular as necessidades de suplemento de nutrientes (total dos nutrientes necessários menos àqueles nutrientes já disponíveis na fazenda) que devem ser fornecidos com fontes de nutrientes de fora da propriedade;
- Desenvolver um programa que permita otimizar a utilização dos nutrientes pela seleção de fontes apropriadas de nutrientes, época de aplicação e localização.

O objetivo geral do MINP é de adequadamente nutrir a planta de modo tão eficiente quanto possível, enquanto minimiza impactos potencialmente adversos ao meio ambiente. A tendência global é encontrar um equilíbrio das fontes de nutrientes que tire vantagens da reciclagem dos nutrientes dos esterco e resíduos das culturas, suplementando-os com os fertilizantes comerciais. Se isso requer processamento e transporte de fontes orgânicas, estes custos devem ser considerados. Mas é também importante considerar os custos e as consequências ambientais de não se encontrar uma maneira para utilizar os materiais orgânicos. Reciclagem de fontes disponíveis de nutrientes orgânicos deve ser incluída no planejamento nutricional onde isto for prático.

MINP é parte de um conceito mais amplo do Manejo Integrado da Fertilidade do Solo (MIFS). Implementação total do MIFS inclui atenção adequada não apenas das fontes de nutrientes, mas também de outros fatores tais como, o controle de plantas daninhas e insetos, seleção de variedades adequadas, adaptação para as condições locais e eventos sazonais de clima. Os recursos disponíveis para o agricultor, políticas governamentais, e condições de mercado são também parte do processo de decisão na implementação total do MIFS. A meta do MIFS é maximizar as interações que resultam da combinação potente dos fertilizantes, insumos orgânicos, germoplasma melhorado, e conhecimento do agricultor. O produto final é melhoria na produtividade, aumento da qualidade do solo, e um sistema mais sustentável através de investimentos mais sensatos na propriedade e práticas de campo com uma conseqüente redução de impacto ao meio ambiente decorrente do uso dos insumos.

Desde o início do século 21, o conceito do MIFS tem usado fertilizantes como o principal ponto de entrada para o manejo de nutrientes, mas tem integrado, também, o uso de fontes orgânicas disponíveis. Isto tem levado a melhorias na eficiência agrônômica no uso de nutrientes e produtividade de todos os tipos de solos. Os princípios do MINP e do MIFS são holísticos e procuram otimizar o suprimento de nutrientes de plantas com o objetivo geral de nutrir adequadamente a cultura de modo tão eficiente quanto possível, aumentar e manter a saúde da base do solo, e, ao mesmo tempo, minimizar potenciais impactos adversos ao meio ambiente.

Implementação com sucesso do MINP requer um esforço conjunto de todas as partes interessadas:

- *Políticos* são necessários para fornecer financiamentos para atividades de extensão e pesquisa e dar suporte a treinamento, pesquisa, manejo dos dados e atividades de consultoria.
- *Instituições de pesquisa* fornecem a ciência local para adaptar práticas, desenvolver instrumentos para implementar e monitorar os resultados, analisar e interpretar os dados coletados e fornecer programas educacionais para melhorar os processos de decisão.
- *Extensionistas e vendedores* do agronegócio são a linha de frente de contato com os agricultores e ajudam a fornecer orientações e responder questões sobre adaptação de tecnologia e práticas para as condições e culturas locais.
- *Fabricantes de fertilizantes* tem um papel importante no suprimento de produtos adequados para cada área em quantidades suficientes e no momento necessário.
- *Agricultores* podem ser os membros mais importantes do time. Eles tomam as decisões finais e dão os últimos passos para implementar o MINP, acessar os resultados finais e ter as recompensas da implementação, com sucesso, de um MINP.

Gestão 4C's para manejo de fertilizantes

Existem quatro objetivos de manejo associados com qualquer operação em nível de operação de propriedade rural, incluindo o manejo de fertilizantes. Esses são produtividade, lucratividade,

sustentabilidade do sistema de produção e um meio ambiente favorável em termos biofísicos e sociais. Melhores práticas de manejo com fertilizantes dão suporte à realização destes objetivos em termos de saúde das culturas e do meio ambiente. Uma série de princípios científicos guiando o desenvolvimento e implementação das melhores práticas de manejo de fertilizantes (MPMF) evoluíram de uma longa história de pesquisa agrônômica e de fertilidade do solo. Quando visto como parte de uma estrutura global, o conjunto mais apropriado das MPMF somente pode ser identificado, a nível local, onde se conhece o contexto completo de cada prática.

Através da cooperação de esforços International Plant Nutrition Institute (IPNI), o Fertilizer Institute (TFI), Fertilizer Canada, e a International Fertilizer Industry Association (IFA), juntamente com os membros de outras organizações, foi desenvolvido uma Estrutura Global de Manejo de Fertilizantes que está sendo adotada como um guia de gestão de nutrientes. Embora esse sistema não tenha ainda sido adotado em todas as partes do mundo, ele fornece um bom resumo das interações envolvendo aspectos científicos, econômicos e sociais do manejo de nutrientes. Descrito como “*Gestão de Nutrientes 4C*” (Tabela 4), ele fornece uma estrutura para se atingir metas de aumentos de produção do sistema de cultivo, aumentos na lucratividade do agricultor, melhoria à proteção ambiental, e aumentos na sustentabilidade. Ele é apresentado aqui para fornecer uma perspectiva completa de ciclo de vida do manejo dos nutrientes, incluindo fatores econômicos, as consequências ambientais das práticas de manejo de nutrientes, e, considerando, também, as implicações sociais das diferentes práticas.

Esse sistema é frequentemente ilustrado como na Figura 33, mostrando a importância de se considerar preocupações ambientais, econômicas e sociais no desenvolvimento de um programa completo de manejo de nutrientes.

A Gestão de Nutrientes 4C requer a implementação de MPMF que otimize a eficiência do uso dos fertilizantes. A meta do MPMF é ajustar o suprimento de nutrientes com os requerimentos da cultura e minimizar as perdas de nutrientes dos campos de cultivo. Seleções das MPMF variam de acordo com o local, e aquelas escolhidas para uma

Tabela 4. Componentes do Sistema de Gestão de Nutrientes 4C

Componente	Meta
Fonte Certa	Fornecer formas disponíveis para as plantas, e um suprimento balanceado de todos os nutrientes essenciais. Tirar vantagens das várias formulações de fertilizantes que oferecem eficiência aumentada e reduzem as consequências ambientais.
Dose certa	Assegurar um suprimento em quantidade adequada de todos os nutrientes essenciais para atender a demanda das plantas
Época certa	Manejar a aplicação de nutrientes para adequar as interações da absorção pelas culturas, suprimento pelo solo, riscos ambientais e logística de operações no campo.
Local certo	Considerar a dinâmica das raízes e o movimento de nutrientes, e manejar a variabilidade espacial dentro da área de plantio para atender as necessidades das culturas específicas para o local e minimizar potencial perdas de nutrientes desta área.

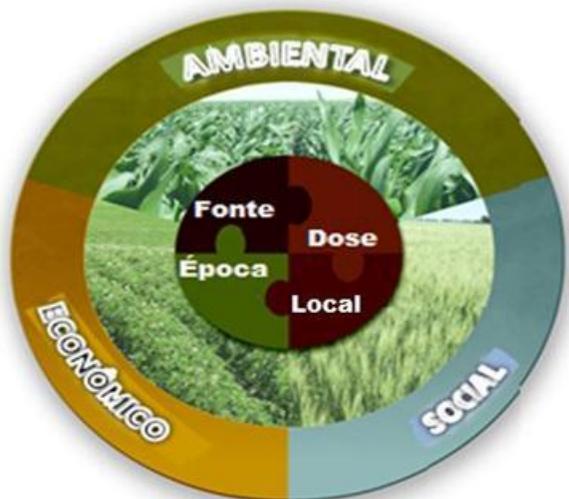


Figura 33. Estrutura Global para Gestão de Nutrientes 4C. O conceito é centralizado nos 4Cs interligados, que são determinados por metas econômicas, sociais e ambientais relacionadas ao manejo dos nutrientes (IPNI, 2012).

propriedade em particular são dependentes do solo local e das condições climáticas, das condições de manejo das culturas e outros fatores locais específicos. Para cada um dos componentes 4C, uma série de indicadores relacionados às metas econômicas, ambientais e sociais tem sido identificados para servirem de medidas da performance. Esses são representados ao redor da Estrutura Global ilustrada na Figura 34.

A Estrutura Global para o Manejo de Nutrientes 4C fornece um plano de gestão de nutrientes para implementação das melhores práticas de manejo. Esta estrutura se relaciona para as práticas individuais e suas



Figura 34. Indicadores de performance refletem os aspectos sociais, econômicos e ambientais da sistema planta-solo-clima. Suas seleções e prioridades dependem dos valores do tomador de decisão (IPNI, 2012).

interações para o manejo dos nutrientes no sistema produtivo das culturas. As MPMF selecionadas são mais eficientes quando aplicadas com outras práticas agronômicas e de conservação, como parte de um sistema completo de manejo das culturas. Aplicações de nutrientes mal manejadas podem diminuir a lucratividade e aumentar as perdas de nutrientes, potencialmente degradando a água e o ar. Em função de múltiplos fatores de interações, é essencial que o sistema por inteiro seja considerado quando os ajustamentos de manejo são feitos.

Medidas de performance e indicadores irão, frequentemente, incluir produtividade das culturas e informações suficientes para se calcular os retornos econômicos. Além disso, eles terão que refletir performances ambientais e sociais. As escolhas podem variar dependendo das prioridades do tomador de decisão, mas irão, frequentemente, incluir balanços de nutrientes ou eficiência de uso dos nutrientes.

Em seguida são apresentados alguns exemplos das MPMF's 4C para o manejo de nutrientes com a finalidade de ilustrar como adequar o sistema de produção de forma integrada. .

Fonte certa

A fonte certa para o sistema de manejo para um nutriente deve proporcionar um suprimento balanceado de todos os nutrientes essenciais em formas disponíveis para as plantas. A fonte certa deve também considerar quaisquer interações de nutrientes ou aspectos de compatibilidade, sensibilidade potencial das culturas em relação à fonte, e quaisquer elementos não nutrientes incluídos com a fonte do material. A fonte certa pode variar com a cultura, propriedades do solo no campo, e opções em relação ao método de aplicação. As fontes de nutrientes foram descritas anteriormente. Além disso, vários aditivos e tratamentos para os nutrientes são disponíveis para provocar modificações na disponibilidade dos nutrientes. Isso inclui produtos de várias espécies que diminuem as conversões químicas, materiais fertilizantes encapsulados em algum tipo de revestimento protetor (Figura 35), ou que, de outra forma, modifica a taxa ou liberação de nutrientes do material fertilizante.

Várias opções diferentes são disponíveis para reduzir ou controlar a liberação dos materiais fertilizantes. Por exemplo, o grânulo de uréia na Figura 35 está revestido com enxofre, e circundado por um polímero selante. Esse revestimento permite que a água entre lentamente no grânulo e dissolva a uréia. Em seguida a uréia movimenta-se lentamente através do revestimento para a solução do solo onde ela se torna disponível para as raízes das plantas. A natureza e espessura do revestimento podem ser ajustadas para regular a taxa de liberação dos nutrientes como desejado. Embora esta formulação aumente o preço do fertilizante, ela também aumenta significativamente a habilidade do agricultor para manejar o tempo e a taxa de liberação do nutriente, para um melhor manejo da disponibilidade de nutrientes para a cultura e também para controlar perdas para o meio ambiente.

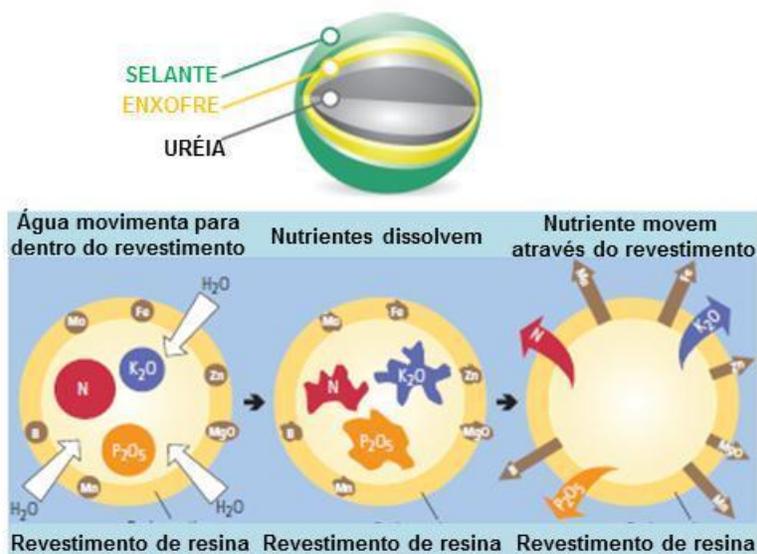


Figura 35. Exemplo de um tipo de grânulo de fertilizante de liberação controlada e seu mecanismo de liberação do nutriente (Tecnologias Avançadas Agrium).

Um sistema de manejo de nutrientes também pode incluir o uso de fontes de nutrientes orgânicos, tais como esterco e resíduos. Esses materiais geralmente contribuem para aumentar a acidez do solo e

usualmente requerem degradação química ou biológica para promoverem a liberação dos nutrientes para uso pelas culturas.

Dose certa

A dose certa considera o poder de suprimento do solo em relação à necessidade de nutriente para a cultura. Análise de solos e análise de plantas são importantes ferramentas para ajudar em tais decisões. Compreender as necessidades de nutrientes para a cultura é o primeiro passo para conhecer a dose certa. As plantas requerem doses diferentes de diferentes nutrientes em diferentes estágios da estação de crescimento. A dose deve ser ajustada para ajudar o balanço no suprimento de nutrientes em função da remoção pelas culturas, durante todo o ciclo, para evitar estresse de deficiência e perdas econômicas. Doses excessivas podem conduzir a ineficiência no uso do nutriente, perdas econômicas e problemas ambientais. Em alguns casos, excesso de nutrientes podem também resultar em toxidez para as culturas (Figura 36).

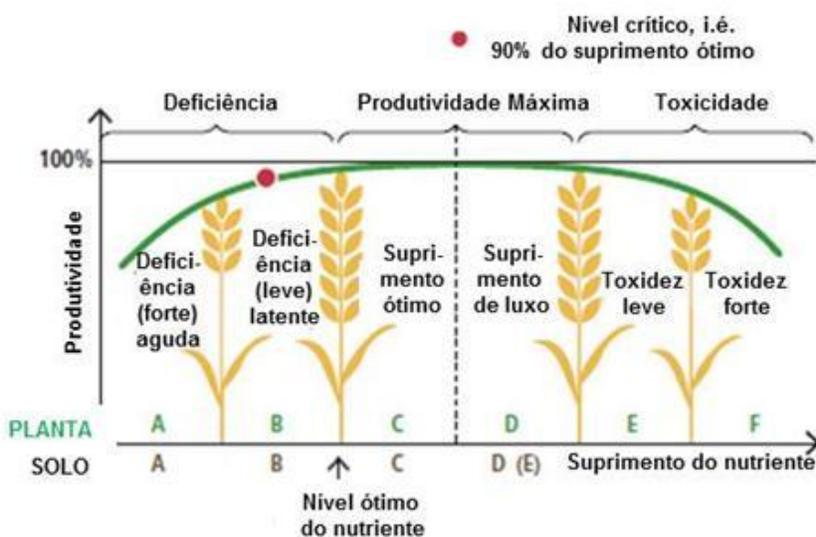


Figura 36. Efeito das doses de fertilizantes no trigo, mostrando potencial para efeitos de deficiência ou toxidez quando não se aplicam as doses corretas dos nutrientes.

A dose certa deve levar em conta todas as fontes de nutrientes, incluindo o suprimento pelo solo (análise de solos), esterco e outras fontes orgânicas, resíduos das culturas, água de irrigação, deposição atmosférica, etc. Estudos de comparação de doses são uma parte importante para se determinar a dose certa. Estudos envolvendo doses, são melhor executados sob condições pelas quais a decisão sobre dose está sendo feita, preferentemente, ensaios nas propriedades. Com tecnologias de agricultura de precisão, tais como análise de solos referenciadas com base no SIG, a aplicação de taxas variáveis de fertilizantes e o monitoramento da colheita com monitores de produtividade, fazem com que estudos de doses nas fazendas possam ser realizados com facilidade. Com isso é possível orientar a aplicação da dose de fertilizante específica para cada local, distribuindo o fertilizante a taxas variáveis para que o sistema de manejo de nutrientes seja o mais eficiente e lucrativo!

Época certa

Exigências de nutrientes das culturas mudam durante a estação de crescimento à medida que a cultura passa dos estágios vegetativos, para os reprodutivos até a maturidade. A liberação lenta ou controlada dos nutrientes e produtos que aumentem a eficiência dos fertilizantes, tais como os aditivos, ajudam a fornecer uma série de opções de escolha para ajustar a fase da disponibilidade do nutriente para atender os requerimentos da cultura, e, assim, oferecer opções de tempo e métodos de aplicação.

Um entre vários exemplos de opções de tempo nas aplicações de fertilizantes, com base no estágio de crescimento da planta e necessidade de nutrientes, é o *parcelamento da adubação nitrogenada*. Um sistema em crescente popularidade para aplicar o N no milho nos EUA é dividir a adubação nitrogenada em 2 ou 3 diferentes aplicações, e, frequentemente usando métodos de aplicação diferentes e também diferentes fontes. Por exemplo, uma pequena quantidade de N pode ser aplicada à superfície do solo usando uma solução de UAN no outono para estimular microrganismos do solo e ajudar na decomposição dos resíduos da cultura anterior. Uma segunda aplicação em pré-plantio, de amônia anidra ou solução de UAN, em sulco, pode então fornecer a maior parte na necessidade de

N, seguindo-se aplicações suplementares em cobertura para ajuste final do programa total de N com base no monitoramento durante a estação de crescimento, ou seguindo planos pré-determinados quanto à dose total de N. Deixar algum N para uma aplicação final após a emergência, permite uma decisão mais correta do total da dose de aplicação, reduz o potencial de perda para o ambiente, e tira vantagem de tecnologias de precisão disponíveis para fazer a aplicação final. Alguns agricultores podem ainda fazer uma aplicação de cobertura final com uréia, mesmo tarde na estação, se for indicada um aplicação adicional de N.

A cultura do milho tem uma exigência muito alta de N no estágio de início de alongação dos colmos (estágio V8), como mostra a Figura 37. Após a polinização, a eficiência das raízes para absorção de N começa a declinar, de modo que é importante ter a maior parte do parte do N necessária para o desenvolvimento dos grãos é fornecida pela remobilização do N das folhas baixas e do colmo. Os agricultores e seus consultores podem se beneficiar de um conhecimento claro dos estágios de crescimento, e dos períodos de requerimento de nutrientes da cultura, quando eles fazem planos de aplicação de fertilizantes para uma utilização mais eficiente dos nutrientes. Aplicação de fertilizantes nitrogenados tão próximo quanto possível da época de absorção vai ajudar a evitar perdas para o ambiente e aumentar a eficiência de uso de N. Tamanho da cultura, logística para ter o fertilizante aplicado no momento ideal, e condições de clima geralmente forçam com que a aplicação seja feita em outros momentos menos ideais.

Local certo

Aplicar os nutrientes no lugar certo ajuda a assegurar que as raízes das plantas possam absorver o suficiente de cada nutriente em todos os momentos da estação de crescimento.

Para localização em relação à linha de plantio e crescimento das raízes das plantas, existem várias opções:

Aplicações a lanço superficialmente ou em sulco.

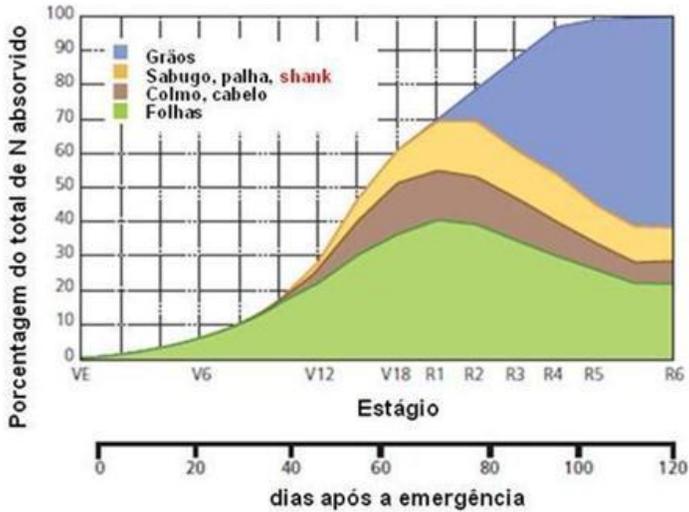


Figura 37. Absorção de nitrogênio pela cultura do milho em diferentes estágios de crescimento e região de acúmulo dentro da planta (adaptado de “Como a Planta de Milho se Desenvolve”, Publicação Especial de Extensão #48, Universidade Estadual de Iowa).

- Aplicação de fertilizante de arranque com o tradicional 5 cm ao lado e 5 cm abaixo da semente.
- Sulcos profundos (usualmente 10 a 15 cm abaixo da superfície, fornecendo uma fonte concentrada de nutrientes abaixo da zona das raízes).

Sistemas de aplicação em faixas também têm se tornado populares em algumas regiões. Uma faixa estreita do solo (cerca de 1/3 da superfície) é preparada e os nutrientes são concentrados em uma faixa abaixo da superfície, mantendo uma superfície predominantemente não arada e com resíduos para ajudar a reduzir erosão e conservar a umidade do solo.

O lugar certo também depende das características do material fertilizante sendo aplicado (Figura 38).

Amônia anidra, por exemplo deve ser injetada dentro do solo a uma profundidade suficiente para impedir a perda de gás para a atmosfera. Fertilizantes aplicados à superfície do solo estão sujeitos a perdas

potenciais por escoamento superficial. Outros materiais, tais como uréia e solução de UAN, podem ser aplicados à superfície, mas as perdas por volatilização podem ser substanciais sem chuvas suficientes dentro de poucos dias, que movimentariam o fertilizante para dentro do solo.



Figura 38. Diagrama mostrando o impacto de diferentes práticas de localização de fertilizantes no movimento dos nutrientes dentro do solo (Adaptado da IFA, 1992).

Outro aspecto em relação ao posicionamento do fertilizante é o que trata da variabilidade espacial nas necessidades de nutrientes dentro de uma gleba. Com ferramentas da agricultura de precisão, a variabilidade nas necessidades de nutrientes tendo como base as análises de solo e outros fatores potenciais em relação à produtividade, pode ser alcançada. Com aplicações de fertilizantes a taxas variáveis é possível ajustar a distribuição dos nutrientes no solo visando atender as necessidades das culturas. A localização do fertilizante afeta tanto a cultura atual como as culturas subsequentes. A Figura 39 ilustra o efeito de diferentes localizações de fertilizante com o correr do tempo.

Aplicações a lanço resultam, com o passar do tempo, em uma distribuição uniforme dos nutrientes, que gradualmente se

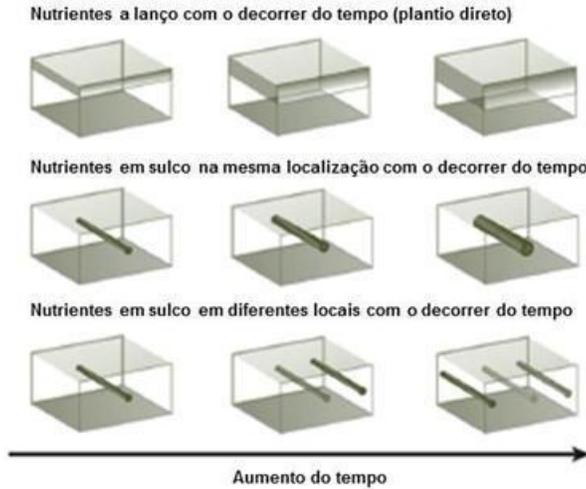


Figura 39. Volume do perfil do solo adubado com diferentes métodos de localização (IPNI, 2012).

movimentam para baixo no perfil do solo, atingindo maiores profundidades na zona das raízes. Aplicações em sulco, no mesmo local, com o passar do tempo (como em anos recentes, com a disponibilidade da tecnologia da agricultura de precisão, que permite fazer um ajuste fino da localização do nutriente em uma área) levam em conta a variabilidade específica dos níveis de nutrientes nas análises de solo, e a relação para com as raízes em crescimento com orientações precisas dos sistemas de localização. Sistemas de preparo conservacionistas do solo em faixas (Strip-till) são especialmente valiosos em conjunção com sistemas de posicionamento cinemático em tempo real (RTK) para assegurar que a aplicação em sulco seja feita em uma relação exata com a linha da semeadura, mesmo que o fertilizante tenha sido aplicado vários meses antes do plantio. Com sistemas de orientação RTK, os agricultores podem aplicar a adubação de arranque no outono, ou então plantar as sementes na primavera seguinte, com a linha de semeadura colocada com precisão na relação desejada com a faixa do fertilizante de arranque. Assim, o RTK dá uma precisão na localização do fertilizante, onde ele é necessário, assim como dá opções para época de aplicação em relação à estação de crescimento da cultura. Usando um sistema de controle de tráfego e

o guia RTK, resulta em uma faixa fixa que tende a expandir em tamanho com o tempo, mas permanece relativamente no mesmo lugar. Aplicações em faixa, sem um guia de controle, resultam em faixas múltiplas, e, com o correr do tempo se aproxima ao efeito da aplicação a lanço.

Agricultura de precisão e manejo de nutrientes por local específico

Aplicações da tecnologia da agricultura de precisão no manejo de fertilizantes

Desenvolvimento em tecnologia de computação, sistemas de informação geográfica (SIG), sistema de posicionamento global (GPS), sensores eletrônicos e controladores, e uma grande variedade de equipamentos de comunicação durante os anos 1900 e no século 21 produziram novas e excitantes tecnologias que podem ser aplicadas à agricultura. Sob o termo coletivo, a agricultura de precisão, abriu muitas novas oportunidades para melhorar o manejo das culturas e do solo em uma base específica por local.

Embora tenha sido produzida e desenvolvida para grandes propriedades rurais, e produtores de larga escala nos EUA, Oeste da Europa e América do Sul, a agricultura de precisão tem muitas implicações que se adaptam igualmente bem para as pequenas propriedades rurais. Na Ásia, por exemplo, o International Rice Research Institute (IRRI) tem promovido o manejo de nutrientes por local específico (MNLE) desde os anos 1990, com algumas das pesquisas conduzidas antes disso. Esse programa integrou pesquisas e educação, usando tecnologias simples tais como tabelas de cores de folhas, para ter certeza de que práticas e informações atingem o nível dos agricultores. As ferramentas podem ser diferentes, mas a estratégia é a mesma. Recentemente um software chamado Nutriente Especialista (NE) foi desenvolvido e introduzido em vários países da Ásia para ajudar os consultores com um método simples e rápido para usar o (MNLE). Prestar atenção nos detalhes e tomar decisões em uma área pequena é uma estratégia que qualquer agricultor pode usar, onde

os benefícios podem ser alcançados independentes do tamanho da propriedade.

MNLE se adequa em qualquer lugar no mundo, e geralmente pode ser mais fácil de ser implementado em pequenas propriedades, onde cada gleba é mais cuidadosamente monitorada e manejada. Não é limitado às grandes áreas ou grandes equipamentos. O conceito do MNLE tenta ajustar a melhores práticas de manejo a um local individual, considerando que o local tem solo e clima únicos, e uma única habilidade de manejo e experiência do agricultor. Isto é alcançado ajustando as decisões de manejo aos recursos específicos do local, utilizando a base de conhecimentos do agricultor sobre suas áreas e as necessidades de suas culturas, e qualquer informação sobre prévias respostas de manejo únicas na propriedade. A única utilização desses recursos, permite que cada agricultor os utilize para sua vantagem na otimização das produtividades e lucros decorrentes do seu sistema de produção. Um pequeno agricultor com apenas uma pequena área provavelmente não tem sistema de GPS – e provavelmente não precisa de um. Mas, mesmo assim ele ainda pode usar o MNLE. Seus conhecimentos sobre seus campos, sobre as culturas que planta, e sua experiência e dados de produções passadas, pode ser usado ajudá-lo a compilar a informação que ele pode usar para atender as necessidades das culturas e aumentar os lucros. Fazendo observações, mantendo anotações de dados, analisando os recursos (tais como características e análises de solos), e utilizando o seu melhor conhecimento de práticas na sua propriedade, tudo isto se constitui em parte do MNLE.

Construindo um manejo de nutrientes com a base de dados SIG para cada campo

Detalhes do manejo de nutrientes e manutenção de dados sobre uso de fertilizantes, produtividades das culturas, e remoção de nutrientes devem ser mantidos para cada campo em cada propriedade no mundo. A meta deve ser desenvolver uma base de dados para cada área com dados referenciados geograficamente, que podem ser usados para avaliação do balanço de nutrientes, produtividade, lucratividade e impactos ambientais. Onde a tecnologia do GPS e do SIG não for disponível, outros métodos de documentação local podem ser usados,

mas GPS/SIG são as melhores alternativas para grandes áreas de produção. O ponto importante para todos é começar a arquivar dados para documentar a produção e o uso de fertilizantes.

Análises de SIG permitem que se analisem os dados de diferentes camadas (Figura 40), anos, culturas, produtividades, características de solos, aplicações de nutrientes, problemas de pestes, etc., para cada parte de um campo. Isto permite interpretações das relações de causa/efeito entre as diversas variáveis em que os dados são disponíveis. Isto se torna uma “ferramenta” de manejo muito poderosa, que melhora a cada ano em que os novos dados são adicionados.



Figura 40. Ilustração das várias práticas componentes e tecnologias comumente associadas com sistemas específicos de agricultura de precisão. (IPNI, Reetz, Better Crops, 1994).

Para um produtor individualmente, essa base de dados é uma “ferramenta” valiosa para orientar futuras decisões de manejo. Para os consultores e os fornecedores de insumos, isto pode ser usado para sumarizar atividades locais e orientar treinamento e necessidade de suprimento dos produtos. Para as agências governamentais, isto pode ajudar a estabelecer políticas para melhorar os sistemas de produção

para a área. Em todos os casos, melhores dados, acoplados com o SIG, tem um grande potencial para guiar todos os responsáveis pelas tomadas de decisão com base em informações precisas. Diversos softwares de programas de manejo e serviços estão para os agricultores e seus consultores para serem usados para coletar, organizar e interpretar seus dados, e variam de sistemas de dados para um agricultor individualmente, para sistemas de dados, que permitem acesso de dados entre vários agricultores. Assuntos de privacidade dos dados, potencial para comercialização dos dados, ganho de valores por dividir a informação, e outros fatores precisam ser considerados na determinação de qual sistema será usado.

Documentação das necessidades, doses de aplicação e respostas em produtividade

Análise de solos, seja numa base de malha regular ou com base em zonas de manejo, é a melhor forma para determinar e documentar a variabilidade no poder de suprimento de nutrientes do solo no campo. Juntamente com a documentação da variabilidade na remoção de nutrientes pelas culturas (tais como pelo uso de monitor de produtividade), dados de análise de solos podem ser usados para estimar os nutrientes necessários dos fertilizantes e esterco, para manter e melhorar a produtividade do solo. Estes dados então guiam o desenvolvimento de mapas de aplicação de nutrientes por local específico para que se obtenha mais eficiência de uso dos nutrientes aplicados e se proteja contra aplicações em excesso que podem causar problemas ambientais e custos excessivos, assim como prevenir aplicações para menos, que podem afetar o potencial de produtividade e também conduzir a problemas ambientais.

Como o manejo de nutrientes por local específico (MNLE) se ajusta para todas as escalas de operação e todas as partes do mundo

MNLE permite aos agricultores ajustar o manejo de nutrientes para a condição específica de uma área e fornece estrutura para aplicação das melhores práticas de manejo. O total da necessidade de fertilizantes para atingir uma meta lucrativa de produtividade é determinado pelo

ganho antecipado de produtividade, pelo fertilizante aplicado, e pela expectativa de eficiência do uso de fertilizantes. O fertilizante é fornecido para suprir as necessidades das culturas, para suplementar os nutrientes. MNLE é um importante conceito de manejo de nutrientes para todas as partes do mundo.

Manejar a fonte certa, na dose certa, no tempo certo e no lugar certo pode ser melhor alcançado com as “ferramentas” adequadas. Várias tecnologias são disponíveis para ajudar os agricultores e seus consultores a tomarem decisões relativas ao manejo de nutrientes, desde a amostragem do solo, aplicação dos fertilizantes e avaliações das produtividades. Essas ferramentas aumentam a habilidade para fazer um ajuste fino nas decisões de manejo dos fertilizantes e desenvolver um plano de MNLE para cada campo. Os agricultores e os empregados da propriedade, consultores sobre manejo e práticas agrícolas, e fornecedores de insumos, todos são parte importante deste time, cada um contribuindo para o processo de tomada de decisão em diferentes formas.

Manejo correto significa manejo por local específico. Tomar decisões de manejo com informações coletadas em áreas específicas ajudam a produzir planos de manejo de nutrientes que são eficientes, econômicos, e ambientalmente adequados. O custo de decisões erradas pode ser elevado. Isso significa que o preço pago por tecnologia para fazer o ajuste fino das decisões é fácil de ser justificado. E mais, os custos dessas ferramentas têm diminuído muito, e assim, os componentes da tecnologia MNLE não requerem um alto investimento.

Utilizar a tecnologia do sistema de posicionamento global (GPS) para georreferenciar o uso de insumos e dados de produtividade é um bom primeiro passo. Em países desenvolvidos, a maioria dos vendedores de fertilizantes e de outros produtos químicos tem agora equipamentos de aplicação com GPS, e, também, as colhedoras vêm com GPS como equipamento padrão e facilmente adicionado. Sistemas de GPS semelhantes são usados em plantadoras para coletar dados de plantio georreferenciados, aplicações de fertilizantes no plantio e outros insumos. Com controladores próprios, aplicadores de insumos com taxa variável podem ser adicionados ao plano de manejo. Cada um

desses passos pode ser adicionado com o passar do tempo, aumentando o valor do investimento inicial. Sistemas de orientação de alta precisão de GPS RTK ajudam a evitar distribuição desuniforme ou sobreposições de insumos como, sementes, fertilizantes e pesticidas. Diminuição de estresse do operador e fadiga são outros benefícios adicionais.

Dados georreferenciados são essenciais

Sensores a bordo, monitores e controladores fornecem uma enorme quantidade de dados disponíveis para ajudar os agricultores e seus consultores a refinar seu sistema de manejo. Para utilizar melhor a informação coletada na propriedade, um sistema de informação geográfica (SIG) é importante. SIG é uma ferramenta poderosa para manejar e analisar grandes quantidades de tipos de dados georreferenciados, gerados pelas ferramentas e práticas modernas usadas na agricultura. Serviços de decisão e suporte para os agricultores, consultores, e fornecedores de insumos ajudam a interpretar os dados do SIG para decisões com base em melhores informações.

Dados baseados em SIG permitem que todos os membros do time de manejo tenham acesso aos detalhes para cada área, e, assim, eles podem ajudar a escolher as fontes, doses, época e lugar certos para que sejam obtidos os melhores resultados.

Sistemas abrangentes de compartilhamento de dados para o manejo adequado

Softwares e sistemas de comunicação têm continuado a melhorar. Novas bases de dados, tais como levantamentos de solos digitalizados e informações sobre o clima, são agora, disponíveis para complementar os dados obtidos nas propriedades para serem usados nas ferramentas de suporte das decisões. Mais agricultores com mais dados levam a uma “massa crítica” de clientes necessários para manter um serviço de suporte oferecido, seja através de uma operação independente ou como um suporte adicional disponibilizado pelo fornecedor de insumos. Manejo e interpretação destes dados geralmente requerem ajuda externa. Os agricultores podem ganhar

muito mais benefícios por compartilharem os dados com seus consultores parceiros. Agricultores que compartilham seus dados com outros agricultores tem uma base de informações mais ampla para tomar decisões. Cada um pode se beneficiar de sua experiência única e recursos para tomar decisões em sua própria propriedade. Programas sendo implementados por empresas de sementes, fertilizantes e companhias químicas, ou por empresas provedoras de tecnologias de dados, podem ser a resposta para as necessidades crescentes de informações de manejo dos agricultores do século 21, ajudando-os a colocar a fonte correta de nutrientes, no lugar certo, na época certa e no lugar certo.

Assim, a agricultura de precisão leva a gestão de nutrientes para outro nível, proporcionando condições para uso adequado de ferramentas, e informações corretas que, nas mãos das pessoas certas, para proceder a um ajuste fino do plano de manejo de nutrientes para um campo específico.

MNLE para arroz na Ásia

O International Rice Research Institute (IRRI) desenvolveu um programa MNLE, com base em princípios científicos para suprir o arroz com níveis ótimos dos nutrientes essenciais nos estágios críticos de perfilhamento ativo e iniciação da panícula. MNLE ajuda os agricultores a aplicarem o fertilizante adequado para sua cultura de arroz em uma área e estação específicas, para obter um uso eficiente de nutrientes com altas produtividades, o que se traduz em alto valor de mercado para a colheita.

O conceito do MNLE no arroz foi desenvolvido em cooperação com pesquisadores através da Ásia, e testado em propriedades rurais em oito regiões de cultivo de arroz, em seis países. Ele consiste em três passos como mostrado na Figura 41. No primeiro passo é estabelecida uma meta de produtividade de grãos quando os níveis limitantes de N, P e K são sobrepajados. Como a quantidade de nutrientes que é absorvida pela cultura do arroz está diretamente relacionada com a produtividade, a meta de produtividade indica o total da quantidade de nutrientes que precisa ser absorvida pela cultura. O segundo passo, consiste de efetivamente usar o nutrientes naturais vindos do solo,

produtos orgânicos, resíduos de culturas, esterco e água de irrigação. Uma estimativa dos nutrientes absorvidos pela cultura de fontes naturais pode ser obtida da produção de grãos de uma cultura não

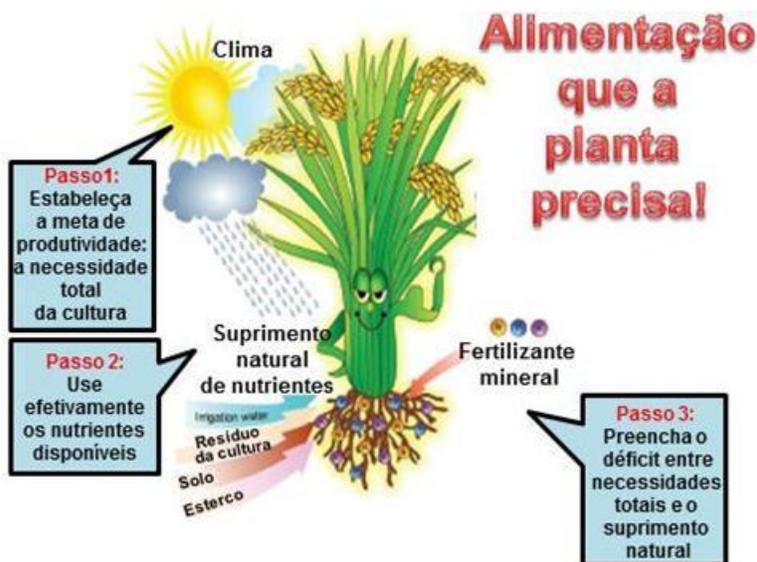


Figura 41. Os três passos do MNLE (manejo de nutrientes por lugar) em arroz na Ásia (IRRI).

adubada com os nutrientes de interesse, mas adubado com outros nutrientes para assegurar que eles não limitem a produtividade (técnica do elemento faltante). No terceiro passo, a quantidade do fertilizante requerido é aplicada para preencher o déficit entre a necessidade total de nutrientes pela cultura, como determinado pela meta de produtividade, e o suprimento destes nutrientes a partir das fontes naturais. A quantidade total de fertilizante a ser aplicada, é determinada pela eficiência do uso do fertilizante pela cultura. O requerimento de fertilizante nitrogenado é distribuído em várias aplicações durante a estação de crescimento da cultura usando ferramentas como a tabela de cores para folhas (TCF).

Variabilidade espacial e MNLE para produção de trigo de primavera na China

O que é apresentado a seguir é um exemplo do uso do MNLE em trigo no Nordeste da China (Better Crops 94:7-9). Variabilidade espacial da fertilidade do solo (matéria orgânica do solo, P, K, S e Zn) e água em partes diferentes da área em estudo formam os principais fatores influenciando a variabilidade espacial da produtividade de grãos. Os tratamentos MNLE aplicaram significativamente mais N e menos P para as parcelas com alta fertilidade, e mais N e K para as parcelas de baixa fertilidade do que o contrato coletivo de adubação para a cultura. O MNLE para N, P e K aumentou as produtividades de 8 a 19% e aumentou a renda de 455 para 520 Yuan/ha.

Uma forte relação visual entre os mapas nas Figuras 42-44 pode ser documentada numericamente através do uso da análise do SIG. A análise do SIG pode também ser usada para determinar a relação entre outras camadas de informações, tais como textura do solo, profundidade da zona de raízes, capacidade de armazenamento de água, etc., e pode prever como isto poderia ser integrado para determinar variabilidades no potencial de produtividade. À medida que mais anos de dados são coletados para uma área, o poder e o benefício de uso da análise do SIG, aumenta. Acumular base de dados georreferenciados para cada campo é um primeiro passo crítico para ser possível usar esta poderosa ferramenta no processo de decisão.

Software Nutriente Especialista

Nutriente Especialista é uma simples ferramenta de suporte para a decisão do uso de nutrientes, desenvolvida sob os princípios e orientações do MNLE para permitir aos consultores formularem recomendações de fertilizantes com base nas terras dos agricultores e no meio ambiente de crescimento das plantas. Ele leva em conta os fatores mais importantes que afetam o manejo das recomendações de nutrientes, que permite ao consultor de culturas fornecer ao agricultor orientações sobre adubações adequadas para as condições de sua propriedade. Assim, o Nutriente Especialista ajuda os agricultores na

tomada de decisão, porque ele reduz a incerteza associada com condições de alta variabilidade.



Figura 42. Mapas de variabilidade de nutrientes selecionados, disponíveis no solo, % de água e % de matéria orgânica no solo de locais de amostragem em uma área de 156 hectares.

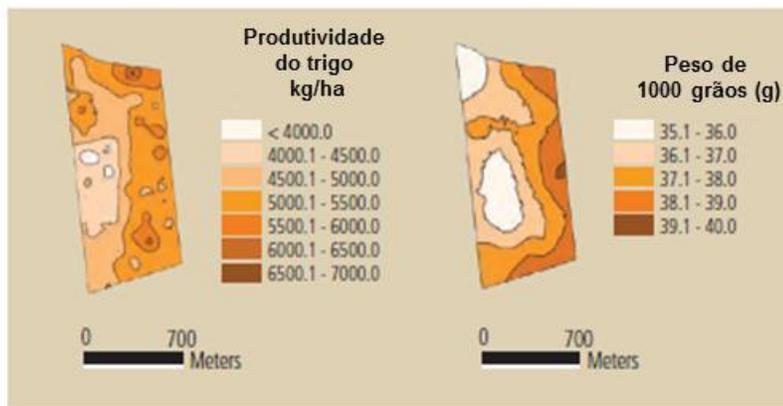


Figura 43. Produtividade de grãos (kg/ha) e peso do kernel (1.000 grãos em g) mostrados por mapas ilustram a variabilidade espacial da produção da cultura na área de estudo.

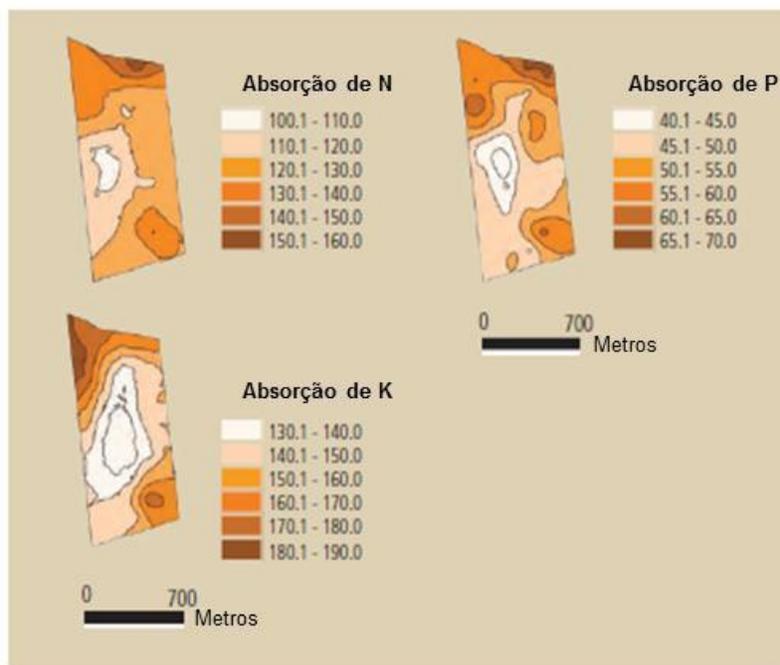


Figura 44. Distribuição espacial da absorção de N, P e K total.

O algoritmo para calcular as necessidades de fertilizantes no Nutriente Especialista é determinado de uma série de dados obtidos em ensaios demonstrativos conduzidos nas propriedades rurais usando orientações do MNLE. O Nutriente Especialista estima a produtividade possível e as respostas ao uso de fertilizantes de informações locais utilizando regras de decisão desenvolvidas com base nos ensaios demonstrativos locais. Recomendações com base no Nutriente Especialista são geradas com produtividades possíveis, como metas de produtividade para safra. Para a determinação das doses de fertilizantes, o Nutriente Especialista utiliza informações sobre o suprimento de nutrientes no campo local (solo, cultura) que são obtidas das parcelas do elemento faltante ou de locais e características de manejo que servem de proxies para o suprimento de nutrientes. De modo específico, o Nutriente Especialista utiliza características do meio ambiente de crescimento: disponibilidade de água (irrigado, sequeiro, ou com irrigação suplementar) e qualquer ocorrência de inundação ou seca; indicadores da fertilidade do solo: textura do solo, cor do solo e teor de matéria orgânica, análise de solos para P ou K (se disponível), uso histórico de materiais orgânicos (se houver uso) e solos problemáticos (se houver); sequência de culturas utilizadas pelo produtor; manejo de resíduos de culturas e fertilizantes usados nas culturas precedentes, e produtividades atuais das culturas. Dados para culturas específicas e geografias são necessários para o desenvolvimento das regras de decisão do Nutriente Especialista.

Nutriente Especialista para linhagens puras de milho, milho híbrido e trigo já estão disponíveis para regiões do Sul e Sudeste da Ásia e China. Performances do Nutriente Especialista na recomendação de fertilizantes para todas as culturas e em diferentes regiões sempre se mostraram melhores do que a prática de fertilização do agricultor, que iria confiar em recomendações regionais generalizadas do tipo “um tamanho se adequa a todos”, ou são estimativas que, usualmente, não consideram informações precisas sobre suprimentos de nutrientes originais e específicos do local.

Um dos desafios para o uso da ferramenta Nutriente Especialista é a ausência de qualquer uso de longo prazo pelos consultores dos agricultores. Uma vez que a maioria dos pequenos agricultores na Ásia e África tem pouco acesso à análise de solo, acredita-se que o

Nutriente Especialista pode atender às exigências para recomendação de fertilizantes de um grande número de agricultores. Um dos pontos importantes do Nutriente Especialista é que a ciência local sobre o manejo de nutrientes pode ser prontamente incorporada nas recomendações desse sistema.

Uso eficiente de nutrientes (UEN)

Uma variedade de definições tem sido usada para descrever a *eficiência de uso do nutriente* (EUN). Em escala global ou regional, o fator parcial de produtividade (FPP) é o único índice de eficiência de uso do nutriente, que pode mais facilmente, ser estimado, apesar de não muito preciso por causa das incertezas sobre o uso atual de diferentes nutrientes por culturas diferentes e sobre estatísticas de produção das culturas. Sendo uma relação, o FPP declina de grandes valores nas taxas pequenas de aplicação do nutriente para menores valores nas altas taxas de aplicação de N. Diferença na média de FPP para cereais entre as regiões do mundo dependem de quais cereais estão sendo cultivados, da produtividade esperada, da qualidade do solo, da quantidade e forma do nutriente aplicado e da oportunidade geral e qualidade de outras operações de manejo da cultura.

Globalmente, o FPP para fertilizante nitrogenado (FPP_N) na produção de cereais tem diminuído de 245 kg de grãos/kg de N em 1961/65, para 52 kg/kg em 1981/85 e para cerca de 40 kg/kg em 2005/06 (Dobermann, 2007). Um declínio inicial no FPP_N é uma consequência esperada da adoção de fertilizantes nitrogenados pelos agricultores porque a FPP diminui com aumentos na produtividade ao longo de uma função de resposta fixa a menos que fatores compensadores, tais como melhoria no manejo que remove os fatores limitantes do campo, mudem a função de resposta para cima. Em muitos países desenvolvidos, um aumento constante no FPP_N tem sido observado porque as produtividades dos cereais têm crescido durante as últimas 2-3 décadas. Evidência na melhoria do FPP_N é disponível nos EUA, onde houve um aumento de 42 kg de grãos por kg de N em 1980 para 57 kg de grãos por kg de N em 2000, durante um período em que as produtividades do milho aumentaram cerca de 40%. Desde a metade dos anos 1980, um aumento constante do FPP_N , foi também observado

na Europa Ocidental (sistemas de cereais de sequeiro), na América do Norte (milho de sequeiro e irrigado), Japão e Coréia do Sul (arroz irrigado) (Dobermann e Cassman, 2005). Na Ásia em desenvolvimento, por causa do aumento rápido no uso de fertilizantes nitrogenados, que começou durante o curso da Revolução Verde nos anos 1960 e 70, foi observada uma diminuição rápida no FPP_N . De acordo com Dobermann e Cassman, (2005), o FPP_N continua a diminuir em todas as regiões em desenvolvimento a uma taxa de 1 a 2% por ano. Em alguns países com a Índia, o FPP_N parece ter sido nivelado nos anos recentes, mas em muitos outros ele continua a declinar porque investimentos no setor público e privado em melhores tecnologias, serviços, extensão e educação, estão muito abaixo daqueles feitos nos países desenvolvidos.

Aspectos agronômicos, econômicos e ambientais do UEN

O aumento na demanda por nutrientes dos fertilizantes para atender a demanda global por alimentos, juntamente com os recursos finitos dos materiais fertilizantes disponíveis e o crescimento da preocupação do público em relação aos efeitos colaterais relacionados ao uso dos fertilizantes minerais, leva à conclusão que o UEN deve ser melhorado, mas não à custa da diminuição na produtividade. Existem muitas maneiras diferentes para avaliar e calcular o UEN. O método a ser usado depende das metas de eficiência a serem avaliadas, disponibilidade de dados, e da escala de tempo para a qual o UEN deve ser determinado. Os dados coletados na agricultura de precisão e o uso de pesquisas nas propriedades rurais, torna possível computar diferentes valores de UEN para campos individuais, e, conseqüentemente, alcançar ajustes finos nas decisões sobre manejo.

No curto prazo, a eficiência pode ser melhorada pela redução do uso dos insumos, mesmo à custa da produtividade. Mas os ganhos de eficiência no curto prazo pode, em realidade, reduzir a eficiência no longo prazo e a produtividade do sistema de produção, porque o esgotamento dos nutrientes deve ser repostado para restaurar a produtividade plena. O UEN no longo prazo, pode ser aumentado pela atenção cuidadosa ao completo sistema de manejo de nutrientes,

considerando todas as práticas de manejo e como elas se relacionam aos nutrientes usados pela cultura. Melhores práticas de manejo para o manejo de nutrientes devem ser selecionadas considerando a fonte dos nutrientes, a época de necessidade pela cultura, a taxa de aplicação, e a localização dos nutrientes em relação à cultura em crescimento. Todos estes componentes interagem entre si, com a cultura em crescimento, com o ambiente, e com outras práticas de manejo. A eficiência depende do sistema por inteiro.

O uso ótimo e balanceado de nutrientes assegura uma adequada produção agrícola, com redução nos impactos para o meio ambiente. O UEN é uma importante medida do impacto do benefício na performance econômica, social e ambiental dos sistemas agrícolas. É importante notar que a performance de sustentabilidade do manejo dos nutrientes não pode se refletir apenas através do UEN, e que é necessário um número de indicadores complementares.

Componentes do UEN

Existem muitos métodos para calcular o uso eficiente de nutrientes (UEN) dependendo da meta do sistema de produção e das comparações a serem feitas. Snyder e Bruulsema (2007) selecionaram quatro definições do UEN (Tabela 5). Estas representam dois diferentes tipos de cálculos do uso de nutrientes. *Eficiências de produção* são usadas quando o produto da cultura colhida é o fator de interesse, e *Eficiências recuperadas* são usadas quando o interesse é nos nutrientes recuperados na cultura.

Estas diferenças em subtítulos nos cálculos de eficiência fornecem diferentes maneiras para interpretar o UEN. Tendências de longo prazo são usualmente mais relevantes do que as de curto prazo, se dados suficientes forem disponíveis.

Fator de produtividade parcial, um índice que pode ser aplicado na ausência de resultados experimentais, pode ser valioso para descrever mega tendências, tais como a evolução em várias décadas da média do UEN na produção de cereais em um país específico ou uma região. Ele pode também ser usado para comparar regiões diferentes do mundo. Entretanto, valores do fator de produtividade parcial dependem do

sistema de cultivo, porque as culturas diferem nas suas necessidades de nutrientes e de água. Em consequência, sistemas diferentes de cultivo são difíceis de comparar pelo uso deste indicador. Padrões e dados para fator de produtividade parcial existem principalmente para cereais.

Tabela 5. Cálculos e definições de termos selecionados para representar o UEN.

Termo do UEN	Cálculo	Definição
Fator de produtividade parcial	kg do produto/kg do nutriente aplicado	produtividade da cultura por unidade do nutriente aplicado
Eficiência agrônômica	aumento no kg do produto/kg do nutriente aplicado	aumento na produtividade da cultura por unidade do nutriente aplicado
Eficiência de recuperação	absorção de nutriente na cultura adubada – absorção de nutriente na cultura não adubada/ nutriente aplicado	aumento na absorção de nutriente pela cultura por unidade de nutriente aplicado
Eficiência de remoção	geralmente chamada de balanço parcial de nutriente; remoção de nutriente pela cultura/nutriente aplicado	nutrientes removidos pela porção colhida da cultura por unidade de nutriente aplicado
Eficiência fisiológica	aumento no kg do produto/kg absorvido do nutriente do fertilizante	aumento na produtividade da cultura por unidade de nutriente do fertilizante absorvido

Eficiência agrônômica e eficiência de recuperação são duas formas diferentes de usar o “método de diferença” para expressar o UEN. Eles requerem um arquivo dos “inputs” e “outputs de nutrientes”, e dados das parcelas sem o “input” de nutrientes. A eficiência de recuperação é a medida mais lógica para calcular o UEN para aspectos ambientais, porque ele considera a absorção de nutrientes pela cultura. O método de diferença é, entretanto, somente apropriado para experimentos de longa duração, porque a fertilidade natural dos solos (parcela testemunha) somente pode ser estimada por longos períodos de tempo. Se for usado em experimentos anuais, o UEN será estimado para menos porque a produtividade da cultura em uma parcela não adubada é resultado das aplicações de nutrientes em anos passados.

Para experimentos de longa duração (de pelo menos 10 anos), o método de diferença dá uma estimativa precisa da contribuição de longo tempo dos fertilizantes na produtividade da cultura. Eficiência agrônômica de um ano e eficiência de recuperação podem ter utilidade para alguns sistemas de recomendação de fertilizantes, mas apresentam limitações como indicadores do UEN.

Eficiência de recuperação de nutrientes é usada de duas formas. A forma simples, “output do nutriente por unidade do input do nutriente”, é algumas vezes chamada de “*balanço parcial do nutriente*” (BPN). É calculado como o nutriente na porção colhida da cultura por unidade de nutriente aplicado. Apresentado como a relação de “remoção para uso”, é facilmente medido e útil aos produtores de culturas. Ele pode ser usado para qualquer número de estações de crescimento. A forma mais complexa, preferida pelos cientistas, é geralmente chamada de eficiência de recuperação e definida como o aumento na absorção do nutriente pelas partes aéreas da cultura em resposta à aplicação do nutriente. Como eficiência agrônômica, sua avaliação requer a implementação de parcelas experimentais sem a aplicação do nutriente. Operacionalmente, é limitado à descrição do resultado seja de uma única aplicação do nutriente, ou de uma única estação de crescimento. O BPN responde à questão, “Quanto do nutriente está sendo absorvido do sistema em relação a quanto é aplicado?”. A eficiência de recuperação, por outro lado, responde à pergunta, “Quanto do nutriente aplicado a planta absorveu?”. Para nutrientes que são bastante retidos no solo, o BPN pode ser considerado maior do que a eficiência de recuperação.

Eficiência de remoção usa o “método do balanço” para calcular a EUN. Este método é mais apropriado para sistemas que têm sido cultivados por longos períodos e onde os níveis de fertilidade foram monitorados. Isso pode ser melhor ilustrado para o P, mas também é válido para o N e os outros nutrientes. Uma vez que o P não é muito móvel nos solos, existem, usualmente, maiores quantidades de P residual, que irão aumentar as produtividades nas culturas subsequentes por um número de anos ou mesmo por décadas. Se a eficiência da remoção de P é medida por um período suficientemente longo quando os níveis de fertilidade do solo se tornaram estáveis-pelo menos por uma década, ele fornece uma estimativa realista da

eficiência de uso do P. Entretanto, quando os níveis de fertilidade do solo mudam (p.e. mudanças no conteúdo de matéria orgânica ou P disponível no solo), a eficiência de remoção calculada por curtos períodos de tempo pode subestimar ou superestimar o UEN. O mesmo é verdadeiro em relação às mudanças do N ou da matéria orgânica do solo.

Balanço de nutrientes (“inputs” de nutrientes – “outputs” de nutrientes) é outra expressão do método do balanço, expresso por unidade de área ao invés de pela relação. Ele pode fornecer uma estimativa dos excessos de nutrientes disponíveis para possíveis perdas, mas não iguala perdas ou reposições. Em alguns solos, excessos de nutrientes podem ser retidos, e existem vários caminhos para as perdas, alguns mais benignos do que outros e o carreamento para atingir pontos finais críticos tais como água ou ar não é a mesmo que o balanço ou excesso de nutrientes. ”Inputs” e “outputs” devem ser mostrados com o balanço, para expressar uma apreciação para a escala de fluxos de nutrientes manejada por produtores rurais. O balanço de nutrientes e a eficiência de remoção fornecem informações diferentes e são indicadores complementares.

Eficiência fisiológica é um indicador valioso na pesquisa de nutrição de plantas e representa a habilidade de uma planta para transformar os nutrientes adquiridos do fertilizante em produtividade econômica. Ela depende do genótipo, do meio ambiente e do manejo. Baixa eficiência fisiológica sugere crescimento subótimo causado por deficiências de nutrientes, estresse pela seca, estresse pelo calor, toxidez de minerais ou pestes.

Nenhuma medida simples ou indicador fornece uma reflexão completa da performance do nutriente. De forma ideal, uma série de indicadores é necessária para refletir a performance com propriedade. Calcular a eficiência de remoção, i.é. a relação entre “output”/”input” do nutriente, é, geralmente, o método mais apropriado para se estimar a eficiência de uso de N e P porque isso pode ser facilmente realizado na propriedade para o nível global e os dados requeridos são usualmente disponíveis. Cálculos da eficiência de remoção requerem bons dados de remoção pelas culturas. Esses dados podem ser

necessários de serem regionalizados uma vez que a média do teor do nutriente do produto colhido varia entre regiões.

Muitos impactos ambientais são minimizados quando os excessos de nutrientes são evitados e quando as eficiências de uso dos nutrientes são melhoradas. Por exemplo, em solos arenosos, perdas de nitrato por lixiviação podem aumentar para uma fração considerável do fertilizante nitrogenado aplicado, e, assim, práticas escolhidas para aumentar o UEN irão, simultaneamente, reduzir as perdas de nitrato para o lençol freático. Tais práticas podem incluir parcelamento das aplicações de N para reduzir as perdas, ou usando produtos que mantém o N na forma de amônio. Medidas diretas das perdas de N no campo são difíceis e caras. Medições e computação da eficiência de uso de N e balanço de nutrientes é muito mais prático e pode dar uma estimativa boa, e confiável, do balanço do N aplicado, usado pela cultura e deixado no solo.

Balanço e estimativas de nutrientes

Os balanços de “inputs” e “outputs” de um agroecossistema de produção das culturas são determinados pelas estimativas de nutrientes (Tabela 6). Tais balanços ajudam os agricultores e os políticos a acessarem quais os nutrientes estão sendo perdidos do agroecossistema ou aqueles que estão acumulando para níveis excessivos, que podem causar problemas ambientais. Talvez ainda mais importante, é que as estimativas de nutrientes e os balanços ajudam a determinar se as práticas de manejo de nutrientes estão permitindo que os nutrientes sejam esgotados e, em consequência, reduzindo o potencial produtivo das propriedades rurais.

Como exemplo, estimativas de nutrientes em alguns estados nos EUA são mostradas na Tabela 6. É importante incluir todas as fontes de nutrientes em tais balanços. Notar que para Illinois, a remoção de P é 1,54 vezes o “input”, o que significa que o nível de P no solo está sendo exaurido com o manejo atual. A Carolina do Norte, em comparação, está removendo apenas 28% de “input” de P, refletindo a alta dose de esterco usado.

Estimativa de nutrientes e balanços pode ser desenvolvida em campos individuais, propriedades rurais, bacias hidrográficas, ou áreas geográficas. Ao nível de uma propriedade agrícola, as estimativas

Tabela 6. Balanço de nutrientes para alguns estados selecionados nos EUA (IPNI).

Estado	Nutriente	Fertilizante	Esterco recuperável	Fixação de N	Removido pela colheita	Balanço *	
						R/U	Terra de cultura A
-----Milhares de toneladas-----						-----lb/A-----	
Flórida	N	167	13	4,5	102	0,55	56
	P ₂ O ₅	56	13	-	33	0,47	25
Illinois	N	1.018	21	727	1.531	0,87	19
	P ₂ O ₅	332	37	-	567	1,54	-16
North Carolina	N	187	94	75	197	0,55	61
	P ₂ O ₅	101	148	-	69	0,28	70
Dakota do Sul	N	450	17	333	679	0,85	13
	P ₂ O ₅	212	29	-	219	0,91	2
EUA	N	12.594	1.405	6.643	15.847	0,77	23
	P ₂ O ₅	4.337	1.809	-	5.484	0,89	3

*Balanço = Fertilizantes na propriedade + Esterco recuperável + Fixação de N - Removido pela colheita

R/U = Relação de remoção pela colheita para o uso do nutriente

Terra da cultura A = Balanço líquido por acre de base de culturas

ajudam a orientar decisões de produção. As estimativas em nível de bacias hidrográficas ou regionais podem ser utilizadas para acessar balanço de nutrientes gerais do ecossistema e não envolvem acesso a campos individuais. Decisões políticas podem estar interessadas em balanços nutricionais considerando uma área geográfica muito maior. Quais dados devem ser coletados, como e quando, são determinados pelo nível necessário da tomada de decisão.

Dados coletados em mais detalhes podem ser agregados e sumarizados para se ajustar à necessidade de uma escala maior, mas eles podem resultar em um custo e trabalho não necessário se ele não for requerido a esse nível de detalhes. O Box 9 descreve um sistema de balanço de nutrientes desenvolvido pelo International Plant

Nutrition Institute (IPNI), que é um modelo excelente para coleta e interpretação do uso de nutrientes e dados de remoção para ajudar a informar melhor os tomadores de decisão e os que desenvolvem políticas sobre balanço de nutrientes para bacias hidrográficas individuais ou regiões políticas, de modo que eles podem trabalhar com dados reais.

Box 9 O Programa IPNI NuGIS: um exemplo de uso da estratégia balanço de nutrientes

Enquanto os sistemas de manejo de nutrientes estão necessariamente enfocando em campo local usando tecnologia específica para o lugar e a agricultura de precisão na adoção de gestão de nutrientes, é importante manter atenção nos efeitos agregados do manejo de nutrientes em uma escala mais regional, sob aspecto geográfico. Um bom exemplo para isto foi desenvolvido pelo IPNI. O Sistema de Uso de Nutrientes GIS (NuGIS) desenvolvido pelo IPNI sumariza inputs de nutrientes e remoção pelas culturas para cada cultura e para cada condado nos EUA. O NuGIS torna possível calcular balanços parciais dos nutrientes em diferentes escalas (condados, bacias hidrográficas, e estados) para os EUA. Esse sistema leva em conta inputs na forma de fertilizantes, esterco recuperável e fixação biológica de N. A mediada que fontes de dados se tornarem disponíveis em outros países, o sistema NuGIS pode também ser adaptado para essas áreas. Ele fornece um sólido arcabouço de informações para muitas decisões quanto às políticas de manejo de nutrientes e recomendações para a área geográfica ou bacia hidrográfica.

Os dados são referenciados por GIS, de modo que aqueles diferentes coletados do mesmo local podem ser comparados e correlacionados, e sumários geográficos desenvolvidos. Os dados do uso de fertilizantes e de remoção de nutrientes mostra ao agrônomos e agricultores as tendências e guias educacionais ou programas de orientação para otimizar o uso de fertilizantes. Um aumento no teor de matéria orgânica do solo com o passar do tempo pode resultar em uma diminuição da eficiência de remoção do N se a incorporação do N na matéria orgânica do solo não é levada em consideração nos cálculos, onde ocorrer um aumento progressivo na matéria orgânica do solo.

Enquanto a coleta de dados requer muita cooperação, os resultados podem prover todos os usuários com uma melhor base com a qual eles podem agir.

Experimentos de campo de longa duração com elemento faltante

Um dos métodos mais usados e simples para determinar um programa adequado de adubação para uma gleba é o uso de parcelas com omissão (elemento faltante). Isto é simplesmente uma série de pequenas parcelas em que cada uma recebe um tratamento completo, com todos os nutrientes sendo avaliados, exceto um nutriente, que é omitido. Isto é repetido para cada nutriente. Então uma parcela é adicionada com todos os nutrientes presentes e outra parcela sem a adição de nenhum nutriente.

Pela observação dessas parcelas e comparando as produtividades no fim da estação de crescimento, o agricultor e seus consultores podem determinar quais os nutrientes são deficientes e quais estão limitando o potencial de produtividade. Se uma parcela com um nutriente faltante produz o mesmo que uma com todos os nutrientes presentes, pode-se assumir que o solo tem um suprimento adequado deste nutriente. Se uma parcela sem o nutriente produz menos do que aquela com todos os nutrientes presentes, isso prova que aquele campo necessita de adubação adicional com aquele nutriente. Aqueles nutrientes que se mostrarem limitantes, podem então, serem estudados para comparações de doses para se determinar a dose mais adequada do nutriente a ser aplicada. As parcelas com omissão (elemento faltante) são muito valiosas onde existe pouca informação passada sobre necessidades locais de nutrientes.

Experimentos de longa duração (Box 10) são particularmente valiosos porque eles integram os efeitos do ano, clima, estresses por pestes e doenças, etc. Manejo da fertilidade é, frequentemente, manejo das tendências, ao invés de manejo de fatos. Estudos de longa duração são necessários para o estabelecimento de tendências, e para monitorar efeitos das mudanças de manejo.

Box 10. Experimentos de fertilidade do solo de longa duração

Fundada em 1843, a Broadbalk Experiment at Rothamsted Research, Harpenden, Inglaterra, é o experimento com fertilidade do solo mais antigo do mundo.

Os Morrow Plots na Universidade de Illinois, em Urbana, EUA, foram iniciados em 1876, e existem algumas parcelas que tem sido cultivadas com milho contínuo desde aquela época, sem fertilizantes.

A produtividade de milho nas parcelas com um plano de adubação padrão, produzem agora, cerca de 4 vezes o que se obtêm nas parcelas nunca adubadas.

A matéria orgânica do solo diminuiu por cerca de 60 anos, e então nivelou em um patamar constante.

Esses experimentos provam que é necessário o uso de fertilizantes para manter a produtividade em campos sob cultivo contínuo.

Dados de experimento de longa duração podem ser usados para identificar tendências de produtividade e níveis da análise de solos que ajudam a orientar manejos futuros de nutrientes. Manutenção desses experimentos de longa duração fornece um recurso científico que não pode ser duplicado, e se constituem, então, num recurso importante para futuros estudos científicos.

Experimentos de longa duração são difíceis de serem mantidos porque eles podem não ter relevância direta com as pesquisas atuais. Mas eles fornecem dados insubstituíveis sobre tendências de longo prazo, e as amostras de solos e de tecido vegetal, arquivadas, fornecem conhecimentos úteis envolvendo tendências relacionadas ao teor de nutrientes sobre longos períodos de tempo.

Nós deveríamos ser agradecidos aos cientistas visionários que verificaram o valor desses recursos e trabalharam para mantê-los. Nós devemos encorajar os cientistas atuais para proteger e manter esses recursos e série de dados para as gerações futuras.

Aspectos econômicos do uso de fertilizantes

Uma das metas principais do manejo de nutrientes 4C é manejar a lucratividade da produção das culturas e o sistema de manejo de

nutrientes. Para ser sustentável, o sistema de produção deve ser lucrativo no longo prazo.

A Figura 45 ilustra os conceitos gerais de aspectos econômicos dos fertilizantes. O lucro máximo é usualmente alcançado quando a aplicação do fertilizante (e manejo geral da cultura) é ajustada para ligeiramente abaixo do nível de produtividade máxima. Este nível, algumas vezes é chamado de *produtividade máxima econômica*, e faz o uso mais eficiente da terra, água, recursos de trabalho, e produz um retorno ótimo dos investimentos em insumos, tais como os fertilizantes. Como um benefício adicional, manejo para este nível também tende a resultar em baixo potencial de perdas de nutrientes para o meio ambiente. *Melhores técnicas agrônômicas também significam melhores aspectos econômicos e ambientais.*

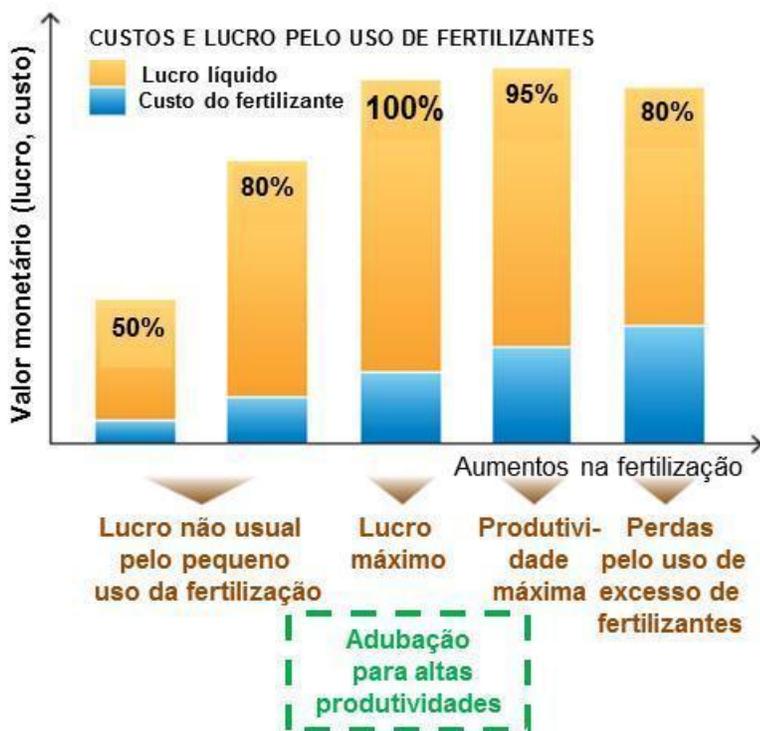


Figura 45. Diagrama generalizado da análise econômica do uso de fertilizantes (IFA, 1992).

Uma das limitações mais comuns para os agricultores adotarem as melhores práticas e tecnologias de manejo é que eles não têm informações dos benefícios econômicos associados com as diferentes operações. Relatórios de pesquisa e informações de publicidade usualmente enfocam benefícios agrônômicos, tais como aumentos na produtividade e os benefícios potenciais positivos para o meio ambiente. Mas o ponto final da demonstração de custos e benefícios para uma operação individual do agricultor geralmente não é explicado. Dados individuais de custos e renda com base nos fornecedores de insumos e mercado locais, podem fazer uma diferença significativa nos lucros individuais. Isto parece ser um problema universal, em sistemas de produção de larga escala nos países desenvolvidos e para os pequenos produtores dos países em desenvolvimento. Assim, dando uns poucos passos extras, para tratar de aspectos econômicos por local específico das melhores práticas de manejo, poderia ser a chave de uma aceitação mais ampla e adaptação de novas práticas e tecnologias.

Experimentos com sistemas de manejo de nutrientes 4C's

Com o aumento da preocupação dos efeitos dos nutrientes na qualidade da água e do ar, maior atenção tem sido dada em como manejar os nutrientes para aumentar a produtividade, e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais do sistema de produção. Em seguida, é apresentado um exemplo de um projeto de parceria público-privada no centro de Illinois, EUA. O projeto Indian Creek Watershed foi estabelecido para demonstrar as Melhores Práticas de Manejo (MPM) 4C que irá ajudar a reduzir as perdas de N para as águas superficiais locais e ajudar a dar suporte à Estratégia de Redução de Perdas de Nutrientes para resolver problemas de qualidade da água rio abaixo da área do projeto.

O projeto é coordenado pelo Conservation Technology Information Center (CTIC) com suporte da Agência de Proteção Ambiental de Illinois, juntamente com várias organizações locais, estaduais e nacionais ligadas ao agronegócio, e também, organizações de produtores e de vendedores. Desde 2010, uma série de ensaios

demonstrativos sobre manejo de nutrientes em propriedades rurais individuais foi levada a efeito para demonstrar MPM e coletar dados para análises de UEN. Isto é um esforço cooperativo envolvendo agricultores locais, vendedores de fertilizantes, agências governamentais ligadas à agricultura e ao meio ambiente, companhias do agronegócio e cidadãos locais para agirem como um Comitê Gestor que dirige o projeto.

Dois diferentes estudos com tipos de nutrientes são usados nestas demonstrações. Um utiliza técnicas de parcelas e equipamentos pequenos, e o outro usa equipamentos próprios do agricultor para operar em grandes áreas. Cada envolvido estabelece uma série de parcelas com doses de N dentro do campo de demonstração, com as doses variando de zero (sem aplicação de N) até uma dose maior do que a ótima esperada. Nestes ensaios, cinco doses foram selecionadas, variando de zero até 269 kg de N/ha. Para o exemplo de parcelas pequenas, os ensaios de UEN (cada com 4,5 x 12 m) são estabelecidas 5 doses e 4 repetições, num esquema experimental de blocos inteiramente casualizados (Figura 46). O fertilizante é aplicado com um equipamento pequeno e a colheita é efetuada com uma combinada pequena. Em razão de esse tipo de estudo requerer equipamentos pequenos nas parcelas, trabalho extra e também a assistência de um consultor, não deve ser conduzido somente pelo agricultor. Entretanto, o agricultor se beneficia de trabalhar em uma área menor no campo, o que minimiza o risco de perdas da produtividade nas parcelas com pequenas doses. E, porque uma parcela menor apresenta menos variabilidade do solo, as diferenças de produtividade tem menor probabilidade de serem causadas por outros fatores que não os decorrentes dos tratamentos com fertilizantes.

Parcelas pequenas foram estabelecidas para comparar duas fontes de N com 5 diferentes doses. As produtividades dessas parcelas foram usadas para computar a UEN para os dois produtos, usando o IPNI Crop Nutrient Response Tool (CNRT). Os dados na tabela são as produtividades médias de milho para cada tratamento. Esses resultados podem ser utilizados para estimar a dose mais eficiente de N para uma dada meta de produtividade, de lucro e de gestão ambiental.



Doses de N (kg/ha)					
Produto	0	90	135	180	224
Produtividade do milho (t/ha)					
Testemunha (Sem N)	5,8				
Super U		8,8	10,0	9,1	10,9
Uréia		9,9	9,1	9,0	10,5

Figura 46. Um exemplo do esquema de parcelas e resultados de produtividade de uma demonstração de UEN comparando duas diferentes fontes (Reetz Agronomics and CropSmith, Projeto CTIC).

Ensaio de UEN implementado pelo agricultor

Um sistema simples de coleta de dados que se baseia em parcelas com taxas de aplicação variadas, executadas com os equipamentos normais da propriedade agrícola. As parcelas (Figura 47) são estabelecidas com controladores e monitores a bordo, de modo que não há necessidade de medições, marcações, aplicações ou colheitas manuais. Com esse tipo de sistema, o campo do agricultor pode ser usado como uma parcela de pesquisa. Este sistema é adaptável para qualquer área, de modo que pode ser usado em qualquer lugar no mundo. O mapa que segue mostra repetições de doses de N e tratamentos de fontes sobrepostos na imagem aérea das parcelas do experimento de UEN. Este tipo de esquema da parcela é semelhante àquele usado em estudos de pesquisas com pequenas parcelas. A repetição ajuda a levar em conta a variabilidade local. Esse sistema não requer equipamento especial para a escala da parcela e exige muito pouca interferência com as operações normais da propriedade agrícola (Figura 48).

Mapas do esquema para este exemplo de demonstração de campo são mostrados na Figura 49. Nesta aplicação parcelada, a primeira aplicação foi feita antes do plantio e a aplicação final em cobertura foi feita após o estabelecimento da cultura. Ao aplicar o fertilizante, o vendedor tinha uma ficha de dados com os tratamentos prescritos. O fertilizante foi aplicado utilizando o guia RTK GPS, com as doses ajustadas automaticamente ao plano da parcela, e a informação “como aplicado” foi lançada na ficha de dados, e, assim, incorporando parcelas de experimentos dentro de uma aplicação normal de fertilizantes. Durante a colheita, o monitor de produtividade do agricultor registrou a variabilidade de produtividade através do campo, e os dados da parcela puderam ser extraídos e analisados.

Usando um posicionamento de SIG, quaisquer observações ou amostras coletadas durante a estação de crescimento poderia ser ligada aos dados das parcelas e das produtividades.

Dados obtidos através dos ensaios como este, podem ajudar o agricultor a tomar melhores decisões de manejo em relação ao uso de fertilizantes. O agricultor pode escolher dividir informações com o vendedor de fertilizantes, consultores e outros para documentar os

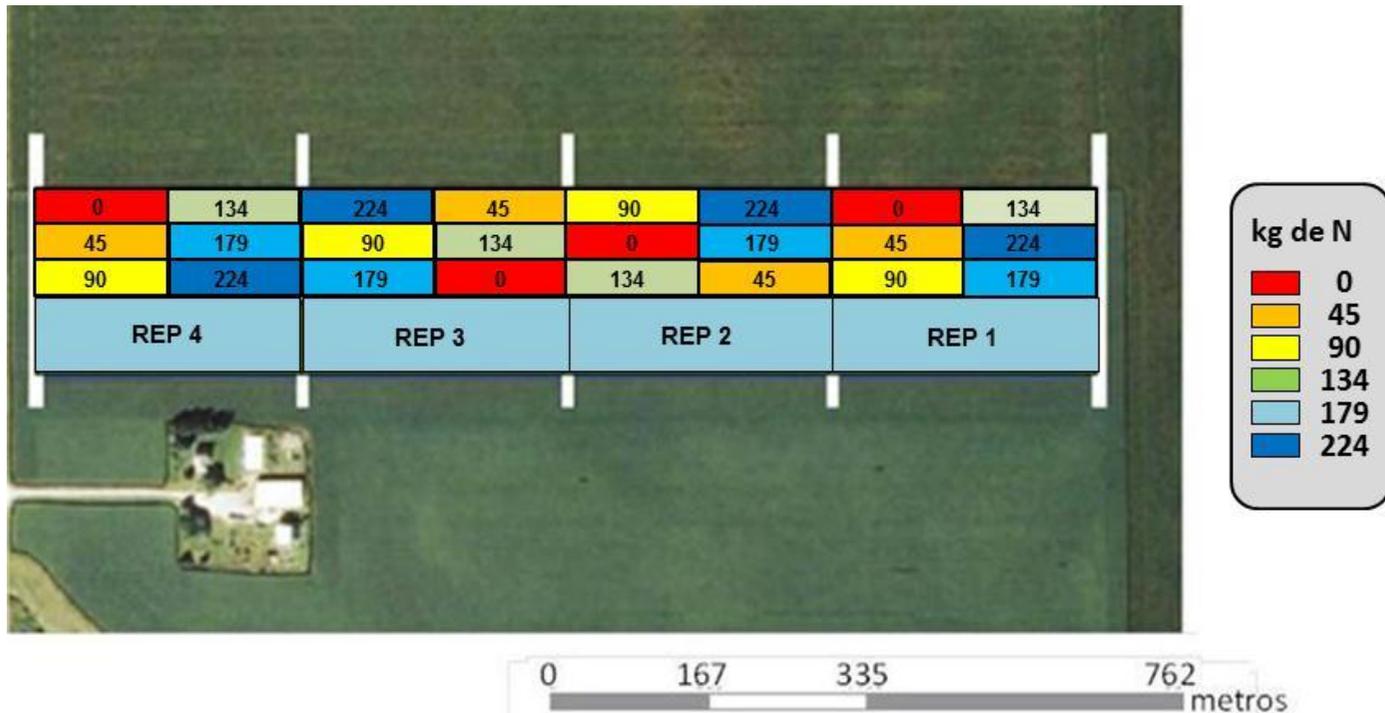


Figura 47. Exemplo de um esquema de parcelas para um ensaio demonstrativo de uma comparação de 6 doses de N com 4 repetições. Todo o trabalho de estabelecimento e colheita foi feito usando equipamentos convencionais de campo com guia RTK e GPS e sistema de aplicação de doses variáveis (Reetz Agronomics).



Figura 48. Distribuidora de fertilizantes a taxas variáveis usada para estabelecer as parcelas ilustradas na Figura 42 (Reetz Agronomics).

impactos econômicos e ambientais das melhorias do uso eficiente de fertilizantes.

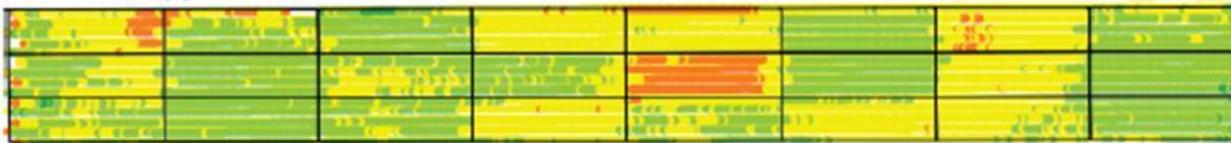
Ao nível de campo ou de propriedade rural, a eficiência de remoção pode ser calculada levando em conta todos os “inputs” e “outputs”. Numa escala maior (ex. bacia hidrográfica, nacional), devido a fatores limitantes em relação aos dados (ex. fixação biológica de N, esterco, perdas de P por erosão), um modelo mais simples pode ser adequado, enfocando nos nutrientes aplicados com os fertilizantes e nutrientes exportados com o produto colhido. A magnitude do erro introduzido com esta simplificação pode variar consideravelmente de acordo com as regiões e os sistemas de culturas. O método de cálculo deve sempre ser claramente definido.

Decisões no manejo de nutrientes afetam o custo dos “inputs”, a lucratividade, e o potencial de perdas para o meio ambiente. O IPNI CNRT (Figura 50) pode ser usado para interpretar os efeitos de várias

Dose de N em cobertura – kg/ha (a)

0	134	224	45	90	224	0	134
45	179	90	134	0	179	45	224
90	224	179	0	134	45	90	179

Dados do monitor de produtividade (b)



Produtividade média por parcela – t/ha (c)

13,0	15,2	16,2	11,8	13,3	16,6	11,6	16,2
14,7	16,7	15,2	15,5	8,9	16,3	13,2	16,8
15,5	16,3	15,7	12,2	15,4	12,6	14,2	16,6

kg de N ■ 0 ■ 45 ■ 90 ■ 134 ■ 179 ■ 224

Figura 49. Mapas de aplicação de N em cobertura, dados do monitor de produtividade, e médias de produtividades por parcela para demonstração de doses de N em cobertura. Dados do monitor de produtividade foram comparados com dados de aplicação de N. Estes dados e preços atuais de N e de grãos foram analisados com o CNRT (Reetz Agronomics).

doses de nutrientes aplicadas. Esta ferramenta computa o UEN usando várias fórmulas diferentes para se calcular a eficiência. Por exemplo, o UEN pode ser determinado para diferentes doses aplicadas e as produtividades associadas. Incluindo-se os preços da cultura e do fertilizante, a dose ótima do nutriente para o sistema de manejo pode ser determinada. O agricultor pode usar este plano para melhorar o seu sistema de manejo de nutrientes. Análises econômicas dos cálculos do UEN levadas a efeito pelo CNRT ajudam a comparar a lucratividade dos diferentes sistemas de manejo do N.

Análise SIG e o CNRT foram usados para mostrar as relações entre doses de aplicações de cobertura com N e a produtividade do milho.

Medidas da performance e indicadores, irão, frequentemente, incluir produtividades das culturas e suficientes informações para calcular os retornos econômicos. Além disso, isto terá que refletir performances ambientais e sociais. Medidas selecionadas de performance podem variar dependendo das prioridades do tomador de decisão, mas irá incluir com frequência o balanço de nutrientes ou o UEN. Muitos impactos ambientais são minimizados quando os excessos de nutrientes são evitados e quando o UEN é melhorado. Por exemplo, em solos arenosos, perdas de nitratos por lixiviação podem representar uma fração considerável do fertilizante nitrogenado aplicado. Assim sendo, as práticas usadas para aumentar o UEN irão simultaneamente, reduzir as perdas de nitratos para o lençol freático. Tais práticas podem incluir o parcelamento do fertilizante nitrogenado para reduzir as perdas, ou usar produtos que mantêm o N na forma de amônio. Muitas das perdas que impactam o meio ambiente são difíceis de serem medidas. Balanços de nutrientes e o UEN não são tão difíceis de calcular, estimar ou medir. Demonstrações como discutidas anteriormente podem ser usadas como um substituto para, em realidade, monitorar as perdas dos nutrientes. Elas podem ser feitas a menor custo do que a maioria dos sistemas de monitoramento, e podem gerar dados sólidos sobre o impacto da prática que está sendo avaliada. Além disso, fornecem estimativas das doses adequadas de nutrientes a serem usadas no sistema de produção para evitar aplicações em excesso que poderiam levar a perdas de nutrientes para

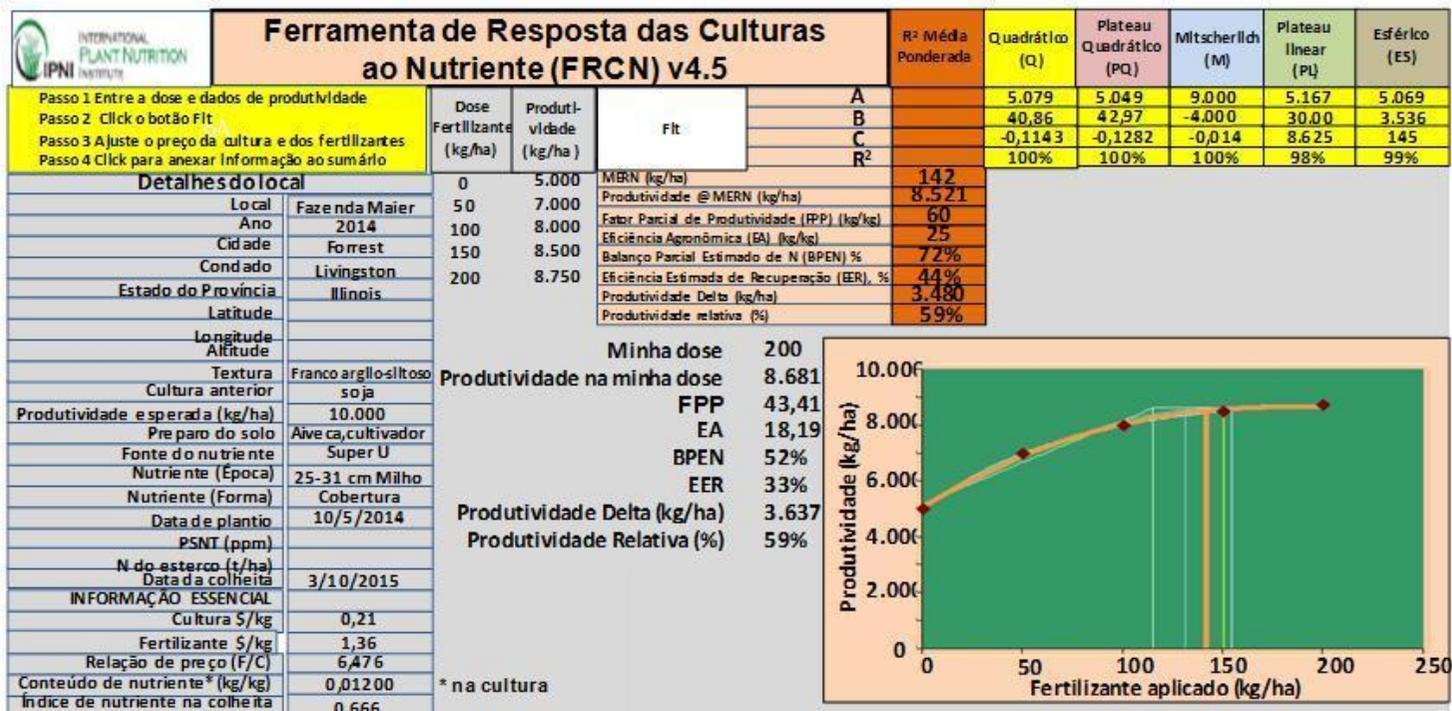


Figura 50. Cálculos do Instrumento de Resposta da Cultura aos Nutrientes para comparação de doses de N em parcelas pequenas (Reetz Agronomics). Para acesso e operação da planilha fazer download no link: <http://phosphorus.ipni.net/article/NANE-3068>, em seguida clicar em: Crop Nutrient Response Tool - metric units.

o meio ambiente, e a dose ótima também dá um guia econômico para alcançar lucratividade naquela dose.

Aspectos ambientais do uso de fertilizantes

Fertilizantes são frequentemente considerados como contribuintes aos problemas ambientais, particularmente com relação aos níveis elevados de nitratos nos suprimentos de água, níveis de nitrato e fósforo nos corpos de água levando à eutrofização, e, mais recentemente, à emissão de gases de efeito estufa (especialmente N_2O) das operações agrícolas. Tudo isso ocorre, e pode ser controlado, a um grau variável. Mas é difícil de ser determinada em uma sólida base científica a resposta à: *“Qual é a real contribuição dos fertilizantes para estes problemas ambientais em comparação com outras fontes de nutrientes?”* Box 11 oferece algumas linhas básicas sobre o assunto.

Políticas de governo orientando e regulando o uso de fertilizantes devem ser baseadas em ciência sólida. Balanço de comércio e outros assuntos econômicos, e falta de conscientização, muitas vezes, sobrepuja a ciência na formulação de políticas. É importante que ciência de boa qualidade torne-se disponível e explicada aos produtores de políticas sempre que possível. Proteção dos recursos e segurança alimentar no futuro somente poderá ser possível se as decisões forem feitas em todos os níveis, com ciência de boa qualidade levada em conta.

A maior parte das consequências ambientais do manejo de nutrientes resulta do excesso de nutrientes no solo acima da quantidade usada pela cultura em um tempo certo. Excesso de nutrientes conduz a perdas potenciais, resultando em poluição da água e do ar. A adoção das MPMFs pode reduzir os impactos ambientais. Diminuir o uso de fertilizantes não é a resposta. Mudanças em todo o sistema de produção das culturas podem ser necessárias para alcançar os benefícios ambientais pela mudança das práticas de manejo dos nutrientes. De fato, um programa de uso de fertilizantes bem balanceados, juntamente com uma estratégia de manejo para altas produtividades, em geral, irá manter a maior parte dos nutrientes disponível para as culturas. Manejo específico para o local seguido de

um bom plano de análise de solos pode ajudar a estabelecer um programa adequado de fertilização para otimizar as aplicações visando atingir altas produtividades, lucros ótimos, e um mínimo de degradação ambiental que leve a sistemas de produção agrícola sustentáveis, com uso eficiente dos recursos e garantia de segurança alimentar.

Box 11. Manejando os fertilizantes para um máximo de impacto econômico e um mínimo de impacto ambiental

- Siga boa ciência e as melhores práticas de manejo:
 - produto certo, no lugar certo, na época certa, no lugar certo;
 - tome precauções para minimizar a contribuição dos fertilizantes para a degradação ambiental.
- Custo do fertilizante sozinho é frequentemente um impedimento para aplicações em excesso.
- A tecnologia de aplicações à taxa variável tem ajudado mais agricultores a usarem somente o que é necessário e onde é necessário.
- Novos materiais fertilizantes fabricados para ajudar a controlar as perdas são outro passo positivo.
- A maioria dos agricultores dos países desenvolvidos não aplicam fertilizantes em excesso além das doses necessárias para o crescimento ótimo das culturas.
- Todos os agricultores devem fazer um grande esforço para reduzir os potenciais efeitos ambientais do seu manejo de nutrientes.
- O uso de altas produtividades e o manejo econômico de nutrientes são, frequentemente, o sistema mais sustentável ambientalmente.

A maior parte das consequências ambientais do manejo de nutrientes resulta do excesso de nutrientes no solo acima da quantidade usada pela cultura em um tempo certo. Excesso de nutrientes conduz a perdas potenciais, resultando em poluição da água e do ar. A adoção das MPMF pode reduzir os impactos ambientais. Diminuir o uso de fertilizantes não é a resposta. Mudanças em todo o sistema de produção das culturas podem ser necessárias para alcançar os benefícios ambientais pela mudança das práticas de manejo dos

nutrientes. De fato, um programa de uso de fertilizantes bem balanceados, juntamente com uma estratégia de manejo para altas produtividades, em geral, irá manter a maior parte dos nutrientes disponível para as culturas. Manejo específico para o local seguido de um bom plano de análise de solos pode ajudar a estabelecer um programa adequado de fertilização para otimizar as aplicações visando atingir altas produtividades, lucros ótimos, e um mínimo de degradação ambiental que leve a sistemas de produção agrícola sustentáveis, com uso eficiente dos recursos e garantia de segurança alimentar.

Comercialização de créditos de nutrientes

Preocupações com poluição do ar e dos recursos hídricos por nutrientes têm ganhado interesse em muitas áreas do mundo, especialmente nos países desenvolvidos. Embora a fonte dos problemas inclua a indústria e fontes municipais, juntamente com a agricultura, o manejo de nutrientes na agricultura tem sido apontado em muitos países, como uma maneira para mitigar o problema. Um novo mercado está se desenvolvendo em alguns países, onde os agricultores podem adotar práticas melhoradas, geralmente centralizadas ao redor da Gestão de Nutrientes 4C, e vender “créditos de nutrientes” de acordo com valores estabelecidos para ajustar a quantidade de poluição “evitada” por esta prática. Os compradores poderiam ser outras fontes de poluição de nutrientes, que estão interessados em comprar esses créditos ao invés de evitar suas próprias perdas de nutrientes. Este mercado levou ao estabelecimento do Crédito de Troca de Nutrientes, que coloca compradores e vendedores juntos para transações semelhantes à maneira que os trocadores de “commodities” fazem as vendas dos estoques de grãos. Atualmente operacional na Europa, e começando uma fase de testes nos EUA, o mercado de créditos de nutrientes pode, eventualmente, tornar-se outro fator significativo a ser considerado nas decisões sobre o manejo de nutrientes.

Segurança alimentar

Segurança alimentar, tanto em quantidade como em qualidade, é uma grande preocupação à medida que a população do mundo está aumentando. Além da produtividade, a nutrição de plantas afeta outros componentes importantes das necessidades nutricionais humanas, incluindo as quantidades e tipos de carboidratos, proteínas, óleos, vitaminas e minerais nos produtos alimentícios. À medida que a produção de culturas de alimentos básicos aumenta, a produtividade extra é mais frequentemente devida aos carboidratos adicionados, o que leva a uma diluição quanto ao teor de micronutrientes. Muitos dos componentes saudáveis dos alimentos são estimulados pela aplicação de nutrientes minerais. Uma vez que a maioria dos agricultores usam fertilizantes para atingir produtividades ótimas, estes benefícios são facilmente negligenciados. Microelementos importantes para nutrição humana podem ser otimizados na dieta pela aplicação deles para as culturas alimentícias.

Maior atenção tem sido dada ao papel crucial dos fertilizantes com N, P e K para o aumento da produção das culturas, mas os nutrientes secundários e os micronutrientes são, também, criticamente importantes. Aproximadamente um terço da população mundial está em risco de sofrer deficiência de um ou mais micronutrientes. As deficiências dos microelementos mais comuns são de Fe, I e Zn (cerca de 1,5 a 2 bilhões de pessoas para cada), seguido de deficiências de Se e Cu. Práticas específicas de manejo de fertilizantes foram ou estão sendo desenvolvidas para aumentar a concentração nos grãos em relação à Zn, Se e I e corrigir deficiência desses nutrientes essenciais em seres humanos. Culturas ricas em micronutrientes, particularmente leguminosas, não se beneficiaram tanto da Revolução Verde, e agora ocupam uma menor proporção da dieta dos pobres mal nutridos no mundo.

Conclusões

São discutidos os nutrientes de plantas, sua importância na produção das culturas, e alguns aspectos de como melhor manejá-los para alcançar sistemas sustentáveis de produção. Embora o manejo de

fertilizantes seja amplamente descrito pelos 4Cs da Gestão de Nutrientes, determinando que as práticas corretas para um dado campo são dependentes do solo do local e do ambiente climático, da cultura, das condições de manejo, e outros fatores específicos, incluindo educação, habilidade e experiência do agricultor e seus consultores.

Melhoria no manejo dos nutrientes de plantas é um ponto chave para atingir a necessidade global de alimentos, forragens, fibras e combustíveis alternativos para a crescente população mundial. Fome e má nutrição podem ser reduzidas pelo melhoramento no manejo dos nutrientes através do uso da gestão de nutrientes, e pelo fornecimento, às pessoas adequadas, de informações corretas de como melhorar o uso de nutrientes.

Maximização da eficiência de uso dos insumos e lucratividade significa ajuste fino das decisões usando informações específicas dos campos individuais. “Ferramentas” da agricultura de precisão para acessar as necessidades, ajustando as aplicações, e monitorando os resultados podem fornecer dados para ajudar os agricultores e seus consultores a tomar decisões com base em melhores informações para tornar o processo produtivo sustentável, obter produtividades ótimas, uso eficiente dos recursos, e, menos impactos negativos ao ambiente. A importância de melhorar o UEN irá aumentar nos próximos anos por causa da dependência das matérias primas não renováveis e da necessidade de minimizar os impactos na água, no solo e no ar. O UEN é um indicador dinâmico do manejo de nutrientes que pode ser aplicado a diferentes níveis de avaliação (ex. país, região ou propriedade rural), mas ele precisa ser associado com outros indicadores para refletir a performance de todo o sistema.

Competição por alimento, forragem e biocombustíveis está exercendo muita pressão para aliviar a fome global à medida que mais grãos são necessários para o consumo direto e para produzir proteína para as dietas dos animais, e a crescente demanda por biocombustíveis nos países desenvolvidos. Avanços na biotecnologia e na genética serão críticos para aumentar a produtividade das culturas, mas atender as necessidades crescentes de alimentos no mundo não poderá ser alcançada apenas com a biotecnologia. Sem fertilizantes minerais, o mundo poderia produzir apenas a metade, se tanto, dos alimentos

básicos e mais terras florestadas teriam que ser convertidas para produção das culturas. Nutrientes de plantas de ambas as fontes, orgânicas ou inorgânicas, são necessários para maior produção das culturas. Fertilizantes inorgânicos exercem um papel crítico na segurança alimentar no mundo, mas as maiores produtividades são, frequentemente, resultado do uso das fontes orgânicas e inorgânicas juntas. Manejo integrado da fertilidade do solo (i.e. otimização do uso dos fertilizantes e dos recursos orgânicos, juntamente com melhoria na genética, e usando tecnologia moderna) é crítico para otimizar a produção de alimentos e o uso eficiente dos nutrientes das plantas. Utilizar a *fonte certa*, na *dose certa*, no *tempo certo* e no *lugar certo*, é um princípio básico do manejo de nutrientes e pode ser adaptado para todos os sistemas de cultivo em todo o mundo, visando assegurar produtividade, lucratividade e gestão ambiental otimizadas. Colocando a *informação correta* nas mãos das *pessoas certas* assegura ainda mais que se possa atingir o uso eficiente dos nutrientes de plantas.

Referências

- 4R Plant Nutrition Manual, English and metric versions. 2012. International Plant Nutrition Institute, Peachtree Corners, Georgia, US.
- Alley, M. M, and B. Vanlauwe. 2009. The Role of Fertilizers in Integrated Plant Nutrient Management. International Fertilizer Industry Association, Paris, France. 59 pp.
- Arnon D.I. and P.R Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14: 371-375.
- Brown, C.A. 1942. Justus von Liebig—Man and teacher and Liebig and the Law of the Minimum. In: Liebig and After Liebig: A century of progress in agricultural chemistry. Am. Assoc. Adv. Sci. The Science Press Printing Co., Lancaster, PA, US.
- Brown, P.H., R.M. Welch, and E.E. Cary. 1987. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85: 801-803.
- Buresh, R.J., C. Witt, and M.F. Pampolino. 2006. SSNM: An Approach for Optimizing Nutrient Use in Intensive Rice Production. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. **109**

- ruulsema, T.W. 2013. Crop Nutrient Response Tool. International Plant Nutrition Institute, Peachtree Corners, Georgia, US.
- Dobermann, A. 2006. Reactive Nitrogen and the Need to Increase Fertilizer Nitrogen Use Efficiency. Proceedings of 13th Agronomy Conference, Perth, Western Australia.
- Dobermann, A., and K.G. Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*, Vol. 247, Issue 1, pp 153-175.
- Doerge, T., N.R. Kitchen, and E.D. Lund. Soil Electrical Conductivity Mapping, SSMG- 30. International Plant Nutrition Institute, Peachtree Corners, Georgia, US. 4 pp.
- Duvick, D.N. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays L.*) *Adv. Agron.* 86: 83-145.
- Edgerton, M. 2009. Increasing crop productivity to meet global needs for feed, food, and fuel. *Plant Physiol.* 149: 7-13.
- Erismann, J. W., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z. and W. Winiwarter. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience* Vol.1, pp 636- 639. Macmillan Publishers Ltd, London, UK.
- How A Corn Plant Develops. 2008. Iowa State University, Special Report Number 48.
- Mosier A.R., Syers, J.K., and Freney, J.R. (eds). 2004. SCOPE 65, Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment. Scientific Committee on Problems of the Environment Series Vol. 65. Workshop held by the Scientific Committee on Problems of the Environment in Kampala, Uganda.
- Nash, P. R., P. P. Motavalli, and K.A. Nelson. 2012 Nitrous oxide emissions from claypan soils due to nitrogen fertilizer source and tillage/fertilizer placement practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:983-993.
- Pettinger, N.A. 1935. A useful chart for teaching the relation of soil reaction to the availability of plant nutrients to crops. Bulletin No. 136. V.P.I. Blacksburg, Virginia, USA.
- Reetz, H.F., Jr., P. Heffer, and T.W. Bruulsema. 2015. 4R Nutrient Stewardship: A global framework for sustainable fertilizer management. Chapter 4. In: *Managing Water and Fertilizer for*

- Sustainable Agricultural Intensification. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Reetz, H.F., Jr. 2014. The 4R-BMP concept: enhanced nutrient management for agricultural sustainability and food and energy security. Chapter 15. In: D.D. Songstad *et al.* (eds.) Convergence of Food Security, Energy Security, and Sustainable Agriculture, Biotechnology in Agriculture and Forestry 67, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Reetz, H. F., Jr. 2014. Technology of precision for management of nutrients. Chapter 3.1. In: E. C. Mantovani and C. Mangalena (eds.) Manual of Precision Agriculture. Cooperative Program for Development Technologies for Agro-food and Agro-industry of the Southern Cone. Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Paraguay, Uruguay. (Published in Spanish).
- Reetz, H.F., Jr. 2009. Precision technology for right nutrient management. Better Crops. Winter 2009, No. 6. **110**
- Reetz, H.F., Jr. 1994. Site-specific nutrient management systems for the 1990s. Better Crops, 78 (4): 14-19.
- Roy, R.N., A. Finck, G.J. Blair, and H.L.S. Tandon. 2006. Plant Nutrition and Food Security. A Guide for Integrated Nutrient Management. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16. FAO, Rome.
- Huang, Shao-wen, Huang, Li-mei, Liu, Shuang-quan, Jin, Ji-yun, and He, Ping. 2010. Spatial variability and SSNM of spring wheat under collective contract cropping (Northeast China). Better Crops 94: 7-9.
- Shapiro, C.A., and C.S. Wortmann. 2006 Corn response to nitrogen rate, row spacing, and plant density on eastern Nebraska. Agron, J. 98: 529-535.
- Snyder, C.S., and T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. International Plant Nutrition Institute, Peachtree Corners, Georgia, US.
- Singh, B. 2014. Site specific and need based management of nitrogen fertilizers in cereals in India. In: Advances in Fertilizer Technology: Biofertilizers, Vol. 2, S. Sinha, K.K. Pant and S. Bajpai,(eds.). Studium Press LLC, US. pp. 576-605.

- Trenkel, M.E. 2010. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. 2nd Edition. IFA, Paris, France.
- van der Ploeg, R.R., W. Böhm, and M.B. Kirkham. 1999. On the origin of the theory of mineral nutrition of plants and the Law of the Minimum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63- 1055-1062.
- van Es, H.M., and J.J. Melkonian. 2010. Weather and N Management: Adapting N Rates Using Models and High Resolution Weather Data. On-Farm Network, Ankeny, IA, US.
- World Fertilizer Use Manual. 1992. BASF AG, Germany and International Fertilizer Industry Association, Paris, France. 600 pp.
- Witt C., Buresh R.J., Peng S, Balasubramanian V.T., and A. Dobermann. 2007. Nutrient management. pp 1-45. In Fairhurst T. *et al.* (eds.) *Rice: A Practical Guide to Nutrient Management*. Los Baños (Philippines) and Singapore: International Rice Research Institute, International Plant Nutrition Institute, and International Potash Institute.

**ANEXO 1 – ESPECIFICAÇÃO DOS FERTILIZANTES MINERAIS SIMPLES NO BRASIL
ATUALIZADO EM 31/05/2017**

(Para obter o processo de obtenção consultar o Anexo I da Instrução Normativa/MAPA, Nº 46, de 22/11/2016).

Fertilizante	Garantia mínima		Observação
	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	
Acetato de Amônio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$)	16% de N	Nitrogênio solúvel em água	
Acetato de Cálcio ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	18% de Ca	Cálcio solúvel em água	
Acetato de Cobalto ($\text{Co}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	18% de Co	Cobalto solúvel em água	
Acetato de Cobre ($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	23% de Cu	Cobre solúvel em água	
Acetato de Ferro ($\text{FeOH}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$)	23% de Fe	Ferro teor total	
Acetato de Magnésio ($\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$)	13% de Mg	Magnésio solúvel em água	
Acetato de Manganês ($\text{Mn}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$)	25% de Mn	Manganês solúvel em água	
Acetato de Potássio ($\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$)	38% de K_2O	Potássio solúvel em água	
Acetato de Zinco ($\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$)	28% de Zn	Zinco solúvel em água	
Ácido Bórico (H_3BO_3)	17% de B	Boro solúvel em água	
Ácido Fosfórico (H_3PO_4)	40% de P_2O_5	P_2O_5 solúvel em água	
Alga Marinha Lithothamnium.	32% de Ca 2% de Mg	Cálcio e magnésio teores totais	Especificação de natureza física: Pó. Este produto pode ser granulado desde que seja produzido a partir da especificação de natureza física: pó e seja utilizado agente desagregante

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Amônia Anidra	82% de N	Nitrogênio (N) teor total N na forma amoniacal (NH ₃).	
Aquamônia	10% de N	Nitrogênio (N) teor total N na forma amoniacal (solução aquosa).	
Bicarbonato de Amônio (NH ₄ HCO ₃)	17,5% de N	Nitrogênio (N) teor total N na forma amoniacal.	
Borato de Monoetanolamina	8% de B	Boro solúvel em água	
Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ .nH ₂ O)	10% de B	Boro teor total.	
Borra de Enxofre	50% de S	Enxofre teor total.	Esse produto pode ser dispensado de registro quando, na condição de material secundário e mediante autorização do MAPA, for comercializado tal qual para estabelecimento produtor de fertilizante como matéria-prima para a fabricação de borra de enxofre ou outro fertilizante.
Borra de Fosfato de Ferro e Zinco	20% de P ₂ O ₅ 10% de Fe 3% de Zn	P ₂ O ₅ teor total e mínimo de 18% P ₂ O ₅ solúvel em CNA + água. Zinco e ferro teores totais	Esse produto pode ser dispensado de registro quando, na condição de material secundário e mediante autorização do MAPA, for comercializado tal qual para estabelecimento produtor de fertilizante como matéria-prima para a fabricação de borra de fosfato de ferro e zinco ou outro fertilizante.
Carbonato de Cálcio (CaCO ₃)	32% de Ca	álcio teor total na forma de carbonato.	Especificação de natureza física: pó. Este produto pode ser granulado desde que seja produzido a partir da especificação de natureza física pó e seja utilizado agente desagregante. Pode conter até 3% de Mg.
Carbonato de Cálcio e Magnésio (CaMg)(CO ₃) ₂	18% de Ca 3% de Mg	Cálcio e magnésio teores totais na forma de Carbonato.	Especificação de natureza física: pó. Este produto pode ser granulado desde que seja produzido a partir da especificação de natureza física pó e seja utilizado agente desagregante.

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Carbonato de Cobalto (CoCO ₃)	42% de Co	Cobalto teor total	
Carbonato de Cobre (CuCO ₃ .Cu(OH) ₂)	48% de Cu	Cobre teor total.	
Carbonato de Ferro (FeCO ₃)	41% de Fe	Ferro teor total.	
Carbonato de Magnésio (MgCO ₃)	25% de Mg	Magnésio teor total.	Especificação de natureza física: pó. Este produto pode ser granulado desde que seja produzido a partir da especificação de natureza física pó e seja utilizado agente desagregante.
Carbonato de Manganês (MnCO ₃)	40% de Mn	Manganês teor total.	
Carbonato de Níquel (NiCO ₃)	39% de Ni	Níquel teor total.	
Carbonato de Potássio (K ₂ CO ₃)	66% de K ₂ O	K ₂ O solúvel em água	
Carbonato de Zinco (ZnCO ₃)	49% de Zn	Zinco teor total.	
Cianamida de cálcio	18% de N 26% de Ca	Nitrogênio teor total com no mínimo, de 75% na forma cianamídica, podendo conter até 3% de nitrogênio na forma de nitrato de cálcio.	
Citrato de Potássio (K ₂ C ₆ H ₅ O ₇ .H ₂ O)	42% de K ₂ O	K ₂ O solúvel em água.	
Cloreto Cúprico (CuCl ₂ .6H ₂ O)	20% de Cu	Cobre solúvel em água.	Mínimo de 23% de Cloro (Cl).
Cloreto de Amônio (NH ₄ Cl)	25% de N	O nitrogênio deverá estar na forma amoniacal.	Mínimo de 62% de Cloro (Cl).
Cloreto de Cálcio (CaCl ₂ .2H ₂ O)	24% de Ca	Cálcio solúvel em água.	Mínimo de 43% de Cloro (Cl).

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Cloreto de Cobalto ($\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	34% de Co	Cobalto solúvel em água.	Mínimo de 40% de Cloro (Cl).
Cloreto de Magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	10% de Mg	Magnésio solúvel em água.	Mínimo de 26% de Cloro (Cl).
Cloreto de Manganês ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	25% de Mn	Manganês solúvel em água.	Mínimo de 32% de Cloro (Cl).
Cloreto de Potássio (KCl)	50% de K_2O	K_2O solúvel em água	Mínimo de 39% de Cloro (Cl).
Cloreto de Zinco (ZnCl_2)	24% de Zn	Zinco solúvel em água.	Mínimo de 26% de Cloro (Cl).
Cloreto Férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	15% de Fe	Ferro solúvel em água.	Mínimo de 30% de Cloro (Cl).
Cloreto Ferroso ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	23% de Fe	Ferro solúvel em água.	Mínimo de 30% de Cloro (Cl).
Colemanita ($\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{CaB}_4\text{O}_7 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$)	8% de B	Boro total na forma de borato de cálcio Especificação de natureza física: pó.	Mínimo de 6% de Ca. Como matéria-prima para a fabricação de fertilizante, fica dispensada a exigência de especificação de natureza física.
Enxofre (S ⁰)	95% de S	Enxofre teor total. Especificação de natureza física: Pó	1) Para uso direto na agricultura, exigida especificação de natureza física pó. 2) Como matéria-prima para a fabricação de ácido sulfúrico ou outros fins, fica dispensada a exigência de especificação de natureza física.
Enxofre Granulado	90% de S	Enxofre teor total. Especificação de natureza física: Granulado.	Deve ser adicionado ao enxofre fundido, no mínimo, 9,5% de bentonita em p/p do produto final.
Farinha de Ossos Calcinado	18% de P_2O_5	Fósforo determinado como P_2O_5 total e mínimo de 16% solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100.	Deve conter, no mínimo, 15% de cálcio.
Farinha de Ossos Autoclavado	9% de P_2O_5 1% de N	Fósforo determinado como P_2O_5 total e mínimo de 8% solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100, nitrogênio Total	Deve conter 3% ou mais de carbono orgânico. Mínimo de 14% de cálcio.

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Fonolito	8% de K ₂ O 25% de Si	K ₂ O teor total e mínimo de 1% solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Silício teor total. Granulometria: Partículas passantes, no mínimo, 80% na peneira de 0,075 mm (ABNT 200).	
Formiato de Cálcio Ca(HCO ₂) ₂	24% de Ca	Cálcio solúvel em água.	
Formiato Cobaltoso Co(HCO ₂) ₂	23% de Co	Cobalto solúvel em água.	
Formiato de Cobre Cu.HCO ₂	35% de Cu	Cobre solúvel em água.	
Formiato Ferroso Fe(HCO ₂) ₂ .2H ₂ O	18% de Fe	Ferro solúvel em água.	
Formiato de Magnésio Mg(HCO ₂) ₂	16% de Mg	Magnésio solúvel em água.	
Formiato de Manganês Mn(HCO ₂) ₂	22% de Mn	Manganês solúvel em água.	
Formiato de Potássio (KHCO ₂)	40% de K ₂ O	Potássio solúvel em água.	
Formiato de Zinco Zn(HCO ₂) ₂	25% de Zn	Zinco solúvel em água.	
Fosfatado Acidulado Sulfúrico	15% de P ₂ O ₅ 15% de Ca 10% de S	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 60% deste teor solúvel em água.	
Fosfatado Acidulado Fosfórico	36% de P ₂ O ₅ 10% de Ca	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 60% deste teor solúvel em água.	
Fosfato Cúprico Amoniacal. (CuNH ₄ PO ₄ .H ₂ O)	32% de Cu 34% de P ₂ O ₅ 5% de N	Nitrogênio e cobre teores totais. P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio mais água	
Fosfato de Cobalto Co ₃ (PO ₄) ₂	41% de Co 32% de P ₂ O ₅	Cobalto teor total e P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio + água	

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Fosfato Diamônico (DAP)	17% de N 45% P ₂ O ₅	Nitrogênio teor total e P ₂ O ₅ teor solúvel em CNA + água e mínimo de 38% solúvel em água.	Nitrogênio na forma amoniacal.
Fosfato Diamônico cristal (DAP cristal)	19% de N 50% P ₂ O ₅	Nitrogênio e fósforo teores solúveis em água.	Nitrogênio na forma amoniacal.
Fosfato Ferroso Amoniacal Fe(NH ₄)PO ₄ .H ₂ O	29% de Fe 36% de P ₂ O ₅ 5% de N	Ferro solúvel em água. P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônio mais água.	Fosfato Ferroso Amoniacal Fe(NH ₄)PO ₄ .H ₂ O
Fosfato Monoamônico (MAP)	9% de N 48% de P ₂ O ₅	Nitrogênio teor total e P ₂ O ₅ teor solúvel em CNA mais água e mínimo de 44% solúvel em água.	Nitrogênio na forma amoniacal
Fosfato Monoamônico Cristal (MAP Cristal)	11% N 60% P ₂ O ₅	Nitrogênio e fósforo teores solúveis em água.	Nitrogênio na forma amoniacal
Fosfato Monopotássico (KH ₂ PO ₄)	51% de P ₂ O ₅ 33% de K ₂ O	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ solúvel em água e K ₂ O solúvel em água	
Fosfato Natural	5% de P ₂ O ₅	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total e mínimo de 15% do teor total solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Granulometria: partículas devem passar, no mínimo, 85% em peneira de 0,075 mm (ABNT 200).	Pode ser declarado o teor total de cálcio existente naturalmente no produto, quando este teor for igual ou superior a 1% (p/p).
Fosfato Parcialmente Acidulado	20% de P ₂ O ₅ 16% de Ca	Fósforo determinado em P ₂ O ₅ total, mínimo de 9% solúvel em citrato neutro de amônio mais água, e mínimo de 5% solúvel em água.	Pode conter até 6% de Enxofre (S) e até 2% de Magnésio (Mg). Mínimo de 11% de P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100.
Fosfato Precipitado	7% de P ₂ O ₅ 12% de Ca	Fósforo teor total e mínimo de 3% de P ₂ O ₅ solúvel em citrato neutro de amônia mais água.	Esse produto pode ser dispensado de registro quando, na condição de material secundário e mediante autorização do MAPA, for comercializado tal qual para estabelecimento produtor de fertilizante como matéria-prima para a fabricação de fosfato precipitado ou outro fertilizante.
Fosfato Natural Reativo	27% de P ₂ O ₅ 28% de Ca	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total e mínimo de 30% do teor total solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Granulometria: Partículas devem passar 100% na peneira de 4,8mm (ABNT n° 4) e passar, no mínimo, 80% na peneira de 2,8mm (ABNT n° 7)	

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Fosfato Tripotássico (K ₃ PO ₄)	32% de P ₂ O ₅ 64% de K ₂ O	Fósforo e potássio teores solúveis em água	
Fosfato Calcinado	18% de P ₂ O ₅	Fósforo teor total e mínimo de 14% solúvel em CNA + água.	Podem ser declarados os teores para cálcio e magnésio
Fosfito de Amônio	10% de N	Nitrogênio solúvel em água.	Pode conter, no máximo, 2% de sódio residual e deve conter, no mínimo, 26% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso
Fosfito de Cálcio	5% de Ca	Cálcio solúvel em água	Pode conter, no máximo, 2% de sódio residual e deve conter, no mínimo, 28% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso
Fosfito de Cobalto	7% de Co	Cobalto solúvel em água.	Pode conter no máximo 2% de sódio residual e deve conter, no mínimo, 16% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso.
Fosfito de Cobre	3% de Cu	Cobre solúvel em água	Pode conter, no máximo, 2% de sódio residual e deve conter, no mínimo, 7% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso.
Fosfito de Ferro	4% de Fe	Ferro solúvel em água.	Pode conter, no máximo, 2% de sódio residual e deve conter, no mínimo, 9% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso.
Fosfito de Magnésio	3% de Mg	Magnésio solúvel em água	Pode conter, no máximo, 2% de sódio (Na) residual. Deve conter, no mínimo, 28% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso.
Fosfito de Manganês	8% de Mn	Manganês solúvel em água	Pode conter, no máximo, 2% de sódio (Na) residual. Deve conter, no mínimo, 28% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso.
Fosfito de Níquel	4% de Ni	Níquel solúvel em água.	Pode conter, no máximo, 2% de sódio residual. D Deve conter, no mínimo, 9% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso.
Fosfito de Potássio	20% de K ₂ O	K ₂ O solúvel em água	Pode conter, no máximo, 2% de sódio residual. Deve conter, no mínimo, 27% de P ₂ O ₅ oriundo exclusivamente do ácido fosforoso.

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Fosfito de Zinco	8% de Zn	Zinco solúvel em água	Pode conter, no máximo, 2% de sódio residual. Deve conter, no mínimo, 38% de P_2O_5 oriundo exclusivamente do ácido fosforoso.
Hidroboracita ($CaO.MgO.3B_2O_3.6H_2O$)	7% de B	Boro teor total	Mínimo de 7% de Ca e 4% de Mg.
Hidróxido de Cálcio ($Ca(OH)_2$)	48% de Ca	Cálcio teor total.	
Hidróxido de Cálcio e Magnésio	24% de Ca 4% de Mg	Cálcio e magnésio teores totais.	
Hidróxido de Potássio (KOH)	71% de K_2O	K_2O solúvel em água	
Hidróxido de Magnésio ($Mg(OH)_2$)	35% de Mg	Magnésio teor total	
Kieserita ($MgSO_4.H_2O$)	15% de Mg 20% de S	Magnésio solúvel em água.	
Molibdato de Amônio ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.2H_2O$)	52% de Mo 5% de N	Molibdênio e nitrogênio solúveis em água na forma nitrogênio total.	
Molibdato de Monoetanolamina	10% de Mo	Molibdênio solúvel em água	
Molibdato de Potássio ($K_2MoO_4.5H_2O$)	28% de Mo 27% de K_2O	Molibdênio e potássio solúveis em água.	Pode conter, no máximo, 0,5% de cloro residual.
Multifosfato Magnésiano	18% de P_2O_5 8% de Ca 3% de Mg 6% de S	Fósforo teor solúvel em CNA mais água e mínimo de 8% solúvel em água. Cálcio, magnésio e enxofre teores totais. Granulometria: Partículas devem passar, no mínimo, 90% na peneira de 2,8 mm (ABNT nº 7) e passar, no máximo, 35% na peneira de 0,5 mm (ABNT nº 35).	
Nitrato de Amônio	32% de N	Nitrogênio teor total.	O nitrogênio deverá estar 50% na forma amoniacal e 50% na forma nítrica.

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Nitrato de Amônio e Cálcio	20% de N 2% de Ca	Nitrogênio e cálcio teores totais.	O nitrogênio deverá estar 50% na forma amoniacal e 50% na forma nítrica.
Nitrato de Cálcio	14% de N 16% de Ca	Nitrogênio e cálcio teores totais.	Nitrogênio na forma nítrica, podendo ter até 1,5% na forma amoniacal.
Nitrato de Cobalto (Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O)	17% de Co 8% de N	Nitrogênio e cobalto solúveis em água.	
Nitrato de Cobre (Cu(NO ₃) ₂ .3H ₂ O)	22% de Cu 9% de N	Cobre solúvel em água.	
Nitrato de Magnésio (Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O)	8% de Mg 10% de N	Magnésio solúvel em água.	
Nitrato de Manganês (Mn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O)	16% de Mn 8% de N	Manganês solúvel em água.	
Nitrato de Potássio	44% de K ₂ O 12% de N	Nitrogênio e potássio teores solúveis em água.	O nitrogênio deve estar na forma nítrica.
Nitrato de Sódio	16% de N	Nitrogênio teor solúvel em água.	O nitrogênio deverá estar na forma nítrica. O teor de perclorato, expresso em perclorato de sódio, não poderá ser maior que 1%.
Nitrato de Zinco (Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O)	8% de N 18% de Zn	Nitrogênio e zinco teores solúveis em água.	Nitrogênio na forma nítrica.
Nitrato Duplo de Sódio e Potássio	14% de N 8% de K ₂ O	Nitrogênio e potássio teores solúveis em água.	Nitrogênio na forma nítrica.
Nitrato Férrico (Fe(NO ₃) ₃ .9H ₂ O)	8% de N 11% de Fe	Nitrogênio e ferro teores solúveis em água.	Nitrogênio na forma nítrica.
Nitrofosfato	14% de N 18% de P ₂ O ₅ 6% de Ca	Fósforo teor solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 14% de P ₂ O ₅ solúvel em água. Nitrogênio e cálcio teores totais.	Nitrogênio na forma nítrica.
Nitrossulfocálcio	24% de N 3% de S 3% de Ca	Nitrogênio, cálcio e enxofre teores totais.	O nitrogênio deve estar metade na forma amoniacal e metade na forma nítrica.
Octaborato de Sódio (Na ₂ B ₈ O ₁₃ .4H ₂ O)	20% de B	Boro teor solúvel em água.	

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Octaborato de Potássio ($K_2B_8O_{13} \cdot nH_2O$)	19% de B 18% de K_2O	Boro e potássio teor solúveis em água.	
Óxido Cúprico (CuO)	70% de Cu	Cobre teor total.	
Óxido Cuproso (Cu_2O)	80% de Cu	Cobre teor total.	
Óxido de Cálcio (CaO)	64% de Ca	Cálcio teor total.	
Óxido de Cálcio e Magnésio	32% de Ca 6% de Mg	Cálcio e magnésio teores totais.	
Óxido de Cobalto (CoO)	56% de Co	Cobalto teor total.	
Óxido de Magnésio (MgO)	45% de Mg	Magnésio teor total.	
Óxido de Zinco (ZnO)	72% de Zn	Zinco teor total.	
Óxido Manganoso (MnO)	50% de Mn	Manganês teor total.	
Pentaborato de Sódio ($(NaB_5O_8 \cdot 5H_2O)$ ou (NaB_5O_9))	18% de B	Boro teor total.	
Polifosfato de Amônio	10% de N 34% de P_2O_5	Nitrogênio e fósforo solúveis em água. Nitrogênio na forma amoniacal	
Polifosfato de Ferro e Amônio ($Fe(NH_4)HP_2O_7$)	4% de N 55% de P_2O_5 22% de Fe	Nitrogênio, fósforo e ferro teores totais.	
Quelato de Boro	8% de B	Nutrientes solúveis em água ligados a um quelante.	O agente quelante utilizado na fabricação de cada produto quelatado deve estar previsto no Anexo II da Instrução Normativa/MAPA, Nº 46, de 22/11/2016.
Quelato de Cobalto	2% de Co		
Quelato de Cobre	5% de Cu		
Quelato de Ferro	5% de Fe		
Quelato de Manganês	5% de Mn		

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Quelato de Molibdênio	3% de Mo	Nutrientes solúveis em água ligados a um quelante.	O agente quelante utilizado na fabricação de cada produto quelatado deve estar previsto no Anexo II da Instrução Normativa/MAPA, Nº 46, de 22/11/2016.
Quelato de Níquel	2% de Ni		
Quelato de Zinco	7% de Zn		
Quelato de Cálcio	2% de Ca		
Quelato de Magnésio	2% de Mg		
Selenato de Sódio (Na ₂ SeO ₄)	40% de Se	Selênio solúvel em água.	
Silicato de Cálcio (CaSiO ₃)	29% de Ca 20% de Si	Silício e cálcio teores totais.	Especificação de natureza física: pó. Este produto pode ser granulado desde que seja produzido a partir da especificação de natureza física pó e seja utilizado agente desagregante.
Silicato de Cálcio e Magnésio (CaSiO ₃ + MgSiO ₃)	7% Ca 1% de Mg 10% de Si	Silício total na forma de silicato. Cálcio total e magnésio total.	Especificação de natureza física: pó e Farelado. Este produto pode ser granulado desde que seja produzido a partir da especificação de natureza física pó e seja utilizado agente desagregante.
Silicato de Potássio (K ₂ SiO ₃)	10% de K ₂ O 10% de Si	Potássio e silício teores solúveis em água.	Fluido: solução.
Solução Nitrogenada	14% de N	Nitrogênio teor total.	Fluido: solução.
Sulfato de Amônio	20% de N 22% de S	Nitrogênio e enxofre teores totais.	O nitrogênio deverá estar na forma amoniacal. O teor de tiocianato, expresso em tiocianato de amônio, não poderá exceder a 1%.
Sulfato de Cálcio	16% de Ca 13% de S	Cálcio e enxofre teores totais.	
Sulfato de Cobalto (CoSO ₄ .xH ₂ O)	10% de S 20% de Co	Cobalto e enxofre teores solúveis em água.	
Sulfato de Cobre (CuSO ₄ .H ₂ O)	11% de S 24% de Cu	Cobre teor solúvel em água.	
Sulfato de Magnésio (MgSO ₄ .H ₂ O)	11% de S 9% de Mg	Magnésio teor solúvel em água.	
Sulfato de Manganês (MnSO ₄ .H ₂ O)	16% de S 26% de Mn	Manganês teor solúvel em água.	

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Sulfato de Potássio ($K_2SO_4 \cdot H_2O$)	48% de K_2O 15% de S	Potássio teor solúvel em água.	De 0 a 1,2% de magnésio (Mg).
Sulfato de Potássio e Magnésio ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$)	20% de K_2O 10% de Mg 20% de S	Potássio e magnésio teores solúveis em água.	Pode conter 1% ou mais de cloro (Cl).
Sulfato de potássio, cálcio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	14% de K_2O 12% de Ca 3% de Mg 19% de S	Potássio, enxofre, magnésio e cálcio, teores solúveis em água.	
Sulfato de Níquel ($NiSO_4 \cdot 6H_2O$)	10% de S 19% de Ni	Enxofre e níquel teores solúveis em água.	
Sulfato de Zinco ($ZnSO_4 \cdot xH_2O$)	9% de S 20% de Zn	Zinco e enxofre teores solúveis em água.	
Sulfato Férrico ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 4H_2O$)	18% de S 23% de Fe	Ferro e enxofre teores solúveis em água.	
Sulfato Ferroso	10% de S 19% de Fe	Ferro solúvel em água na forma de sulfato ($FeSO_4 \cdot xH_2O$).	
Sulfonitrato de Amônio	25% de N 12% de S 19% de N	Nitrogênio e enxofre teores totais.	O nitrogênio deverá estar 75% na forma amoniacal e 25% na forma nítrica.
Sulfonitrato de Amônio e Magnésio	3,5% de Mg 10% de S	Nitrogênio, magnésio e enxofre teores totais.	O nitrogênio deverá estar 67% na forma amoniacal e 33% na forma nítrica.
Superfosfato Duplo	28% de P_2O_5 16% de Ca 5% de S	Fósforo determinado como P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 24% solúvel em água. Cálcio e enxofre total.	
Superfosfato Simples	18% de P_2O_5 16% de Ca 10% de S	Fósforo teor solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 16% em água. Cálcio e enxofre teores totais.	

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Sulfato de Potássio ($K_2SO_4 \cdot H_2O$)	48% de K_2O 15% de S	Potássio teor solúvel em água.	De 0 a 1,2% de magnésio (Mg).
Sulfato de Potássio e Magnésio ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$)	20% de K_2O 10% de Mg 20% de S	Potássio e magnésio teores solúveis em água.	Podem conter 1% ou mais de cloro (Cl).
Superfosfato Triplo Amoniado	1% de N 38% de P_2O_5 8% de Ca	Fósforo teor solúvel em citrato neutro de amônio mais água. Nitrogênio e cálcio teores totais.	Nitrogênio na forma amoniacal. A somatória de N + P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água deve ser, no mínimo, de 41%.
Termofosfato Magnésiano	17% de P_2O_5 4% de Mg 16% de Ca 8% Si	Fósforo teor total e P_2O_5 mínimo de 11% em ácido cítrico a 2% na relação de 1:100. Cálcio, magnésio e silício teores totais. Granulometria: (1) Partículas passantes no mínimo 75% em peneira de 0,15 mm (ABNT nº 100); ou (2) Partículas passantes no mínimo 85% na peneira de 0,84 mm (ABNT nº 20).	Podem ser incorporadas fontes fornecedoras de micronutrientes, desde que garantidos os seus teores.
Termofosfato Magnésiano Potássico	12% de P_2O_5 4% de K_2O 16% de Ca 4% de Mg 8% de Si	Fósforo teor total e mínimo de 6% solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Potássio teor solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Cálcio, magnésio e silício teores totais.	Podem ser incorporadas fontes fornecedoras de micronutrientes, desde que garantidos os seus teores. Especificação de natureza física: Pó e farelado.

Anexo (continuação)

Fertilizante	Teor e forma do nutriente	Solubilidade do nutriente/granulometria	Observação
Termo-Superfosfato	18% de P ₂ O ₅ 1% de Mg 10% de Ca 2% de S 1% Si	Fósforo determinado como P ₂ O ₅ total; mínimo de 16% de P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico a 2% na relação de 1:100 e mínimo de 5% de P ₂ O ₅ solúvel em água. Cálcio, enxofre, magnésio e silício teores totais.	
Tiosulfato de Amônio ((NH ₄) ₂ S ₂ O ₃)	11% de N 25% de S	Nitrogênio e enxofre solúveis em água.	Nitrogênio determinado na forma amoniacal.
Tiosulfato de Cálcio (CaS ₂ O ₃)	6% de Ca 10% de S	Cálcio e enxofre solúveis em água.	
Tiosulfato de Potássio (K ₂ S ₂ O ₃)	25% de K ₂ O 17% de S	Potássio e enxofre solúveis em água.	
Trióxido de Molibdênio (MoO ₃)	57% de Mo	Molibdênio teor total.	
Ulexita (Na ₂ O.2CaO.5B ₂ O ₃ .16H ₂ O)	8% de B	Boro teor total. Especificação de natureza física: pó	Mínimo de 7% de Ca e 6% de sódio teores totais. Como matéria-prima para a fabricação de fertilizante, fica dispensada a exigência de especificação de natureza física.
Uréia	45% de N	Nitrogênio teor total.	Nitrogênio deve estar totalmente na forma amidica. O teor de biureto não pode ser maior de 1,5% para aplicação direta no solo e de 0,3% para aplicação foliar.
Uréia-Formaldeído	35% de N	Nitrogênio teor total.	Nitrogênio na forma amidica. Pelo menos 60% do nitrogênio deve ser insolúvel em água.
Uréia-Superfosfato ((NH ₂) ₂ CO.H ₃ PO ₄)	17% de N 43% de P ₂ O ₅	Nitrogênio na forma amidica e fósforo solúvel em água.	
<p>(Para obter o processo de obtenção consultar o Anexo 1 da Instrução Normativa/MAPA, N^o 46, de 22/11/2016).</p> <p>http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/altera-anexo-i-da-in-46-2016-em-10-04-17-altera-fosfito-de-manganes-e-nitrato-de-manganes.pdf</p>			